

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«Особливості експлуатації комбінованої електростанції
потужністю 500 кВт»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕС-22 м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні станції»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Корнійчук С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент, ас. каф. ЕСС
Ратушняк О.Г.
(прізвище та ініціали)

«03» грудня 2023 р.

Опонент: к.т.н., доцент кафедр ЕССЕМ
Войтик Ю.П.
(прізвище та ініціали)

«12» грудня 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

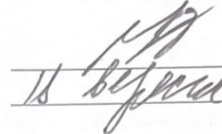
Комар В. О.
(прізвище та ініціали)

«04» грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.


18 вересня 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Корнійчуку Сергію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт».

керівник роботи к.т.н., доцент, ас. каф. ЕСС Ратушняк О.Г.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247.

2. Строк подання студентом роботи 05 грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи.

Посилання на періодичні видання.


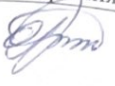




Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів: забезпечення електропостачання ділянки максимальною потужністю 500 кВт, напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Стан та розвиток сонячної та вітрової енергетики. 2. Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок. 3. Аналіз основних показників робочих режимів. 4. Розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок. 12. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 2. Актуальність. 3. Карта сонячної активності. 4. Будова та принцип

роботи сонячних модулів. 5. Вітроенергетичний потенціал. 6. Вітроенергетичні установки. 7. Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок. 8. Послідовна конфігурація комбінованої системи. 9. Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок. 10. Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання. 11. Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання. 12. Висновок.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Ратушняк О.Г., к.т.н., доц., асистент кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В. д.п.н., проф., зав. каф. БЖДПБ Ратушняк О.Г.		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	20.09.23	26.09.23	вс
2	Стан та розвиток сонячної та вітрової енергетики	27.09.23	08.10.23	вс
3	Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок	09.10.23	15.10.23	вс
4	Аналіз основних показників робочих режимів	16.10.23	22.10.23	вс
5	Розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок	23.10.23	29.10.23	вс
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.10.23	05.11.23	вс

7	Оформлення пояснювальної записки.	06.11.23	12.11.23	<i>вик</i>
8	Виконання графічної/ілюстративної частини	13.11.23	19.11.23	<i>вик</i>
9	Оформлення презентації	20.11.23	26.11.23	<i>вик</i>
	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	27.11.23	01.12.23	<i>вик</i>
	Рецензування МКР	01.12.23	05.12.23	<i>вик</i>
	Захист МКР	12.12.23	18.12.23	<i>вик</i>


Студент



 (підпис)

С. В. Корнійчук

Керівник роботи



 (підпис)

О. Г. Ратушняк

АНОТАЦІЯ

Корнійчук С.В. Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт. Магістерська кваліфікаційна робота – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 88 с., таблиць: 16, рисунків: 31, бібліографій: 24.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено комбіновану електричну станцію потужністю 500 кВт на основі сонячної та вітрової установок; розглянуто проблеми становлення та розвитку сонячної та вітрової енергетики, а саме принцип роботи, класифікацію та конструктивне виконання сонячних та вітрових установок; досліджено комбіновані системи електропостачання з використанням відновлювальних джерел енергії, а також принципи їх побудови та класифікацію; проаналізовано основні показники робочих режимів комбінованої на основі сонячної та вітрової установок. Розроблено схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції; розраховано параметри та вибрано пристрої схеми електропостачання.

Проведено розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок та окремим розділ присвячено питанням охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: комбінована електростанція, сонячна енергетика, вітрова енергетика, сонячний модуль, вітроустановка, потужність, відновлювані джерела енергії.

ANNOTATION

Korniychuk Sergiy. The features of operation of a combined power plant with a capacity of 500 kW. Master's thesis - Vinnytsia: VNTU, 2023. - 88 pp., tables: 16, figures: 31, bibliographies: 24.

In the master's qualification work, a combined power station with a capacity of 500 kW based on solar and wind installations was developed; problems of the formation and development of solar and wind energy are considered, namely the principle of operation, classification and constructive implementation of solar and wind installations; combined power supply systems using renewable energy sources, as well as the principles of their construction and classification, were investigated; the main indicators of the operating modes of combined solar and wind installations were analyzed. Schemes of electricity supply to the network from the combined power plant have been developed; the parameters are calculated and the devices of the power supply scheme are selected.

The calculation of the indicators of the economic efficiency of the construction of a combined power plant based on solar and wind installations was carried out, and a separate section was devoted to the issues of labor protection and safety in emergency situations.

Keywords: combined power plant, solar energy, wind energy, solar module, wind turbine, power, renewable energy sources.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	
ANNOTATION	
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 СТАН ТА РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	8
1.1 Сонячна енергетика	8
1.1.1 Принцип роботи сонячної електричної станції	12
1.1.2 Класифікація сонячних батарей	12
1.1.3 Будова та принцип роботи сонячної батареї	14
1.1.4 Кількість елементів в модулі	16
1.2 Вітрова енергетика	17
1.2.1 Класифікація вітроустановок та їх призначення	22
1.2.2 Конструктивне виконання вітрових електричних установок	27
2 КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	29
2.1 Комбіновані технології з використанням відновлювальних джерел енергії	29
2.1.1 Принципи побудови комбінованих енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії	31
2.1.2 Аналіз розробок і ринку комбінованих систем на основі відновлюваних джерел енергії	36
2.2 Класифікація комбінованих систем електропостачання	38
2.2.1 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро- сонячної комбінованої системи електропостачання	39
2.2.2 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро- сонячної дизельної комбінованої системи електропостачання	41
2.3 Ефективність використання комбінованих систем	44
3 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ	48

КОМБІНОВАНОЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	
3.1 Оцінка енергетичних потреб об'єкта електропостачання	48
3.1.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу	53
3.1.2 Оцінка потенціалу сонячного випромінювання	56
3.1.3 Вибір типу поновлюваного енергокомплексу	59
3.2 Розробка схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової енергоустановок	60
3.3 Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання	61
3.3.1 Сонячні елементи	62
3.3.2 Акумуляторні батареї	62
3.3.3 Розрахунок струмів	63
3.3.4 Вітроустановка та випрямляч	64
4 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	68
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
5.1 Задачі розділу	73
5.2 Аналіз умов праці робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України	74
5.3 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при електричному монтажі вітряка	76
5.3.1 Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України з вітроенергетики	76
5.3.2 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора	80
5.4 Протипожежний захист вітроелектричних установок	84
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТКИ	89

АНОТАЦІЯ

Корнійчук С.В. Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт. Магістерська кваліфікаційна робота – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 88 с., таблиць: 16, рисунків: 31, бібліографій: 24.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено комбіновану електричну станцію потужністю 500 кВт на основі сонячної та вітрової установок; розглянуто проблеми становлення та розвитку сонячної та вітрової енергетики, а саме принцип роботи, класифікацію та конструктивне виконання сонячних та вітрових установок; досліджено комбіновані системи електропостачання з використанням відновлювальних джерел енергії, а також принципи їх побудови та класифікацію; проаналізовано основні показники робочих режимів комбінованої на основі сонячної та вітрової установок. Розроблено схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції; розраховано параметри та вибрано пристрої схеми електропостачання.

Проведено розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок та окремим розділ присвячено питанням охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: комбінована електростанція, сонячна енергетика, вітрова енергетика, сонячний модуль, вітроустановка, потужність, відновлювані джерела енергії.

ANNOTATION

Korniychuk Sergiy. The features of operation of a combined power plant with a capacity of 500 kW. Master's thesis - Vinnytsia: VNTU, 2023. - 88 pp., tables: 16, figures: 31, bibliographies: 24.

In the master's qualification work, a combined power station with a capacity of 500 kW based on solar and wind installations was developed; problems of the formation and development of solar and wind energy are considered, namely the principle of operation, classification and constructive implementation of solar and wind installations; combined power supply systems using renewable energy sources, as well as the principles of their construction and classification, were investigated; the main indicators of the operating modes of combined solar and wind installations were analyzed. Schemes of electricity supply to the network from the combined power plant have been developed; the parameters are calculated and the devices of the power supply scheme are selected.

The calculation of the indicators of the economic efficiency of the construction of a combined power plant based on solar and wind installations was carried out, and a separate section was devoted to the issues of labor protection and safety in emergency situations.

Keywords: combined power plant, solar energy, wind energy, solar module, wind turbine, power, renewable energy sources.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	
ANNOTATION	
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 СТАН ТА РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	8
1.1 Сонячна енергетика	8
1.1.1 Принцип роботи сонячної електричної станції	12
1.1.2 Класифікація сонячних батарей	12
1.1.3 Будова та принцип роботи сонячної батареї	14
1.1.4 Кількість елементів в модулі	16
1.2 Вітрова енергетика	17
1.2.1 Класифікація вітроустановок та їх призначення	22
1.2.2 Конструктивне виконання вітрових електричних установок	27
2 КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	29
2.1 Комбіновані технології з використанням відновлювальних джерел енергії	29
2.1.1 Принципи побудови комбінованих енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії	31
2.1.2 Аналіз розробок і ринку комбінованих систем на основі відновлюваних джерел енергії	36
2.2 Класифікація комбінованих систем електропостачання	38
2.2.1 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро- сонячної комбінованої системи електропостачання	39
2.2.2 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро- сонячної дизельної комбінованої системи електропостачання	41
2.3 Ефективність використання комбінованих систем	44
3 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ	48

КОМБІНОВАНОЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	
3.1 Оцінка енергетичних потреб об'єкта електропостачання	48
3.1.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу	53
3.1.2 Оцінка потенціалу сонячного випромінювання	56
3.1.3 Вибір типу поновлюваного енергокомплексу	59
3.2 Розробка схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової енергоустановок	60
3.3 Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання	61
3.3.1 Сонячні елементи	62
3.3.2 Акумуляторні батареї	62
3.3.3 Розрахунок струмів	63
3.3.4 Вітроустановка та випрямляч	64
4 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	68
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
5.1 Задачі розділу	73
5.2 Аналіз умов праці робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України	74
5.3 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при електричному монтажі вітряка	76
5.3.1 Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України з вітроенергетики	76
5.3.2 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора	80
5.4 Протипожежний захист вітроелектричних установок	84
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТКИ	89

ВСТУП

Комбінована відновлювальна генерація є перспективним підходом до створення чистого та екологічно безпечного енергозабезпечення. Використання відновлюваних джерел, таких як вітрова та сонячна енергія, може забезпечити доступніше енергетичне забезпечення та зменшити залежність споживачів від енергосистеми. Останнім часом велику увагу приділяють комбінованим системам електропостачання.

Потенціал відновлюваних джерел енергії в світі перевищує мільярди тон умовного палива щорічно, значно перевершуючи обсяг споживаного на даний момент паливно-енергетичного ресурсу. Раціональне використання цього потенціалу може вирішити численні екологічні проблеми, пов'язані з небезпечними процесами переробки вуглецевого палива, його економією, зменшенням витрат на транспортування віддалених регіонів і підвищенням рівня енергетичної надійності.

З огляду на те, що використання альтернативних джерел для виробництва електроенергії є додатковим стимулом для розвитку промисловості, забезпечення зайнятості та підвищення рівня життя населення, це може сприяти зміцненню та стимулюванню економіки в кінцевому підсумку [1-3].

В останнє десятиліття спостерігається величезний дисбаланс в попиті і пропозиції щодо «електроенергії в якості товару». У нас є величезні енергетичні потреби, але в той же час збільшуються труднощі в задоволенні цих потреб за допомогою традиційних засобів виробництва електроенергії. Є певні обмеження для вироблення електроенергії за допомогою звичайних засобів.

За економічними та екологічними причинами, це необхідно для того, щоб переключити нашу увагу від звичайних ресурсів для екологічно чистих відновлюваних джерел [4]. Поновлювані ресурси мають перевагу, яка дозволяє децентралізовано розподіляти енергію, зокрема, для задоволення енергетичних сільських потреб. У нинішній ситуації, відновлювані джерела енергії, особливо

сонячні і вітрові розглядаються як перспективні джерела через їх доступність і топологічні переваги в місцевих виробках електроенергії.

Однак використання поновлюваних джерел обмежене через високі капіталовкладення і їх залежність від кліматичних умов. Система тільки з сонячної або вітрової генерації продуктивні, але є проблеми, пов'язані з ними. Сонячне випромінювання не доступне протягом 24 годин і вітровий потік не є безперервним увесь час. З урахуванням цих проблем, залежність від цих систем ставиться під сумнів [5].

Одним із варіантів для того, щоб позбутися від цієї проблеми є використання комбінованої системи, яка використовує як сонячний так і вітрової ресурс. Така система, яка поєднує в собі енергію вітру і сонця, як резервне збереження енергії, може підвищити надійність електропостачання.

Аналіз джерел [4-5] вказує на наявність двох ключових недоліків у комбінованих системах електропостачання. По-перше, більшість досліджених систем призначені для загального або автономного електропостачання, не враховуючи конкретних особливостей різних видів споживання енергії. Наприклад, енергоспоживання в сільських господарствах може значно відрізнятися від споживання в інших галузях, таких як виробнича, офісна або побутова енергія. По-друге, дослідженню комбінованих відновлюваних систем для сільського господарства приділяється недостатньо уваги.

Тому **метою** магістерської дисертаційної роботи є дослідження роботи комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок, а також проектування такого типу електростанції потужністю 500 кВт.

Об'єктом роботи є автономна електростанція на основі сонячних елементів і вітрогенераторних установок.

В магістерській дисертаційній роботі передбачено вирішення таких завдань:

- ідентифікація проблем у розвитку та впровадженні сонячної та вітрової енергетики;

- аналіз комбінованих систем електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії, а також розгляд принципів їх конструкції та класифікації;
- визначення основних показників робочих режимів комбінованих систем на основі сонячних та вітрових установок;
- розроблення схем електропостачання мережі від комбінованої електростанції; проведення розрахунків параметрів та вибір відповідних пристроїв для схеми електропостачання;
- економічний аналіз будівництва комбінованої електростанції на основі сонячних та вітрових установок, включаючи розрахунок показників ефективності.

1 СТАН ТА РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Сонячна енергетика

Однією з найбільш динамічно розвинених галузей відновлюваної енергетики є сонячна. Вона має досить перспективний розвиток у всьому світі, зокрема й в Україні. З часом вона складе серйозну конкуренцію традиційним електричним станціям, що позитивно вплине на використання вичерпного та дорогого палива.

До переваг використання сонячної енергетики відносять її екологічність, адже вона не спричиняє жодного впливу на навколишнє середовище; економічні фактори (немає необхідності закуповувати паливо (торф, вугілля, газ чи нафту), невелика вартість станційного обладнання, низька собівартість виробленої електроенергії); політичні фактори (стимулювання та підтримка держави у вигляді закону «Про зелений тариф»).

У 2016 році сонячна енергетика стала найбільш вигідним варіантом порівняно з іншими альтернативними методами виробництва електроенергії, такими як вітрові електростанції. Це стало можливим завдяки державній підтримці, включаючи спеціальні програми, які сприяють будівництву сонячних електростанцій за допомогою економічно привабливого зеленого тарифу для викупу виробленої електроенергії [6].

Європейські країни виступають абсолютними лідерами у сфері сонячної енергетики. Сонячні електростанції забезпечують приблизно третю частину загального виробітку електроенергії в Німеччині, Іспанії та Італії. Прогнозується подальший ріст обсягів виробництва електроенергії за допомогою сонячних електростанцій і збільшення їхньої частки в загальній структурі енерговикористання [7].

Умови клімату та географічне положення України створюють сприятливий фон для розвитку сонячної енергетики та будівництва сонячних електростанцій. Навіть порівняно з Німеччиною, яка розташована значно північніше, Україна має

потенціал стати лідером у виробництві сонячної електроенергії. [6]. До перспектив розвитку сонячної енергетики, зазначених в [7], відносять:

- сонячна енергетика та енергозбереження стали глобальним трендом. Ще кілька років тому лідерами були Німеччина, США і Великобританія за обсягами виробництва, то у 2015 році їх випередила Японія і Китай, а в майбутньому - Індія. Сонячна енергетика активно розвивається в, Бразилії, Мексиці, Австралії, Пакистані, Чилі.

- Китай є вражаючим прикладом розвитку сонячних технологій. Лише за п'ять років він перетворився з аутсайдера в світового лідера за потужністю сонячних електростанцій. Протягом 2016-2020 років Китай планує інвестувати близько 145 млрд доларів у будівництво сонячних електростанцій, що дозволило запуснути близько 1000 потужних сонячних електростанцій (СЕС).

- Річний приріст потужностей СЕС складає приблизно 40-50%. Якщо в 2010 році сумарна потужність всіх сонячних станцій складала 40,3 ГВт, то вже в 2015 році ця цифра зросла до 230 ГВт, а лише за 2016 рік було введено в експлуатацію 76 ГВт.

- За прогнозами експертів, до 2070 року енергія Сонця стане основним джерелом електроенергії на землі. До початку наступного століття сонячна енергетика перевершить нафтову галузь в 3,5 рази і атомну в 6 разів за обсягами виробництва.

- Енергія сонячного випромінювання фактично нескінченна і абсолютно безкоштовна. Сучасні технології дозволяють створювати сонячні панелі, які, за мінімальних експлуатаційних витрат і обслуговування, забезпечать генерацію електроенергії протягом щонайменше 30 років.

- Спроможність сучасних технологій використання сонячної енергії вивела цю галузь на новий якісний рівень. Підвищення ефективності сонячних панелей, їх здешевлення та розширення сфер застосування (сонячні дороги, тротуари, фарба, черепиця, які виробляють електроенергію з сонячної енергії, тканина, що накопичує сонячну енергію, декоративні 3D модулі, технології перетворення

дощу в електроенергію завдяки сонячним батареям та ін.), сприяє щорічному зменшенню світових викидів CO₂ на 200-300 мільйонів метричних тон [8].

За останній рік більше 20 країн світу встановили сонячних електростанцій на 1 ГВт (рис. 1.1.).

У майбутньому цей сектор може задовольняти значну частину енергетичних потреб людства. Вже до 2060 року він прогнозується витіснити традиційні та витратні джерела енергії на другий план. Якщо продовжити теперішню тенденцію щорічного зростання сонячних електростанцій на 20-25%, то до кінця 2100 року їх енерговиробництво перевищить обсяги вугільної і нафтової енергетики в 3-4 рази, а атомної - більш ніж в 6 разів [9].

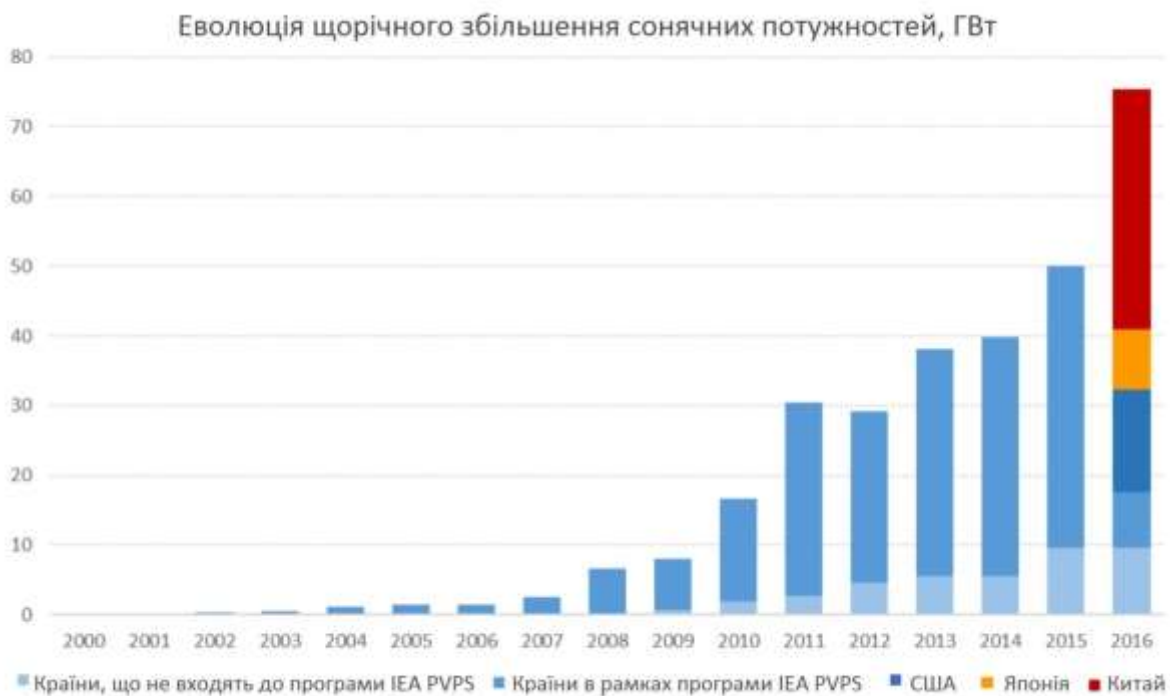


Рисунок 1.1 – Тенденція щорічного збільшення сонячних потужностей

Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2035 року в нашій країні сонячна енергетика сягатиме та 5 ГВт відповідно до проекту Енергостратегії [10]. Можливість досягнення планових

показників в першу чергу залежить від гарантій, які надає держава для стимулювання розвитку галузі та інвестиційного клімату у країні. За оцінками ЕУ, на даний момент Україна не входить навіть до перших сорок країн із найбільш привабливими умовами для відновлюваної енергетики.

Дані з [11] вказують, що середньорічна кількість загальної енергії сонячного випромінювання, яка надходить щорічно на територію України, коливається від 1 070 кВт·год/м² у північній частині країни до 1 400 кВт·год/м² та вище.

Найефективніше сонячні електричні станції функціонують впродовж 7 місяців на рік, хоча й експлуатується досить ефективно весь рік. Досвід європейських країн з аналогічним рівнем сонячного випромінення показав, що в Україні за рахунок вдосконалення технології та введення в експлуатацію нових потужностей виробництва електроенергії СЕС може бути значно збільшено.

В залежності від інтенсивності сонячної радіації, територію України можна умовно поділяють на 4 зони.

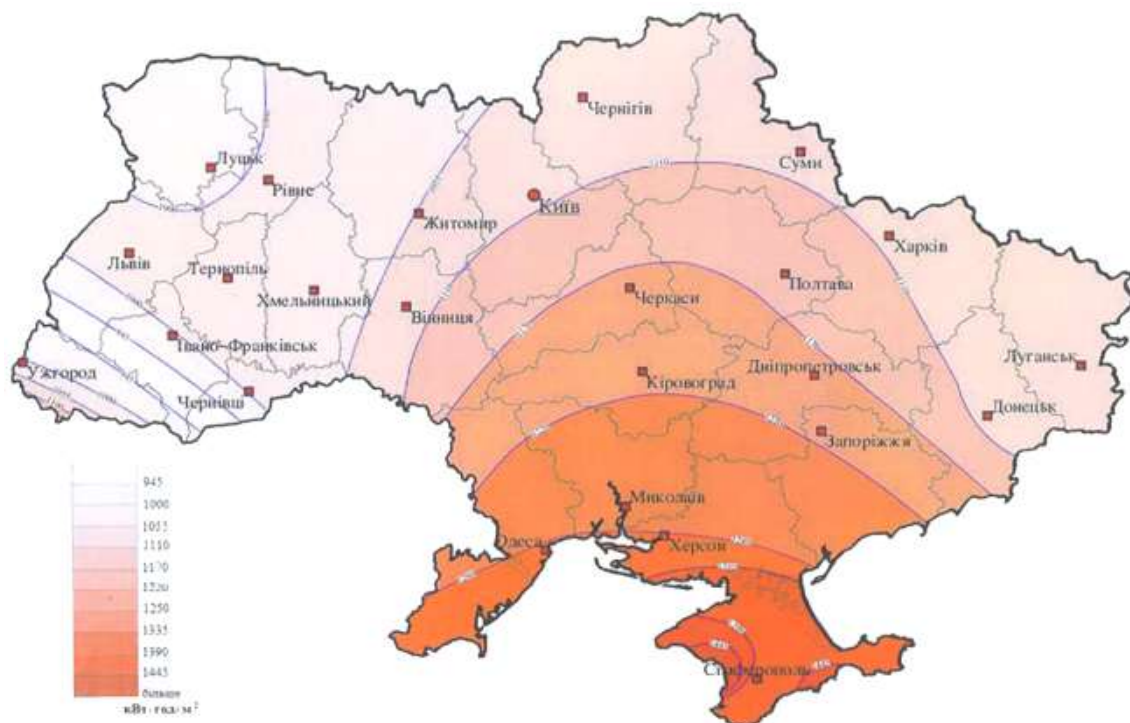


Рисунок 1.2 - Карта сонячної активності в Україні

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт·год/м) високий і значно вищий за середньорічний потенціал Німеччини - кВт·год/м або навіть у Польщі - 1080 кВт·год/м. Тому, Україна має можливість для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на своїй території.

1.1.1 Принцип роботи сонячної електричної станції

Сонячні батареї складаються з фотоелементів (напівпровідникових пристроїв), які отримують та перетворюють сонячну енергію в електроенергію. Такий процес перетворення називають фотоелектричним ефектом.

Останнім часом вартість фотоелектричних панелей знизилася в десятки, що в свою чергу дозволяє зробити висновки про неймовірну перспективу у використанні фотоелектричних перетворювачів [12]. Існує два основних види фотоелектричних перетворювачів (ФЕП): з монокристалічним кремнієм та з полікристалічним. Відрізняються вони один від одного за технологією виробництва та ККД. В монокристалічних ФЕП ККД до 17,5%, а у полікристалічних - 15% [13].

Найпростіша сонячна електрична станція складається з: сонячних батарей (генератора постійного струму), акумуляторних батарей з контролером заряду і інвертора, що перетворює постійний струм в змінний. Сонячна батарея складається з окремих сонячних елементів, які з'єднуються паралельно і послідовно, щоб збільшити вихідні параметри (струм, напругу та потужність). Напруга на виході збільшується при послідовному з'єднанні елементів, а при паралельному - вихідний струм [13]. Комбінація двох способів з'єднання проводиться для того, щоб збільшити і струм і напругу. Крім того, при комбінованому з'єднанні підвищується надійність, тобто пошкодження одного сонячного елемента не тягне за собою вихід з ладу всього ланцюга елементів, тому сонячна батарея складається з послідовно-паралельно з'єднаних елементів.

1.1.2 Класифікація сонячних батарей

Сонячні батареї поділяються за типами фотоелектричних комірок на дві великі групи:

- кремнієві сонячні панелі;
- плівкові сонячні панелі.

В свою чергу, кремнієві сонячні панелі бувають монокристалічними, полікристалічними, аморфними та аморфними.

Монокристалічні кремнієві сонячні панелі мають наступну особливість - очищений кремній вирощують як монокристал, а потім розділяють на найтонші пластинки товщиною в кількесот мікрометрів. Технологія виробництва дороговартісна, але ККД досить високий (до 22%). Для них характерний чорний колір поверхні.

Полікристалічні кремнієві сонячні панелі виробляють шляхом повільного охолодження розплавленого кремнію. Неоднорідність шару є причиною зниженого ККД (приблизно 12-18%), проте виробництво таких фотоелементів помітно дешевше. Відрізнити їх можна за синьо-чорним відтінком поверхні.

Аморфні кремнієві сонячні панелі хоч і відносять до кремнієвих (за способом виробництва), але це скоріше плівкові батареї. Сировиною служить кремніє-водень, який наносять на підкладку з фольги, пластику або скла. ККД зовсім низький - 5-6%, але показники оптичного поглинання в 20 разів перевищують два попередні типи. Такі батареї відмінно працюють в похмуру погоду. Відрізняються гнучкістю і малою товщиною фотоелементів. Термін експлуатації невеликий - не більше двох років.

Основними перевагами плівкових батарей є: дешевизна виробництва, гнучкість, легкість і компактність. На гнучку підкладку наносять полімерний активний шар, сітку електродів і захисне покриття. Кремній в цьому типі панелей не використовується. Розрізняють кілька видів плівкових батарей:

- з використанням дешевого теплурида кадмію (CdTe), ККД досягає 11%;
- з використанням селеніду міді-індію або галію, ККД відносно високий - 15-20%.
- полімерні плівкові батареї, які є найбільш інноваційним типом, де в якості світлопоглинаючої речовин використовують фулерени, поліфенілен і різні

органічні напівпровідники. ККД всього 5-6%, але такі плівки недорогі, екологічно нешкідливі, легко утилізуються.

За якістю фотоелементів сонячні батареї поділяють на чотири класи - від Grade A до Grade D. Перші (A) - найякісніші, мають ідеально однорідну і рівну поверхню сонячних клітин. Клас B може мати неоднорідну поверхню, але дефекти практично не впливають на продуктивність. Класи C має явні дефекти - мікротріщини і відколи, а клас D - це по суті елементи, зроблені з відбракованих шматочків і брухту.

1.1.3 Будова та принцип роботи сонячної батареї

Сонячні елементи батареї шунтуються діодами, які необхідні для захисту від виходу з ладу будь-якої частини батареї. Батарея в цей момент тимчасово генерує вихідну потужність на 25% меншу, ніж при освітленні сонцем всієї поверхні батареї без затемнень [13]. Якщо не встановлювати ці діоди, то затемнені елементи будуть сильно нагріватися і можуть вийти з ладу, тому що на часовий проміжок затемнення вони переходять в режим споживання струму (аккумулятори розряджаються через сонячні елементи), а при включенні діодів вони шунтуються і струм через них не протікає. Для того, щоб зменшити падіння напруги на діодах, вони повинні бути низькоомними.

Вироблена електроенергія накопичується в аккумуляторах, а потім передається навантаженню. Аккумулятори є хімічними джерелами струму. Заряд аккумулятора починається з того моменту, коли до нього прикладають потенціал, більший за напругою, ніж у самого аккумулятора. Кількість сонячних елементів, з'єднаних послідовно і паралельно, вибирається таким чином, щоб робоча напруга, що подається на клеми аккумулятора з урахуванням падіння напруги в зарядному ланцюзі, не на багато перевищувала напругу самих аккумуляторів, а струм навантаження батареї забезпечував необхідну величину зарядного струму.

При попаданні сонячних променів на провідник, той нагрівається, частково поглинаючи енергію променів. Приплив енергії вивільняє електрони всередині напівпровідника. До фотоелементу застосовується електричне поле,

направляючи вивільнені електрони, що змушує їх здійснювати рух в визначеному напрямку. Цей потік електронів і утворює електричний струм.

Сонячна батарея (рис. 1.3) складається з таких основних частин: алюмінієва рамка, загартоване скло з антибліковою поверхнею, передня ламінувальна плівка, елементи, з'єднані послідовно плоскими провідниками, задня ламінувальна плівка, задня захисна плівка (PET, TPE, TPT), сполучна розподільча коробка з захисними діодами і дротами.

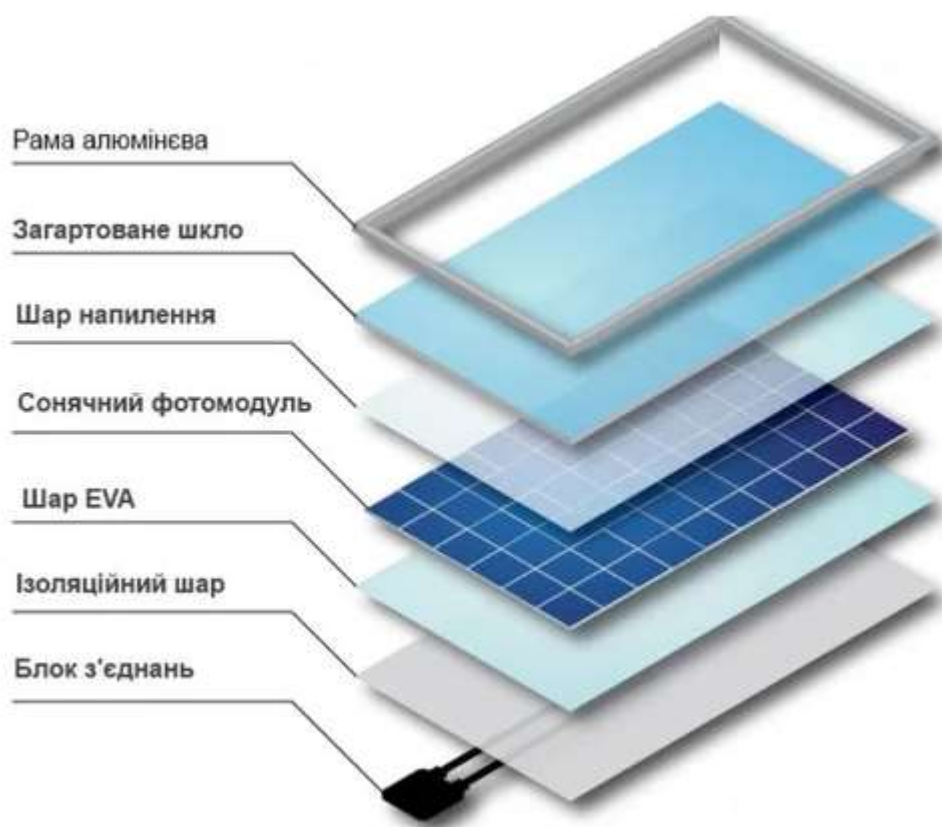


Рисунок 1.3 – Будова сонячної батареї

Ламінуючі плівки призначені для цілковитої герметизації всіх елементів і їх щільного прилягання до скла (без повітряних зазорів) з метою позбутися від додаткового заломлення світлових променів і, як наслідок, розсіювання потужності. Крім того, герметизація оберігає елементи від різних природних впливів і можливої корозії [14].

Зменшення потужності панелі з плином часу її експлуатації не залежить від самих елементів, а пов'язано, з якістю плівки, що застосовується для ламінування, тому що при тривалому впливі ультрафіолету її прозорість погіршується. Отже менша кількість світла надходить до сонячних елементів і панель видає меншу потужність.

1.1.4 Кількість елементів в модулі

Кількість сонячних елементів залежить від номінальної напругою модуля. Кожен елемент різного розміру є кремнієвим фотодіодом і має напругу в точці максимальної потужності приблизно 0.5 В. Стандартний модуль із номінальною напругою 12 В складається з 36 таких елементів. Якщо послідовно з'єднати 36 елементів з напругою по 0.5 В кожен, то в результаті отримаємо приблизно 18 В в точці максимальної потужності. Така напруга є оптимальною для заряджання 12-вольтного акумулятора, оскільки для повноцінного заряджання напруга акумулятора повинна досягати 14,2-14,9 В в залежності від типу акумуляторної батареї. Важливо також враховувати додатковий запас для врахування втрат в проводах, нагрівання модуля тощо [14].

Типова схема з'єднання осередків сонячної батареї представлена на рис. 1.4.

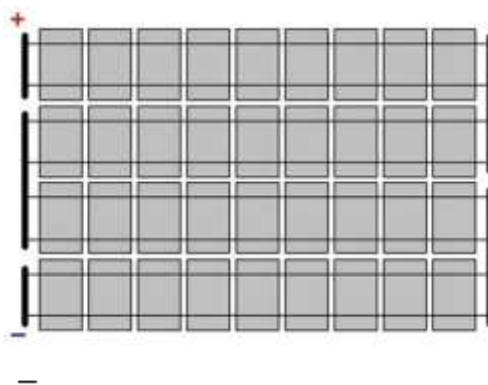


Рисунок 1.4 - Схема з'єднання осередків сонячної батареї

Якщо споживач потребує більшої потужності, то в схему необхідно підключити паралельно ще кілька сонячних панелей і, відповідно, акумуляторів.

Фотоелектрична система (рис. 1.5) складається з: однієї або кількох сонячних батарей в паралельному з'єднанні, контролера заряду і розряду акумулятора, кількох акумуляторних батарей, інвертора. Найбільш поширеними є 24-вольтні системи, яким властиве одночасне перетворення постійної напруги в 220 В змінної.

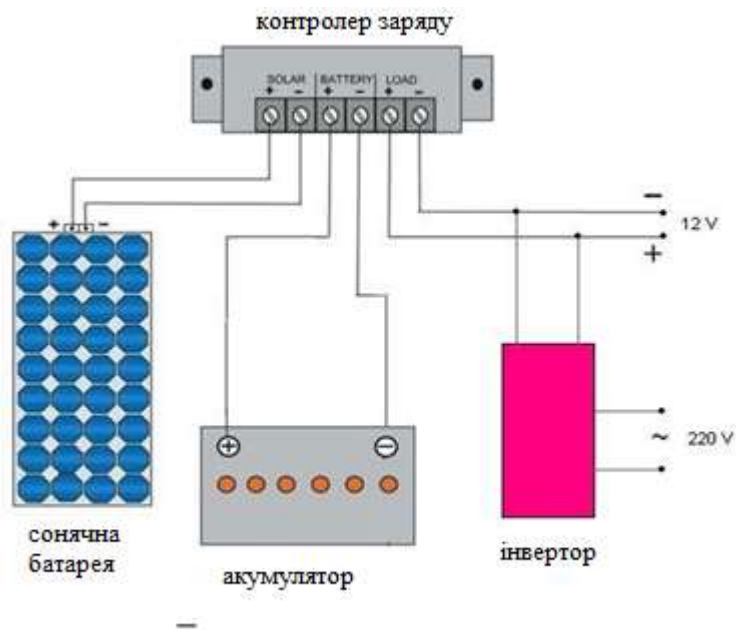


Рисунок 1.5 - Фотоелектрична система

1.2 Вітрова енергетика

Розвиток вітроенергетики в Україні вирішує ряд енергетичних, екологічних, соціальних та економічних завдань, що мають вагому значимість для країни. Важливим кроком на шляху розширення вітроенергетики є залучення значних приватних інвестицій, застосування державних економічних впливів та надання пільг.

Світовий ринок вітроенергетики пережив значний розвиток, що призвело до суттєвого зниження цін на вироблену вітром електроенергію. Сучасні вітрові турбіни зараз виробляють в 180 разів більше електроенергії, ніж 20 років тому, при цьому вартість одного кіловату зменшилася принаймні вдвічі. При

сприятливому розташуванні вітроенергетичні станції можуть конкурувати економічно з тепловими електростанціями на вугіллі та газі.

Вітроенергетика на сьогоднішній день є однією з найбільш розвинених і перспективних галузей нетрадиційної енергетики. В Програмі ООН з розвитку світової енергетики відзначається, що країни, які інтенсивно розвивають вітроенергетику, будуть лідерами у XXI столітті. Згідно з оцінками Всесвітньої енергетичної ради, внесок вітрової енергетики у світове виробництво енергії у 2020 році становитиме від 122 до 307 мільйонів тон умовного палива. На даний момент вітроенергетика розвивається в більш ніж 30 країнах, а великі проекти реалізуються в різних частинах світу, включаючи Китай, Швецію, Ірландію, Нову Зеландію, Швейцарію, Канаду, Німеччину, США, Іспанію та Данію. Після 1995 року встановлена потужність вітрових електростанцій у світі зростає більш ніж в 12 разів, з 4 800 МВт до 59 000 МВт (станом на кінець 2005 року) [15].

Однак існують певні недоліки, пов'язані з географічним розташуванням (потреба в великих площах, розташування вітроустановок в областях з високою інтенсивністю вітру), економічними аспектами (значні початкові інвестиції), а також екологічними питаннями (шумовий вплив; вплив на птахів, кажанів та інші види тварин; можлива ерозія ґрунту).

Запаси вітрового потенціалу, які можна використовувати до 2030 року, приблизно оцінюються на 16 ГВт. Згідно з даними Агентства з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів, до 2050 року може бути використано до 30 ТВт·год. вітрової енергії, а загальний технічний потенціал вітрової енергії становитиме 42 ТВт·год. В рамках енергетичної стратегії України передбачається, що до 2030 року вітрові установки будуть виробляти 2 ТВт·год. електроенергії.

За аналітичними прогнозами, вітроенергетика в Україні набуде більшого розвитку в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики в найближчі роки. Загальна потужність вітропарків, за прогнозами експертів, перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів. Це обумовлено тим, що в порівнянні з

фотоелектричними модулями, вітроустановки займають менше місця та є більш доступними з економічної точки зору [16].

Незважаючи на те, що останнім часом спостерігається уповільнення розвитку ВДЕ через світову економічну кризу, Україні вдалось наростити свої вітроенергетичні потужності і випередити деякі європейські держави.

Національна комісія з регулювання енергетики України відзначає, що встановлена потужність вітроелектростанцій збільшилась на 73 % (на 66,1 МВт) і на кінець року склала 151,1 Вт.

Багаторічний досвід використання вітроелектростанцій показує, що найефективніше енергія вітру використовується в морських, прибережних, гірських районах. З огляду на це територія України має відповідні географічні характеристики і значну кількість перспективних для вітроенергетики зон. «Вітряними» територіями України вважаються: території, прилеглі до Чорного і Азовського моря, Карпатський, Західно-Кримський і Східно-Кримський регіони, деякі ділянки з підвищеним вітровим потенціалом в Донбаському регіоні і в Дніпропетровській області. При встановленні вітроустановок на усіх цих територіях, можна було б забезпечити близько 30% потреб України в електроенергії.

Вітровий потенціал різних областей України визначається через національний вітроенергетичний кадастр, який включає в себе дані щодо швидкості вітру (середньорічні та середньомісячні), які базуються на результатах багаторічних наукових спостережень, а також повторюваність швидкості вітрових напрямів протягом року, місяця, доби та інших параметрів.

Середньорічна швидкість вітру в поверхневому шарі атмосфери на території України становить 4,3 м/с, що є досить низьким показником. Більшість вітрогенераторів починають генерувати електроенергію при швидкості вітру 5 м/с. Ураховуючи їхню здатність використовувати енергію вітру на висоті до 50 м (де швидкість вітру може збільшуватися), енергетичний потенціал на території України оцінюється в 330 млрд. кВт, що перевищує встановлену потужність

українських електростанцій в 6 тисяч разів. Дані про питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

№ району	Середньорічна швидкість вітру, V_{cp} , м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт·год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт·год/м ² рік
1	< 4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

Вітрові умови в регіоні, що визначають можливість використання вітру, описуються вітроенергетичним кадастром. Цей кадастр включає різні показники швидкості вітру, які визначаються на основі багаторічних спостережень, таких

як середньорічні і середньомісячні швидкості вітру, а також повторюваність швидкості вітрових напрямків протягом року, місяця та доби.

Зі зменшенням впливу теплих і вологих атлантичних повітряних мас, які надходять на територію України з північного заходу, спостерігається збільшення континентальності клімату, що створює сприятливі умови для розвитку вітроенергетики. Вплив на значення вітроенергетичного потенціалу південних і південно-східних територій також вказується енергетичним переміщенням повітряних мас з Чорного і Азовського морів, а також формуванням вітрів місцевого значення у прибережній зоні морів. Слід зазначити, що гірські території України характеризуються великими швидкостями вітру.

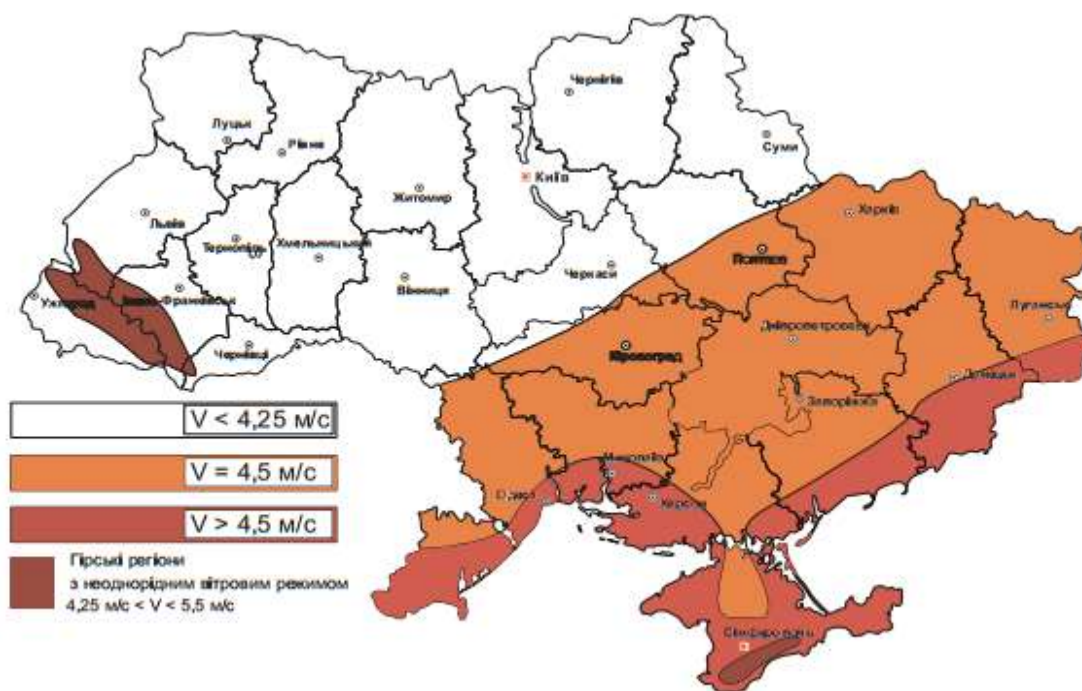


Рис. 1.6 - Вітроенергетичний потенціал України

Сучасні вітрові енергоустановки (ВЕУ), які функціонують в Україні, переважно ґрунтуються на вітроагрегатах, що виготовлені в Україні під ліцензією компанії "Кенетек Виндпауер". Всі експлуатуються ВЕУ були зведені в рамках "Комплексної програми будівництва вітроелектростанцій", що була прийнята урядом України в 1997 році. Ця програма передбачала введення в

експлуатацію 1990 МВт вітроенергетичних потужностей до 2010 року. Зазначеною програмою було започатковано виробництво ліцензійних установок потужністю 107,5 кВт, і важливо відзначити, що 100% компонентів цих установок виготовлялися в Україні.

1.2.1 Класифікація вітроустановок та їх призначення

Принцип роботи всіх вітродвигунів полягає в тому, що вітроколесо з лопатями обертається під впливом вітру. Цей обертовий рух передається через систему передач на вал генератора, який в свою чергу виробляє електроенергію. Ефективність вітродвигуна залежить від діаметру вітроколеса, оскільки він визначає обсяг повітря, який може бути захоплений, і впливає на кількість виробленої енергії.

Сучасні вітродвигуни можна класифікувати на три категорії відповідно до конструкції вітроколеса і його розташування у потоці вітру.

В першому класі вітродвигунів вітрове колесо розташоване у вертикальній площині, при цьому площина обертання перпендикулярна напрямку вітру, а ось вітроколеса паралельна потоку. Такі вітродвигуни відомі як крильчасті і згідно з ГОСТ 2656-44 поділяються на три групи в залежності від типу вітроколеса та його швидкісних характеристик (рис. 1.7):

- вітродвигуни багатолопатні, тихохідні, з швидкохідністю $Z_n = 2$;
- вітродвигуни малолопатні, тихохідні, в тому числі вітряки, з швидкохідністю $Z_n > 2$;
- вітродвигуни малолопатні, швидкохідні, $Z_n = 3$.

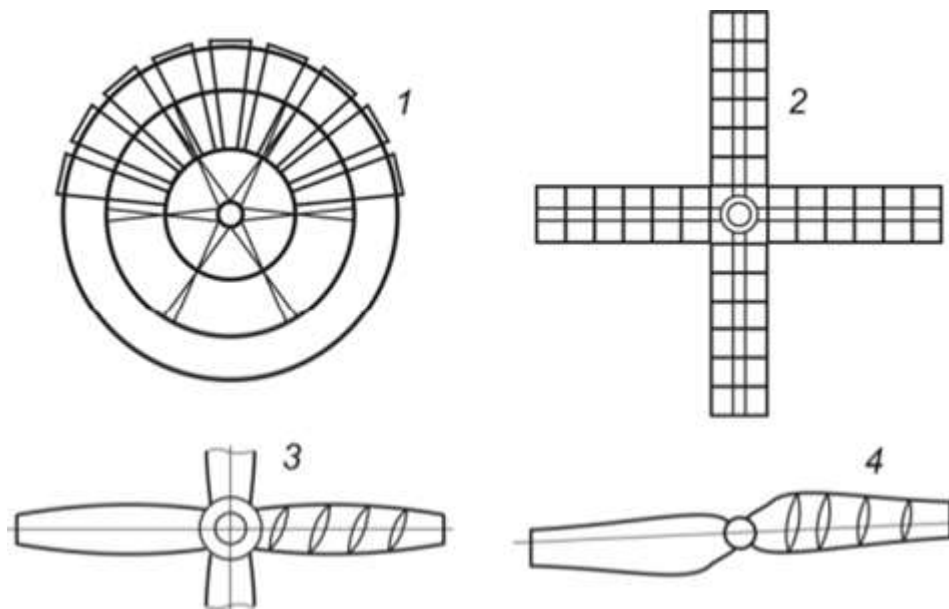


Рисунок 1.7 - Схеми вітроколес крильчастих вітродвигунів: 1 - багатолопатні; 2-4 – малолопатні

У другому класі вітродвигунів використовується система з вертикальною віссю обертання вітрового колеса. За конструктивною схемою ці системи можуть бути розділені на групи:

- карусельні, де неробочі лопаті можуть прикриватися ширмою або розташовуватися ребром проти вітру;
- роторні вітродвигуни з системою Савоніуса. У третьому класі вітродвигунів застосовується принцип водяного млинового колеса і вони відомі як барабанні. У цих вітродвигунів вісь обертання горизонтальна і перпендикулярна напрямку вітру.

Основні класифікаційні ознаки вітроенергетичних установок можна визначити за наступними критеріями:

1. Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, установка буде горизонтально-осьовою, якщо вісь обертання вітроколеса перпендикулярна повітряному потоку - вертикально-осьовою (рис. 1.8).

2. Системи, які використовують опір як обертальну силу, зазвичай обертаються з лінійною швидкістю, яка менша, ніж швидкість вітру. У той час

як системи, що використовують підйомну силу, характеризуються лінійною швидкістю кінців лопатей, значною за швидкість вітру.

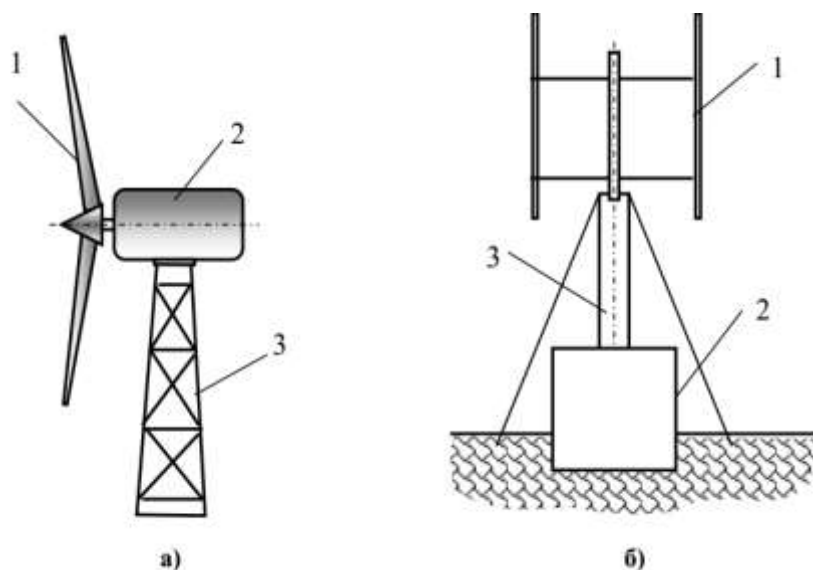


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд ВЕУ (а – горизонтально-осьова, б – вертикально осьова)

3. Для більшості установок геометричне заповнення вітроколеса визначається числом лопатей. Системи з великим геометричним заповненням вітроколеса ефективно розвивають значну потужність при слабкому вітрі, досягаючи максимальної потужності при невеликих обертах. З іншого боку, системи з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих обертах і залишаються в цьому режимі тривалий час.

4. Установки для прямого виконання механічної роботи часто називають вітряком чи турбіною, в той час як установки для виробництва електроенергії (об'єднання турбіни і електрогенератора) мають назви, такі як вітроелектрогенератор та аерогенератор, а також установки для перетворення енергії.

5. У випадку аерогенераторів, які підключені безпосередньо до потужної енергосистеми, частота обертання залишається постійною через ефект

асинхронізації, але такі установки менше ефективно використовують енергію вітру порівняно з установками із змінною частотою обертання.

б. Вітроколесо може бути прив'язане до електрогенератора безпосередньо (жорстке з'єднання) або через проміжний перетворювач енергії, який діє як буфер. Наявність буфера зменшує наслідки флуктуацій частоти обертання вітроколеса, що дозволяє ефективніше використовувати енергію вітру і потужність електрогенератора. Крім того, існують частково розв'язані схеми з'єднання колеса з генератором. Таким чином, нежорстке з'єднання, поряд з інерцією вітроколеса, зменшує вплив флуктуацій швидкості вітру на вихідні параметри електрогенератора. Зменшити цей вплив дозволяє також пружне з'єднання лопатей з віссю вітроколеса.

Залежно від виду енергії, що виробляється, вітрові енергетичні установки (ВЕУ) поділяються на вітроелектричні та вітромеханічні. Вітроелектричні ВЕУ, у свою чергу, можуть бути розділені на вітроустановки, що генерують електроенергію постійного або змінного струму. Механічні ВЕУ використовуються для приводу робочих машин. За рівнем потужності ВЕУ поділяються на чотири групи:

- дуже малої потужності, менше 5 кВт;
- малої потужності, від 5 до 100 кВт;
- середньої потужності, від 100 до 1000 кВт;
- великої потужності, понад 1 МВт.

Вітроустановки кожної групи відрізняються перш за все конструкцією, типом фундаменту, способом установки вітроагрегату на вітер, системою регулювання, системою передачі вітрової потужності, методом монтажу і обслуговуванням. Залежно від призначення, електричні ВЕУ постійного струму поділяються на:

- вітрозарядні;
- гарантованого електропостачання споживача;
- негарантованого електропостачання.

Електричні ВЕУ змінного струму поділяються на:

- автономні;
- гібридні, які працюють паралельно з енергосистемою суміжної потужності (наприклад, з дизельною установкою);
- мережеві, які працюють паралельно з потужною енергосистемою.

Механічні ВЕУ за призначенням поділяються на:

- вітронасосні для приводу водяних насосів;
- вітросилові для роботи з промисловими і побутовими механізмами.

Класифікація ВЕУ за областями застосування визначається їх призначенням. При розрахунку і проектуванні вітродвигуна та виборі його номінальних параметрів необхідно враховувати:

- тип навантаження (електрогенератор, водяний насос і т. д.);
- тип системи передачі вітрової потужності до споживача;
- тип системи генерування та акумулювання електроенергії.

Вітродвигуни класифікують за рядом різних ознак, як основних, так і другорядних. Однією з основних ознак класифікації є орієнтація вектора кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна щодо векторів швидкості вітру у вільному атмосферному потоці. За цією ознакою вітродвигуни поділяються на колінеарні і ортогональні. Колінеарні – це вітродвигуни, у яких вектори швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора паралельні або антипаралельні. Прикладом є горизонтально-осьовий вітродвигун. Ортогональні – це вітродвигуни, у яких вектори швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора перпендикулярні. Можливий вітродвигун, у якого кут між векторами швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора є гострий (від 0 до 90°). Такий вітродвигун можна назвати похилоосьовим. За іншою основною ознакою, за принципом силової аеродинамічної взаємодії лопатевої системи вітродвигуна з потоком повітря, вітродвигуни можна розділити на два типи:

- вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи підйомну силу, що виникає на робочих елементах лопатевої системи, таких як жорсткі лопаті або обертальний циліндр, і створює крутний момент;

- вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи розходження в аеродинамічних силах, що виникають на різних елементах лопатевої системи, таких як крилоподібні лопаті чи інші поверхні, в моменти руху цих поверхонь за напрямком вітру і проти напрямку вітру, створюючи розходження в аеродинамічному опорі.

Усі ці класифікації сприяють розумінню основних принципів та різноманітності вітрових енергетичних установок (ВЕУ). Залежно від конкретних потреб та умов використання, вітродвигуни можуть варіювати за типом, потужністю та ефективністю, що визначає їх різноманітність та широкий спектр застосування.

1.2.2 Конструктивне виконання вітрових електричних установок

Зазвичай ВЕУ складаються з первинного перетворювача, електричного генератора, опорно-поворотного пристрою, системи управління ВЕУ.

Вітромеханічні установки складаються з:

- **ротора:** це система обертових аеродинамічних елементів, таких як лопаті, з'єднаних в єдиний вал. Його основна функція - перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію обертового валу;

- **гондоли:** ця частина розташована на вершині опори і служить для розміщення вузлів кріплення валу ротора, мультиплікатора, трансмісії та інших елементів;

- **опори (вежі, башти, щогли):** ця структура утримує гондолу та ротор над поверхнею землі;

- **опорно-повертального пристрою:** він служить для повороту гондоли та ротора навколо вертикальної вісі у напрямку повітряного потоку;

- **системи керування поворотом гондоли:** ця система утримує вісь ротора у напрямі повітряного потоку з мінімальним відхиленням;

• **трансмiсії:** це система для передачі крутного моменту від валу ротора до робочої машини.

Горизонтально-осьові вітроелектроустановки середньої та великої потужності можуть бути обладнані механiзмами регулювання кута установки лопатей ротора та механiзмами орієнтації вітроагрегата.

Одна чи кілька груп вітроелектричних установок складають ВЕС, яка включає додаткові компоненти, такі як система управління, метеовишка та трансформаторні підстанції. Система керування вітроелектричних установок відповідає за керування, контроль та облік роботи всієї ВЕС і окремо кожної ВЕУ. Метеовишка визначає параметри вітру і передає цю інформацію в систему керування. Трансформаторна підстанція обслуговує кілька ВЕУ і забезпечує підвищення напруги для передачі енергії від генераторів ВЕУ до лінії передачі. Підстанція ВЕС відповідає за розподіл та передачу енергії від ВЕС до електромережі енергосистеми. Функціональну схему ВЕС, що базується на типовій вітротурбiні великої потужності, можна побачити на рисунку 1.9.

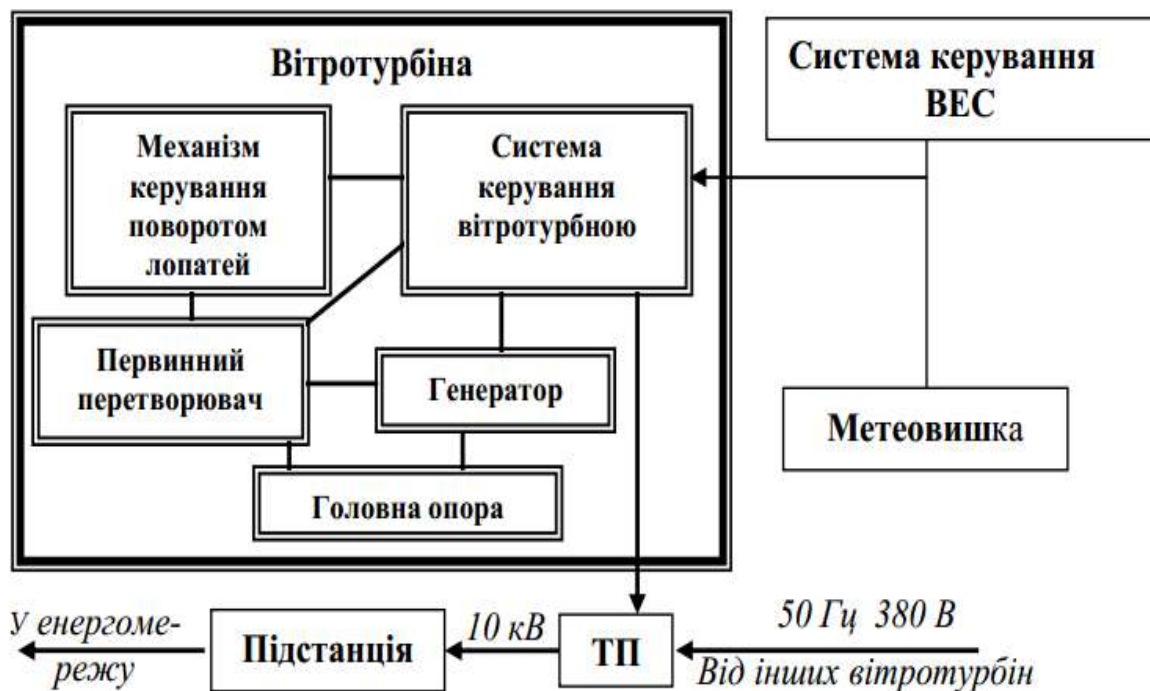


Рисунок 1.9 – Функціональна схема вітрової електричної станції

2 КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК

Відновлювані джерела енергії – це ті ресурси, які постійно відновлюються в природі, і, отже, можуть забезпечувати енергію протягом мільйонів чи навіть мільярдів років. Серед них можна виділити сонячне випромінювання, вітер, біомасу, припливні хвилі та термальні джерела.

Незалежно від конкретного джерела, використання таких енергетичних ресурсів не порушує загальної теплової рівноваги та не призводить до загального потепління природи внаслідок збільшення енергоспоживання на Землі. Важливо зауважити, що використання цих джерел енергії не змінює обсягу енергії, яка надходить на Землю та виходить з неї. Однією з ключових переваг цих джерел енергії є їхній екологічно безпечний вплив на природу.

Світова тенденція зростання тарифів на електроенергію, яка пов'язана з постійним подорожчанням невідновлюваних енергетичних ресурсів планет, веде до того, що ми все більш рішуче і наполегливо вирішуємо питання використання альтернативної енергетики в нашому житті. Одними з таких "дармових" енергетичних ресурсів для людства і є невичерпна енергія вітру і сонця.

2.1 Комбіновані технології з використанням відновлювальних джерел енергії

У нашій країні розроблена Національна програма «Розвиток місцевих, відновлюваних і нетрадиційних енергоджерел на 2011-2015 роки», згідно з якою до 2020 р необхідно забезпечити частку використання власних енергоресурсів в балансі енергоресурсів для виробництва теплової та електричної енергії не менше 32,0%. Значний внесок у виконання програми повинні внести і поновлювані джерела енергії, частка яких в енергетичному балансі країни в 2010 р становила близько 5% [18]. Передбачається, що поряд з широким використанням біосировини (сільськогосподарські відходи, деревна біопаливо і

т.п.) в енергетичних цілях, розвиток вітро- та сонячної енергетики. Світовий досвід використання відновлюваних джерел енергії показує, що вироблення енергії вітроустановками, сонячними батареями і водонагрівальними колекторами значно залежить від сезону та погодних умов, що призводить до проблеми зі стабільністю енергозабезпечення. Це завдання вирішується шляхом використання таких видів ВДЕ в складі існуючих енергетичних мереж або в якості додаткового джерела енергії. Однак в останні роки запропоновано досить велика кількість розробок, які забезпечують сталий енергопостачання об'єктів за допомогою так званих комбінованих енергетичних систем на основі ВДЕ [19-23].

Ця концепція отримала найбільш широке поширення стосовно електрозабезпечення сільських територій і до автономного енергозабезпечення віддалених об'єктів, наприклад, базових станцій стільникового зв'язку, гідрометеорологічних станцій, невеликих віддалених хуторів і сіл і т.д. Системи комбінованого виробництва енергії поєднують найефективніші характеристики кожного джерела енергії, забезпечуючи генерацію електроенергії в діапазоні від 1 кВт до кількох сотень кіловат (рис. 2.1). Ці системи можуть бути розроблені як інтегрований дизайн для невеликих систем розподілу електроенергії (міні-мереж), а також можуть інтегруватися в енергосистеми, що працюють на дизельному пальному.

Крім того, вони можуть служити як резервне джерело електропостачання у випадку аварійного відключення звичайних мереж.



Рисунок. 2.1 – Комбінованої системи електропостачання на основі ВДЕ (загальна схема та вид)



Рисунок 2.2 – Схема комбінованої системи постійного струму

2.2.1 Принципи побудови комбінованих енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії

Комбіновані енергетичні системи часто об'єднують декілька джерел відновлюваної енергії, таких як сонячні батареї, міні-гідроелектростанції та інші

пристрої для зберігання енергії. Головною метою цих систем є постачання електроенергії об'єктам [19]. Також до складу системи можуть входити джерела теплової енергії (біогазові установки, сонячні теплові колектори) та джерела на органічному паливі (дизель-генератори), які використовуються як резервне живлення. Технологічні зміни можуть бути класифіковані відповідно до типу напруги в мережі: постійного, змінного струму або комбінованих ліній [20]. Як видно з рис. 1.2, в комбінованій системі постійного струму всі компоненти для вироблення електричної енергії пов'язані з лініями постійного струму, від яких заряджаються батареї. Батареї повинні бути обладнані захистом (контролером) від перезарядки і повного розряду. Напруга від джерел змінного струму (вітрогідротурбіни, дизель-генератор) перетворюється в постійну за допомогою конверторів. Навантаження змінного струму живляться через інвертор. У комбінованих системах змінного струму основні джерела напруги можуть бути пов'язані безпосередньо з лінією змінного струму або через додаткові конвертори для забезпечення необхідних характеристик змінного струму (зокрема при з'єднанні системи з централізованою електромережею). В обох випадках двунаправлений інвертор регулює подачу енергії для зарядки акумуляторів, а також передачу енергії від акумуляторів до навантаження змінного струму. Навантаження постійного струму можуть забезпечуватися напругою від акумуляторів. Залежно від особливостей роботи, комбіновані системи класифікуються як послідовні, які перемикаються, і паралельні [28]. У послідовних системах (рис. 1.3) акумулятори заряджаються від сонячного фотоелектричного модуля (як показано на представленій конфігурації) або від дизель-генератора постійного струму (в разі відсутності сонячного випромінювання). За допомогою інвертора енергія передається від акумуляторів до навантаження змінного струму. Система може працювати в ручному або автоматичному режимі в залежності від наявності сенсорів для контролю заряду батарей та управління ввімкненням дизель-генератора. Конфігурація системи, що перемикається, має досить просту схему і широко використовується

на сучасному енергетичному ринку. Деякі недоліки включають часті перезарядки акумуляторів, що може призводити до скорочення їх терміну служби, і необхідність великих батарей для зменшення глибини розряду. Виходження інвертора з ладу може призвести до повного відключення споживачів від електромережі.

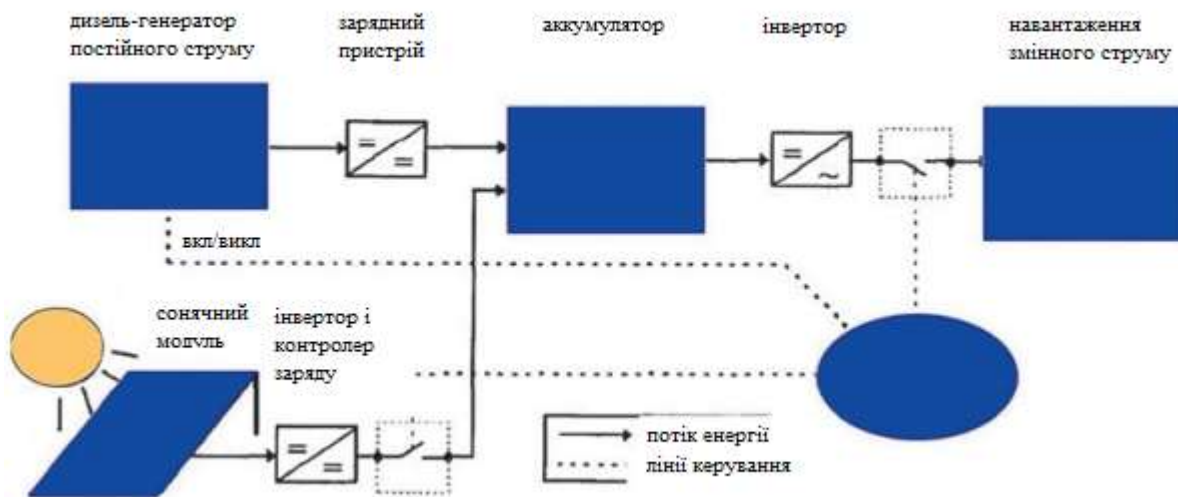


Рисунок 2.3 - Послідовна конфігурація комбінованої системи

Зарядження акумуляторів відбувається через відновлювані джерела або дизель-генератор (з використанням випрямляча). Під час автоматичної роботи системи, контролери управління створюють потрібну конфігурацію для забезпечення безперебійного живлення споживачів і відповідного рівня заряду акумулятора. У порівнянні з послідовною конфігурацією, комбінована система, яка може перемикається, відзначається вищою надійністю в постачанні енергії, але при цьому має вищий рівень складності.

В паралельній конфігурації комбінованої системи існує можливість подачі енергії незалежно кожним джерелом, яке входить у систему (особливо при невеликих та середніх навантаженнях), а також одночасно від усіх джерел при пікових навантаженнях. У випадку одночасної роботи потрібна синхронізація форми напруги на виході інвертора та генератора змінного струму.

Двонаправлений інвертор забезпечує зарядку акумуляторів від генератора змінного струму і перетворення постійного струму від сонячних батарей і акумуляторів в змінний струм. Слід зазначити, що ефективна експлуатація паралельної комбінованої системи вимагає складної системи управління. Однак, виходячи з великих можливостей надійного енергозабезпечення, остання конфігурація має перспективи в практичному застосуванні, особливо коли в систему підключені декілька видів відновлюваних джерел енергії.

2.2.2 Аналіз розробок і ринку комбінованих систем на основі ВДЕ

У сучасному контексті велика увага приділяється розробкам в галузі комбінованих систем від компаній, які спеціалізуються на відновлюваній енергетиці. З одного боку, комбіновані технології стають ефективним рішенням для вирішення проблеми впливу погодних умов на надійне забезпечення енергією від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), а з іншого боку, вони вирішують завдання автономного енергопостачання об'єктів, розташованих віддалено від централізованих електричних та теплових мереж.



Рисунок 2.4 - Концепція гібридної системи фірми Enertrag (Німеччина)

Фірма Enertrag AG (Німеччина), яка ефективно працює в області вітроенергетики, пропонує технології для спільного використання енергії вітру, біогазу і водню для вирішення проблеми появи надлишкової електроенергії, вироблюваної великими вітропарками (сезонний стабільний вітер, нічний час та ін.) (рис. 2.4) [20]. Для акумулювання електроенергії фірмою реалізується проект її використання для електролітичного розкладання води на водень і кисень з подальшим закачуванням водню в сховище. Надалі, при збільшенні споживання електричної енергії, водень разом з біогазом може знову перетворюватися на електричну енергію в блокових електростанціях. Крім цього, водень можна використовувати як паливо в нових водневих двигунах або паливних комірках. За інформацією фірми Enertrag AG, перший такий проект реалізований в Берліні в кінці 2011 р, в якості другого планується будівництво аналогічного об'єкту в новому міжнародному аеропорту в 2012 р (Berlin Bradenburg International airport) [20]. Ефективне використання водню в складі комбінованої сонячної енергосистеми (з ККД 28,5%) в житлових приміщеннях запропоновано в розробках вчених університету ім. Дюка (Північна Кароліна, США) (рис. 2.5). Замість енергетичної системи, заснованої на стандартних сонячних батареях, пропонується комбінована система, в якій сонячне світло нагріває суміш біометанолу і води в спеціальних батареях зі скляних трубок, розташованих на даху. В результаті двох каталітичних реакцій в цих батареях, водень утворюється набагато ефективніше, ніж за іншими технологіями. Як і в інших рішеннях, заснованих на сонячній енергії, комбінована система починає функціонувати при поглинанні сонячного світла. Однак її конструкція відрізняється від традиційного сонячного колектора, так як мережа мідних трубок покрита тонким шаром алюмінію і оксиду алюмінію з частковим заповненням каталітичними наночастинками.

Конструкція установки дозволяє використовувати до 95% енергії поглиненого сонячного світла з дуже малими втратами в навколишнє середовище, що забезпечує в кінці трубної системи колектора температуру до

200 ° C (в звичайному сонячному колекторі температура досягає всього 60-70 ° C). При таких високих температурах в рідину, яка випаровується додається каталізатор для виробництва водню. В результаті отриманий водень можна або відразу направити на паливні елементи для вироблення електроенергії для житлового будинку в протягом дня, або стискати і закачувати в балони для зберігання з подальшою подачею в міру необхідності на паливні елементи.

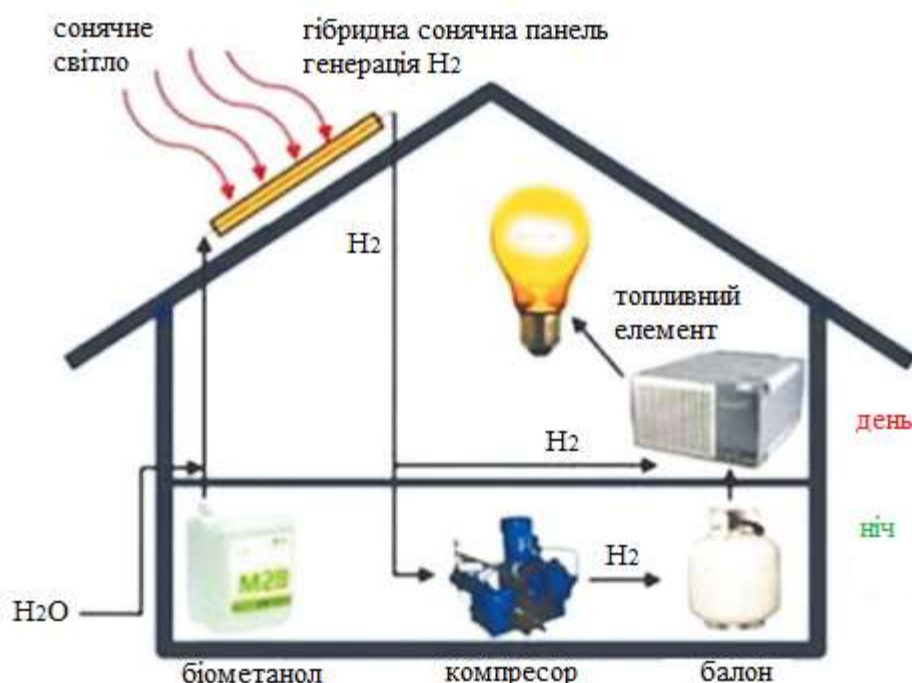


Рисунок 2.5 - Схема використання сонячного випромінювання для отримання водню

Слід зазначити, що в даний час ряд фірм України, Росії, Казахстану пропонують конкретні технічні рішення і відповідне обладнання для створення комбінованих автономних систем, що забезпечують електроенергією віддалені об'єкти [19-24]. Зокрема, фірма «Ваш сонячний будинок» (SOLAiR) проектує і встановлює системи, які можуть працювати на різних джерелах енергії: сонячних батареях, вітроустановках, мікро-ГЕС, дизель-генератори, а також планується використання біосировини для цілей опалення.

Локальна електрифікація з використанням комбінованих електростанцій дозволяє повністю покрити потреби в електроенергії житлових будинків і місцевих виробничих об'єктів. Також сучасні технології комунікацій можуть бути застосовані для організації віддаленого управління енергетичним обладнанням за допомогою мобільного зв'язку та інтернету. В даний час фірма SOLAiR пропонує малопотужні вітро-сонячні станції потужністю вітроустановки 500 і 1000 Вт, сонячних батарей – від 160 до 1000 Вт. Всі системи побудовані на базі малопотужних вітроенергетичних установок виробництва китайського заводу Shenshou Wind Driven. До системи можливе підключення сонячних батарей практично будь-якої потужності через додатковий контролер заряду. Наприклад, комбінована вітро-сонячна електростанція ВСЕ-500/160-24, що поставляється цією фірмою, складається з наступних компонентів:

- вітроелектричної установки потужністю 500 Вт, що включає вітротурбіну, щоглу, блок контролю і управління зарядом акумуляторної батареї, баластне навантаження;
- фотоелектричних модулів пікової потужністю 160-170 Вт напругою 24 В;
- контролера заряду сонячних батарей на струм до 10 А, 24 В;
- інвертора номінальною потужністю 500 Вт, або будь-якого іншого максимальною потужністю до 3 кВт з вхідною напругою 24 В;
- двогелева акумуляторна батарея, напругою 12 В і номінальною ємністю 200 А · год.

Для забезпечення безперебійного електропостачання рекомендується ввести в систему невеликий (1-3 кВт) бензоелектричний агрегат (на випадок відсутності вітру і яскравого сонячного випромінювання протягом тривалого періоду).

Фірмою «Балтелектронкомплект» (Санкт-Петербург) поставляється комплект «Без зв'язку», який містить:

- вітроагрегат, номінальною потужністю 5 кВт;
- сонячні модулі, потужністю 150 Вт - 6 шт;

- бензогенератор, потужністю 4,5 кВт;
- аккумулятори 12 В, 200 А · год - 8 штук.

Повна вартість системи - від 316000 грн.

Комбіновані системи випускаються також українськими фірмами.

Зокрема, НВО «ГрандЕнерго» поставляє на ринок системи, що використовують енергію вітру і сонця. Стандартна комплектація гібридних систем включає в себе:

- вітрогенератор на 0,8 кВт;
- вежу висотою 17,2 м;
- сонячні модулі високої якості з гарантією до 20 років;
- модуль, що відслідковує максимальну потужність сонячної активності (сонячний контролер, МППТ);
- інвертор із зарядним пристроєм 3000-4500 Вт;
- зарядний пристрій потужністю: 85-100 А (24 VDC), 42-55 А (48 VDC);
- вбудований автовимикач АК;
- високоефективні гелеві акумулятори;
- кабельні вироби;
- датчик температури батареї;
- робочий проект.

Орієнтовна вартість комбінованих систем наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вартість комбінованих установок

Встановлена потужність	Роздрібна ціна
2050 Вт	8,500.00 \$
2575 Вт	10,200.00 \$
3100 Вт	12,750.00 \$
3625 Вт	13,500.00 \$
4150 Вт	14,900.00 \$

2.2 Класифікація комбінованих систем електропостачання

Енергетичний розвиток протягом тривалого часу надмірно залежить від вичерпного палива, що спричиняє такі проблеми, як використання ресурсів, зміну клімату та забруднення навколишнього середовища, тому велику увагу приділяють відновлювальній енергії, для того, щоб вирішити ці проблеми. Вітрова та сонячна енергія є перспективними та альтернативними енергіями і з огляду на її екологічні та соціальні переваги заохочують збільшення державної підтримки та державних стимулів.

Однак, завдяки стохастичному та переривчастому характеру, різке зміни вітрової енергії призведе до проблем безпеки та стабільності в енергетичній мережі. Для того, щоб максимально використовувати енергію вітру і сонця, потрібно вирішити проблеми з плануванням генерації вітру та сонця. Тому для цього були проведені значні роботи з проблеми вигоди вітру та сонця в енергосистемі. Метод цифрового моделювання часто використовується для обчислення межі проникнення вітрової енергії. У роботі [22] досліджуються стаціонарні обмеження на максимальну потужність вітряної електростанції. В роботах [23] та [24] враховується тимчасова стабільність енергетичної системи. Деякі алгоритми математичної оптимізації також широко використовуються для оцінки потужності вітру. Моделі будуються з максимальною встановленою потужністю вітру як об'єктивної функції, рівняння потоку потужності та показники якості енергії як обмеження. Для розв'язання моделей застосовуються алгоритми звичайного програмування та штучні інтелектуальні алгоритми.

Вітрова та сонячна енергія доповнюють різні часові шкали. Тим не менше, було зроблено чимало наукових досліджень щодо вітрової та сонячної системи окремо, а в процесах практичного планування нерідко враховується взаємодоповнюючий характер вітрового і сонячного ресурсів.. Зі збільшенням потужності вітрових і сонячних станцій, потрібно знову посилити увагу плануванню вітро-сонячної комбінованої системи. На основі випадкового обмеженого програмування, представлена модель оптимізації встановленої

потужності для комбінованої системи. Нарешті, в поєднанні з практичним прикладом в енергосистемі, проаналізована оптимальна задача планування комбінованої системи вітру та сонця, а також продемонстрована перевага запропонованого методу у поліпшенні використання відновлюваних джерел енергії.

2.2.1 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро-сонячної комбінованої системи електропостачання

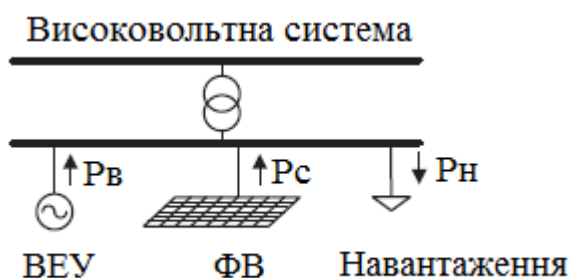


Рисунок 2.6 – Вітро-сонячна комбінована система електропостачання

У практичному плануванні системи потужність трансформатора є основною перешкодою для інтеграції енергії вітру та сонця. Мається на увазі, що основний трансформатор може перевантажуватись, коли вихідна потужність вітру та сонця набагато більша, ніж потужність навантаження.

Розрахункова модель ліміту потужності.

Щоб максимально використовувати вітрову та сонячну енергію, слід проаналізувати ліміт потужності вітро-сонячної комбінованої системи. Коли трансформатор перевантажується, вихідна потужність вітру або сонця повинна бути зменшена. Відповідно до актуальної теми існує два поширені типи випадків планування:

- один вид виробництва поновлюваних джерел енергії, який був введений в експлуатацію.
- відсутнє виробництво відновлюваної енергії, яка була введена в експлуатацію. Вітряні і сонячні станції плануються поєднати разом.

2.2.2 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітрово-сонячної дизельної комбінованої системи електропостачання

В останні роки завдяки швидкому технологічному розвитку, зниження вартості обладнання, необхідного для відновлювальних джерел енергії, значна увага у всьому світі була спрямована на виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, таких як сонця, вітру, біогазу, геотермальної енергії, океанічної хвилі, припливів та ін. Багато країн встановили або продемонстрували великі-, малі- та мікроенергосистеми з використанням відновлюваних ресурсів, що використовуються.

Щорічне середнє сонячне випромінювання схоже у всьому прибережному регіоні України. Середньорічне глобальне сонячне випромінювання у цьому регіоні складає 4,65 кВт / м² / д, а середньомісячна швидкість вітру на висоті 25 м становить 4,54 м / с. Розглянемо наступну комбіновану систему. Оскільки ця система містить різні дорогі компоненти, необхідні для систем відновлювальної енергетики, необхідно ідеально оптимізувати конструкцію системи для зниження собівартості системи та вартості енергії.

До цього часу розроблено кілька методів оптимізації комбінованої системи та програм моделювання. Внаслідок включення нелінійних компонентів з багатьма параметрами оптимізації, вирішення складних задач зосереджено на базі генетичних алгоритмів. Для імітації комбінованої були розроблені комп'ютерні імітаційні програми, такі як HYBRID2, розроблені Національною лабораторією відновлюваної енергії (NREL) з США та TRNSYS, з Університету Вісконсіна з США.

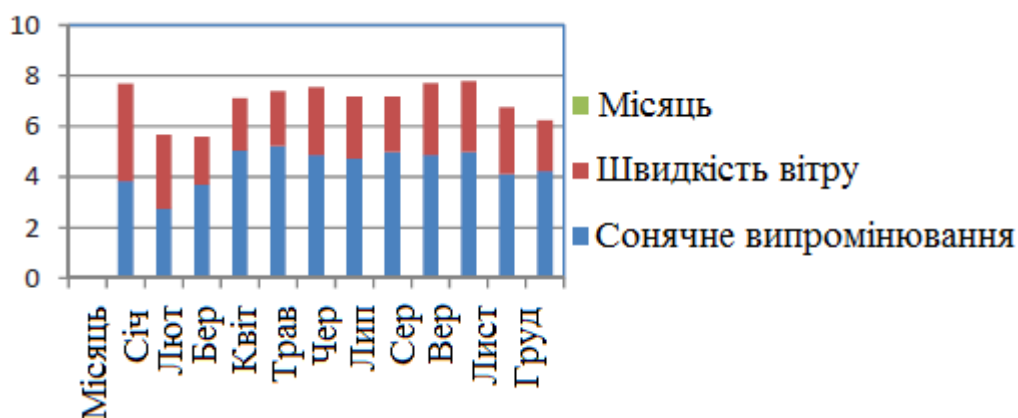
Основною метою даної роботи є розробка стійкого оптимізованого дизайну комбінованої системи шляхом фокусування максимального виробництва енергії з використанням ВДЕ з мінімальним коефіцієнтом викидів. Розглянуто надлишок енергії для прибережних регіонів України. Для того, щоб оцінити вартість системи та виробничі витрати на енергію, проведені наступні дослідження витрат. Це включає витрати, такі як капітал, операції,

обслуговування, паливо, тощо. Цей економічний аналіз проводиться для визначення ефективності запропонованої системи. Нарешті, порівняльне дослідження показано з іншими комбінованими енергетичними системами для підтвердження практичності запропонованої оптимізованої системи.

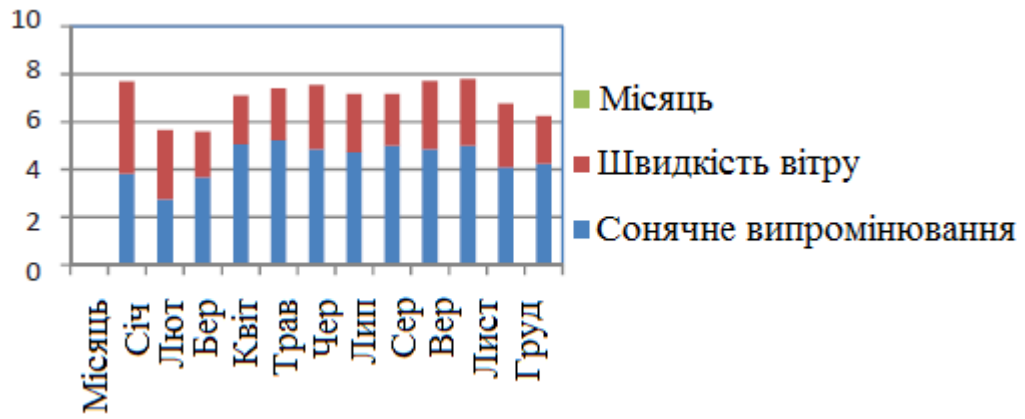
Вибір джерела енергії.

На рис. 2.7 показано співвідношення між сонячним випромінюванням та швидкістю вітру протягом року. Це також показує взаємодоповнюючі зв'язки між вітровою та сонячною системами. Отже, для впровадження системи відновлюваної енергетики на прибережних регіонах України, найбільш похідним варіантом може бути комбінована система вітрової та сонячної системи разом з дизельною системою.

На рис. 2.8 показана запропонована структура комбінованої системи для Одеської області. У структурі ми включили дизель-генератори з відновлюваними енергетичними генераторами (вітром та сонячною енергією). Дизельний генератор, акумулятор та перетворювач (інвертор та випрямляч) додаються як частина систем резервного зберігання та зберігання під час несприятливих погодних умов. Комбінована енергетична система складається з вітрової турбіни, сонячного модуля, навантаження, дизельного генератора як джерела живлення, запасного акумулятора та перетворювача для перетворення змінного струму в постійний струм.



а) Одеська область



б) Херсонська область

Рисунок 2.7 - Середня швидкість вітру та крива сонячного випромінювання для а) Одеської області і б) Херсонської області



Рисунок 2.8- Схематична блок-схема вітро-сонячної комбінованої енергетичної системи

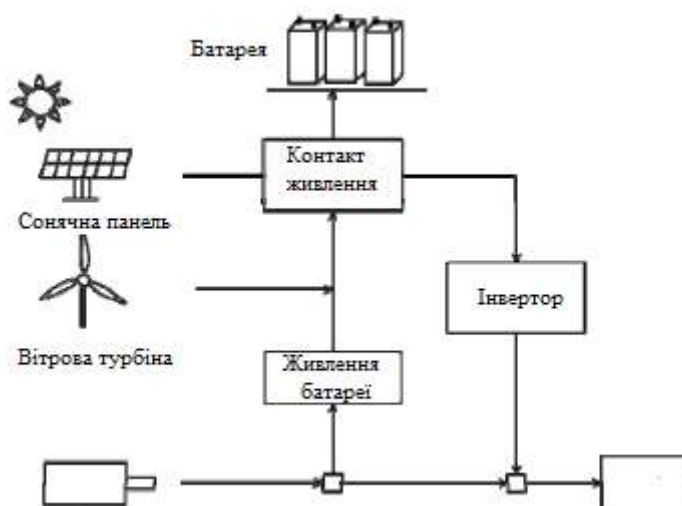


Рисунок 2.9 - Вітро-сонячно-дизельна комбінована система

2.3 Ефективність використання комбінованих систем

Вартість постачання електроенергії для конкретного віддаленого поселення буде різноманітною, залежно від специфіки місцевих умов, таких як обсяг споживаної потужності, розподіл навантаження, доступність відновлюваних джерел енергії, вартість палива та ефективність транспортної інфраструктури. Щодо використання відновлюваних джерел енергії в сільських районах, незважаючи на високі витрати на початкові інвестиції, це часто виявляється економічно вигідним завдяки низьким експлуатаційним витратам та зручній технічній обслуговуванні. Ключовим фактором у процесі ухвалення рішень є зміна цін на вуглеводневі види палива, і, відповідно, загальна ціна палива на національному рівні. Різне зростання вартості нафти і постійне вичерпання цього ресурсу створюють тривалі обмеження для економічного зростання у всьому світі. Комбіновані системи, що базуються на відновлюваних джерелах енергії, виявляються нечутливими до коливань цін на нафту. Навіть якщо ці системи включають дизельний генератор в якості резервного, ВДЕ забезпечать від 60 до 90% споживаної енергії. Основними факторами у визначенні вартості розширення централізованих мереж, включаючи монтаж

ліній середнього і високого класу напруги, підстанцій і низьковольтних розподільчих пристроїв, є розмір навантаження, відстань від навантаження до існуючих ліній електропередачі, ландшафт місцевості. Через відсутність критичної маси, низького потенціалу попиту на електроенергію і, звичайно ж, велику відстань між електромережею і віддаленим сільським поселенням вартість електрифікації невеликих спільнот за допомогою розширення мережі може бути високою і, таким чином, економічно не вигідною. Недостатній рівень кваліфікації місцевого технічного і управлінського персоналу, великі втрати при передачі електричної енергії є також факторами, які виступають проти такого рішення.

Електрифікація через використання комбінованих систем, що базуються на відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ), представляє собою більш економічно вигідний та екологічно дружній варіант. Підвищення надійності таких комбінованих систем, мінімальні втрати під час передачі енергії, ефективне використання та раціональне споживання енергії, а також оптимальне використання місцевих ресурсів визначають основну роль у виборі децентралізованого підходу. Перевірений часом досвід використання комбінованих систем у різних країнах (див. рис. 2.10) свідчить про перспективність таких рішень для електрифікації сільських територій.

Важливо відзначити, що широке практичне впровадження комбінованих систем значною мірою залежатиме від виробництва доступного за ціною вітчизняного обладнання, такого як вітроустановки невеликої потужності, сонячні батареї, водонагрівальні колектори, теплові насоси тощо. З урахуванням планів на будівництво вітропарків в країні, також слід враховувати потенціал комбінованих систем для вирішення проблем пікових навантажень, накопичення надлишкової електроенергії та раціонального її використання.



Рисунок 2.10 - Гібридна система на основі ВДЕ фірми «Альфа-Калор»

В умовах нашого клімату сонячні системи працюють круглий рік, хоча зі змінною ефективністю. Тому варто розглядати сумарний річний потенціал сонячної енергії на території всієї України. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт·год/м) є досить високим і набагато вищим, ніж, наприклад, у Німеччині - 1000 кВт·год /м або в Польщі - 1080 кВт·год/м. Маючи це на увазі, у нас в Україні є значні можливості для продуктивного використання такого обладнання. Вираз "продуктивне використання" означає, що сонячна установка може функціонувати з віддачею в 50% і більше, що відповідає 9 місяцям на південних областях України (від березня до листопада) і 7 місяцям - в північних областях (від квітня до жовтня). У зимовий період ефективність роботи може зменшитися, але все ж не зникає.

Сонячна енергетика є однією з найбільших частин альтернативної енергетики та галузі використання поновлюваних джерел енергії. Енергія Сонця

і вітру і використання її в повсякденному житті являють собою важливі області для досліджень і високотехнологічних розробок.

Вітрогенератори, в свою чергу, теж набирають популярність. Вони використовуються не тільки як додаткове джерело електрики, а часто і як основне джерело, завдяки надійній конструкції, комфорту при експлуатації. Оптимальною робочою швидкістю вітру для роторної і пропелерної вітроустановок є діапазон від 4 м/с до 7 м/с. При збільшенні питомої вартості вітроустановки оптимальна робоча швидкість незначно збільшується, а при збільшенні питомої вартості акумуляторів дещо зменшується. Однак межі зміни незначні - швидкість залишається в інтервалі 5,5-6 м/с. Для більш ефективного використання вітроустановок, можна використовувати кілька вітрогенераторів малої потужності, але працювати вони будуть при малих вітрах. Змішане використання сонячних елементів і вітрогенератора дозволяє підвищити робочу швидкість вітру до 9-10 м/с.

3 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ КОМБІНОВАНОЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК

Об'єкти відновлюваної енергетики в силу залежності від природних умов, різноманітних компоновок, складу, способу виробництва робіт, взаємодії з навколишнім середовищем, в більшості випадків унікальні.

Вибір оптимального варіанту проекту передбачає врахування багатьох взаємопов'язаних факторів і проводиться за допомогою серії послідовних уточнюючих розрахунків.

До основних параметрів комбінованого енергетичного комплексу, які підлягають обґрунтуванню в процесі проектування відносяться:

- оцінка енергетичних потреб об'єкта електропостачання;
- оцінка економічного потенціалу відновлюваної енергоресурсу (вітру і сонячного випромінювання);
- параметри енергетичного обладнання;
- встановлена потужність комплексу і його складових;
- параметри комунікацій.

3.1 Оцінка енергетичних потреб об'єкта електропостачання

Об'єкти децентралізованого електропостачання розрізняються великою різноманітністю по встановленій потужності, режимам енергоспоживання, вимогам до якості електроенергії тощо, в зв'язку з чим, їх досить складно класифікувати. Найбільшого поширення децентралізовані системи електропостачання отримали для забезпечення електричною енергією наступних груп споживачів:

- індивідуальні споживачі невеликої потужності від одиниць до десятків кВт - котеджі і заміські будинки, метеостанції, вежі стільникового зв'язку, польові об'єкти і експедиції, фермерські господарства, прикордонні, радарні і навігаційні пости і т. д. ;

- групі непромислові споживачі встановленою потужністю від десятків до сотень кВт - окремі великі житлові будівлі та мікрорайони, різні об'єкти соціальної сфери, торговельні підприємства і установи охорони здоров'я, села, селища малоповерхової забудови і т. д. ;

- промислові підприємства з встановленою потужністю від сотень до тисяч кВт.

Характерною рисою децентралізованого споживача є різкозмінний графік електричного навантаження впродовж доби і року. Як приклад, на рис. 3.1 наведено добовий графік споживання невеликого автономного поселення, а на рис. 3.2 - річний графік. Для надійного забезпечення споживача електроенергією в таких умовах необхідне просте, надійне, економічне джерело електроживлення, який має можливість конструктивного виконання на широкий діапазон встановлених потужностей.

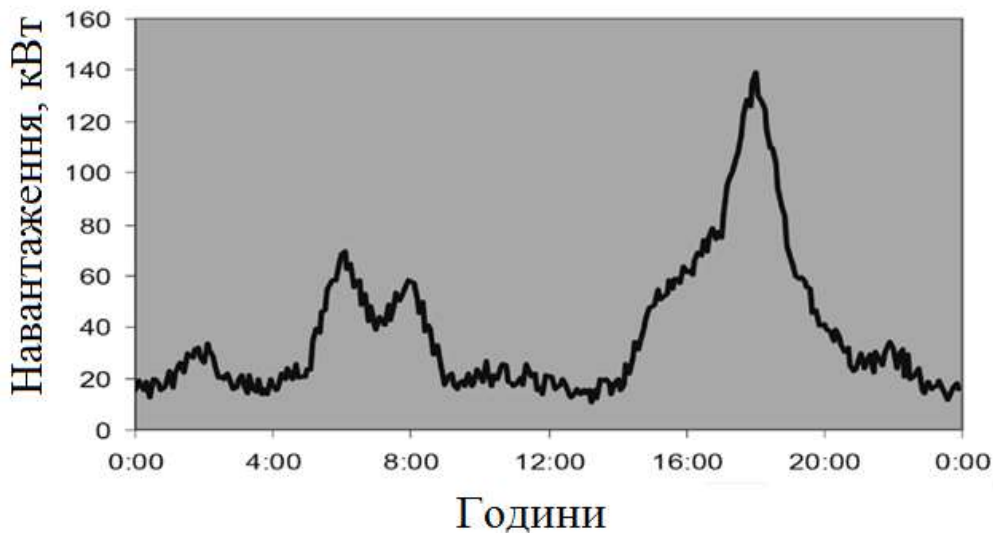


Рисунок 3.1 - Добовий графік електричних навантажень невеликого автономного поселення

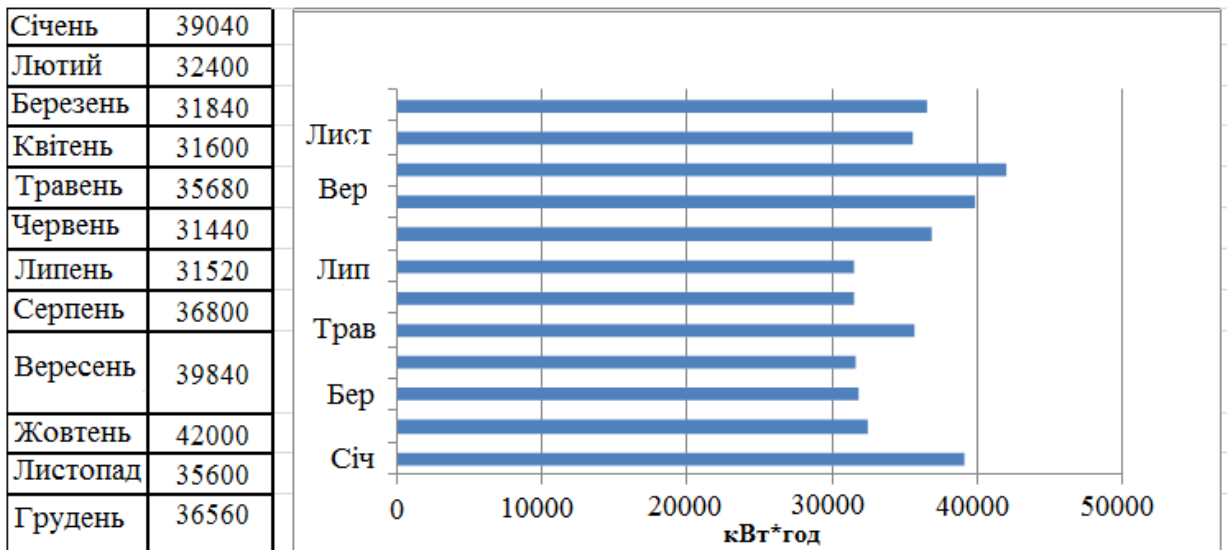


Рисунок 3.2 - Річний графік електричних навантажень об'єкта автономного електропостачання

Розрахункова електрична потужність автономного об'єкта електропостачання визначається за відомими методиками. Так, якщо в якості об'єкта електропостачання виступає підприємство, то можна використовувати метод упорядкованих діаграм. Якщо об'єктом є житловий будинок (різних типів) або комплекс будівель (селище, мікрорайон) то можна скористатися методиками, викладеними в [22]. Слід зазначити, що перед початком розрахунків необхідно проаналізувати встановлені електроприймачі по споживаній потужності і провести комплекс заходів щодо зниження потужності. Наприклад, в якості освітлення використовувати енергозберігаючі (світлодіодні) лампи, виключити такі електроприймачі, як «тепла підлога», бойлери та ін.

Для моделювання електричного навантаження об'єкта можна використовувати ймовірно-статистичну модель, що задається виразом:

$$P_{pi} = P_i + \beta\sigma(P_i), \quad (3.1)$$

де P_{pi} - розрахункове активне навантаження на i -й годині добового графіка;

P_i - математичне очікування навантаження на i -й годині добового графіка;

β - коефіцієнт надійності розрахунку, який визначає ймовірність, з якої випадкові значення навантаження залишаться меншими прийнятого розрахункового значення.

При нормальному законі розподілу ймовірностей величин навантажень, при $\beta = 2, \sigma(P_i) = 0,025$.

В якості базової моделі електричного навантаження можна прийняти типовий графік активного навантаження сільських житлових будинків (або малих сільськогосподарських підприємств), типовий для децентралізованих споживачів (рис. 3.3).

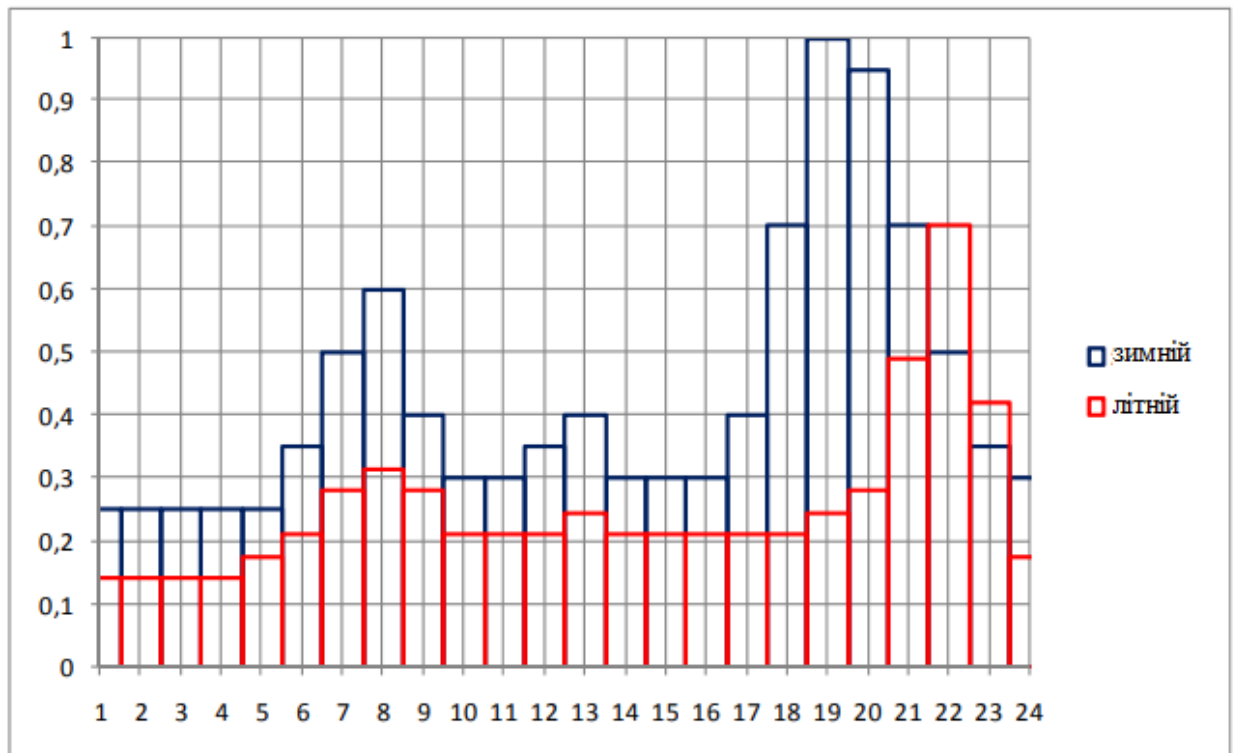


Рисунок 3.3 - Типові добові графіки навантаження децентралізованих споживачів

Графіки на рис. 3.3 представлені у відносних одиницях і дозволяють за відомим значенням максимального навантаження об'єкта електропостачання

P_{max} (кВт) отримати добовий графік розрахункового навантаження об'єкта для будь-якого дня року:

$$P_{pi} = P_i P_{max} (1 + \beta \sigma(P_i)) K_c, \quad (3.2)$$

де K_c - коефіцієнт сезонності, значення якого представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти сезонності для добових графіків навантаження децентралізованих споживачів

№, пп	Місяць	Коефіцієнт сезонності, k_c
1	Січень	1,0
2	Лютий	1,0
3	Березень	0,8
4	Квітень	0,8
5	Травень	0,8
6	Червень	0,7
7	Липень	0,7
8	Серпень	0,7
9	Вересень	0,9
10	Жовтень	0,9
11	Листопад	0,9
12	Грудень	1,0

В результаті отримуємо імітаційну модель електричного навантаження автономного об'єкта електропостачання, яку можна використовувати для визначення енергетичних характеристик системи електропостачання з відновлюваними енергоджерелами.

3.1.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу

Потенціал вітроенергетики визначається як загальна енергія вітрового потоку в будь-якій конкретній локації на певній висоті над поверхнею землі. Енергія вітру характеризується швидкістю, яка представляє собою випадкову величину в просторі і часі. Таким чином, енергетичні параметри вітру можуть

бути висвітлені у вигляді ймовірнісного опису випадкового процесу зміни вітроенергетичного потенціалу. Основою для ймовірнісного підходу є дискретизація часового процесу, що дозволяє вважати всі обумовлені параметри незалежними та сталими протягом інтервалу дискретизації. Як тимчасові інтервали стаціонарності часто використовуються година, доба, сезон і рік. Зведена інформація про аерологічні та енергетичні характеристики вітру формує вітроенергетичний кадастр регіону. Основні параметри вітроенергетичного кадастру включають:

- середню річну швидкість вітру, щорічний та добовий профіль вітру;
- властивості повторюваності швидкостей, типи та параметри функцій розподілу швидкостей вітру;
- вертикальний профіль середньої швидкості вітру;
- питому потужність та питому енергію вітру;
- вітроенергетичні ресурси регіону.

Для отримання достовірних даних по середніх швидкостях вітру території необхідно використовувати значні обсяги вимірювань протягом досить тривалого часу. У літературі [23] наводяться рекомендації про доцільність 10-річних обсягів вибірки спостережень.

Середньорічна швидкість вітру визначається як середньоарифметичне значення, отримане в результаті вимірів швидкості через рівні проміжки часу протягом певного періоду: добу, місяць, рік, кілька років:

$$V_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (3.3)$$

де V_i - швидкість вітру в інтервалі вимірювання i ;

n - кількість інтервалів вимірювань.

Для чисельної оцінки розкиду швидкостей вітру від середнього значення використовується коефіцієнт варіації середніх швидкостей, який визначається виразом:

$$C_v = \frac{S_v}{V_{cp}}, \quad (3.4)$$

де S_v - середньоквадратичне відхилення поточної швидкості вітру від середнього значення;

V_{cp} - середня швидкість вітру за досліджуваний період часу.

Середня швидкість вітру служить орієнтовним показником, що характеризує можливість застосування вітроелектростанцій в даній місцевості. Критеріями служить значення швидкостей вітру, при яких сучасні вітроустановки починають обертатися і розвивають свою номінальну потужність. Відомо, що швидкість вітру в міру віддалення від підстильної поверхні зростає і повітряний потік стає більш стійким. Ступінь збільшення швидкості вітру з висотою сильно залежить від шорсткості підстильної поверхні. Для різних типів поверхні висота шорсткості Z_0 може бути визначена, як висота, на якій швидкість вітру дорівнює 0.

Значення Z_0 для різних типів поверхонь приведена в табл. 3.2 [20].

Таблиця 3.2 - Значення Z_0 для різних типів поверхонь

Тип поверхні	Характеристика	Z_0 , м
Рівна	Пляж, лід, сніжні пейзажі	0,005
Відкрита	Низька трава, аеропорти, прибрані поля	0,03
Шорстка	Поля с високими культурами, дерева, ліси, сади	0,25
Дуже шорстка	Ліси ,сади	0,5
Закрита	Села, околиці міст	1
Міста	Центри міст, відкриті поверхні в лісах	2

При розрахунку вироблення електроенергії слід враховувати збільшення швидкості вітру на висоті осі вітродвигуна в порівнянні з даними спостережень на висоті флюгера.

Зазвичай вежа для вітроелектростанції входить до складу її комплектації із зазначенням конструктивних параметрів. Для автономних ВЕС на потужності до 100-200 кВт висота вежі зазвичай не перевищує 50 м. Відповідно, облік вертикального профілю вітру на висотах 20, 30, 40, 50 м. Дозволить більш точно оцінити вітроенергетичний потенціал місцевості.

Для оцінки переважаючого напрямку вітрів будується роза вітрів (рис. 2.4), що представляє собою векторну діаграму, у якій довжина променів, що розходяться від центру діаграми в різних напрямках (румбах горизонту), пропорційна повторюваності вітрів цих напрямів.

Переважаюче напрямком вітру на обраній площадці слід враховувати при будівництві вітропарку, а також співвідносити його з ландшафтом (за винятком рівнинного характеру місцевості).

Таким чином, результатами дослідження вітроенергетичного потенціалу в передбачуваному місці розміщення вітроелектростанції є наступні характеристики:

- визначення середньоденний, середньомісячної і середньорічної швидкості вітру за даними метеоспостережень за 5-10 років;
- перерахунок середньої швидкості вітру кожного місяця на передбачувану висоту вежі вітрогенератора;
- розподіл швидкості вітру на висоті осі вітрогенератора по градаціях для кожного місяця року;
- побудова рози вітрів для досліджуваної території.

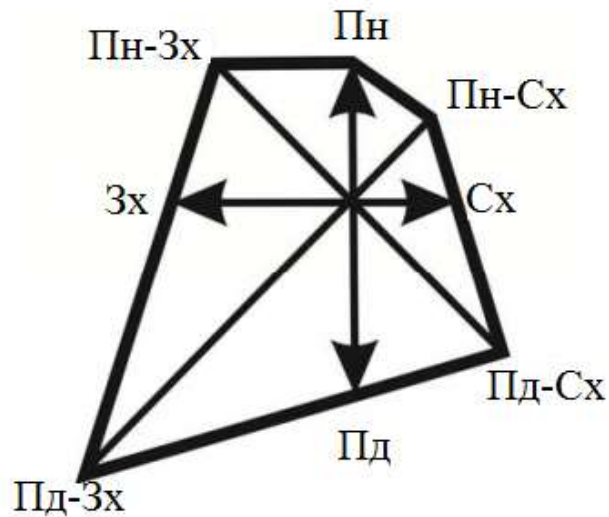


Рисунок 3.4 – Роза вітрів

Отримані вітроенергетичні характеристики дозволяють оптимізувати вибір вітроенергетичного обладнання і, далі, інтегрувати його в систему електропостачання селища.

3.1.2 Оцінка потенціалу сонячного випромінювання

Основним джерелом енергії для нашої планети є сонячна енергія. Саме Сонце є прабатьком всіх основних енергетичних ресурсів, використовуваних людством - Сонце нагріває атмосферу і поверхню Землі, завдяки чому дмуть вітри, переміщуються маси води, розвиваються рослини, утворюються органічні види палива. Сонце являє собою величезну, газовий кулю, що яскраво світиться і складається в основному з водню (70%) і гелію (27%). У надрах Сонця безперервно протікають термоядерні реакції, що супроводжуються виділенням величезної кількості енергії. Інтенсивність випромінювання на поверхні Сонця становить 70-80 тис. кВт/м² при температурі близько 6000°C. Сумарна потужність променевої енергії, що надходить до Земній атмосфері, дорівнює приблизно 180000 млрд. кВт. Інтенсивність сонячного випромінювання залежить від безлічі факторів: географічної широти, кута нахилу приймальної поверхні по відношенню до Сонця, місцевого клімату, хмарності, запиленості повітря, висоти над рівнем моря, сезону року і часу доби. У середніх широтах

вдень інтенсивність сонячного випромінювання досягає 800 Вт/м^2 влітку і $200\text{-}350 \text{ Вт/м}^2$ взимку, зменшуючись практично до нуля із заходом Сонця.

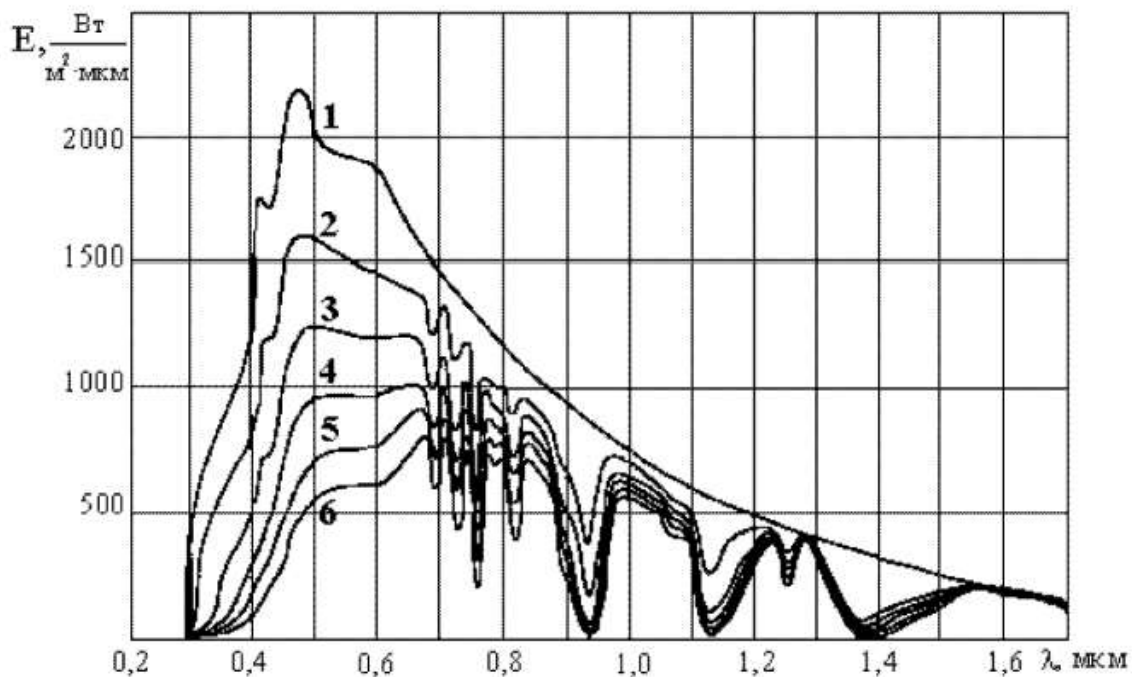


Рисунок 3.5 - Спектральний розподіл енергії сонячного випромінювання при різних значеннях атмосферної маси: 1 - AM0; 2 - AM1; 3 - AM2; 4 - AM3; 5 - AM4; 6 - AM5

Спектральний склад і щільність потоку сонячного випромінювання біля поверхні Землі змінюються в залежності від довжини оптичного шляху світлових променів в атмосфері. Довжина цього шляху характеризується величиною, що називається оптичною атмосферною масою m , яка пов'язана з кутом α (кут висоти Сонця над горизонтом) залежністю $m = (\sin \alpha)^{-1}$. Рівень інтенсивності потоку сонячного випромінювання в навколотемному космічному просторі прийнято позначати як AM0, на екваторі - AM1 ($m = 1$), в середніх широтах при висоті сонця $41^\circ 49'$ - AM1,5 ($m = 1,5$), при висоті Сонця 30° - AM2 ($m = 2$), і т.д.

Приблизний розподіл енергетичного потоку сонячного випромінювання з різних спектральним діапазонами має такий вигляд:

- інфрачервоний діапазон і більш довгі хвилі ($\lambda > 750$ нм і частота $F < 400$ ТГц) - 46,3%;
- видимий спектр ($400_{\text{нм}} < \lambda < 750_{\text{нм}}$ і 400 ТГц $< F < 750$ ТГц) - 44,6%;
- ультрафіолетове випромінювання і більш високі частоти ($\lambda > 400$ нм і $F < 750$ ТГц) - 9,1%.

Сумарний валовий потенціал сонячної енергії на території України оцінюється в 2205 млрд. т.у.п., технічний потенціал складає 9,7 млрд. т.у.п., причому 90% з нього можливо використовувати для виробництва тепла.

3.1.3 Вибір типу поновлюваного енергокомплексу

Енергетичні характеристики відновлюваних ресурсів дозволяють зробити первинні висновки щодо доцільності використання вітру і сонячного випромінювання в даній місцевості.

Дотримуючись поширеним рекомендаціям і посібникам із застосування вітроустановок малої і середньої потужності, середньорічна швидкість вітру не повинна бути менше 4 м/с.

Більш обґрунтовані висновки з урахуванням поширення вітрогенераторів з малими робочими швидкостями вітру і вартості локальної дизельної генерації можна отримати на підставі економічного аналізу. Слід мати на увазі, що в деяких ситуаціях в автономних системах електропостачання вітроенергетика має сенс і при більш низьких швидкостях вітру. Ймовірно, нижньому межею середньорічної швидкості вітру на сьогодні слід вважати 3 м/с.

Енергетичний потенціал сонячного випромінювання розподілений по території більш рівномірно. Можливість фотоелектричного перетворення не тільки прямого сонячного випромінювання, але і розсіяного дозволяє використовувати фотоелектростанції практично повсюдно.

Поширеною рекомендацією про доцільність застосування фотоелектростанцій є рівень питомої річної інсоляції більше 1000 кВт·год на квадратний метр горизонтальної поверхні.

Остаточний варіант структури гібридного енергетичного комплексу та ступінь участі в генеруванні електроенергії установками ВДЕ визначається на основі аналізу енергетичного балансу.

3.2 Розробка схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової енергоустановок

Для живлення трифазної мережі необхідна сонячна батарея, вітроустановка, контролер заряду, акумулятори, автономний інвертор напруги, випрямляч, регулятор. В ході роботи було розроблено два варіанти схеми електропостачання. У першому варіанті (рис. 3.6) використовується імпульсний перетворювач постійної напруги і потужний інвертор, який дозволяє на виході отримати напругу 380-400 вольт для подальшого транспортування електроенергії споживачам. У другому варіанті (рис. 3.7) відсутній імпульсний перетворювач постійної напруги, але використовується понижувальний трансформатор. Такий варіант схеми дозволяє приводити будь-яку напругу в системі до потрібних параметрів. Однак такий варіант схеми економічно недоцільний через витрати на придбання та утримання трансформатора. Для комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок був обраний перший варіант схеми електропостачання.

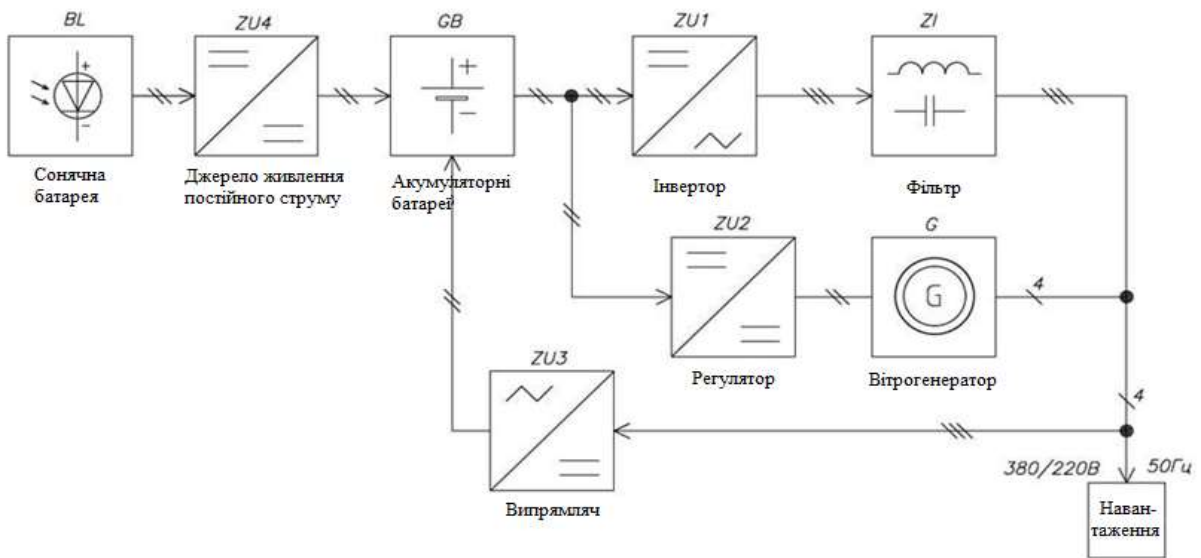


Рисунок 3.6 - Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 1)

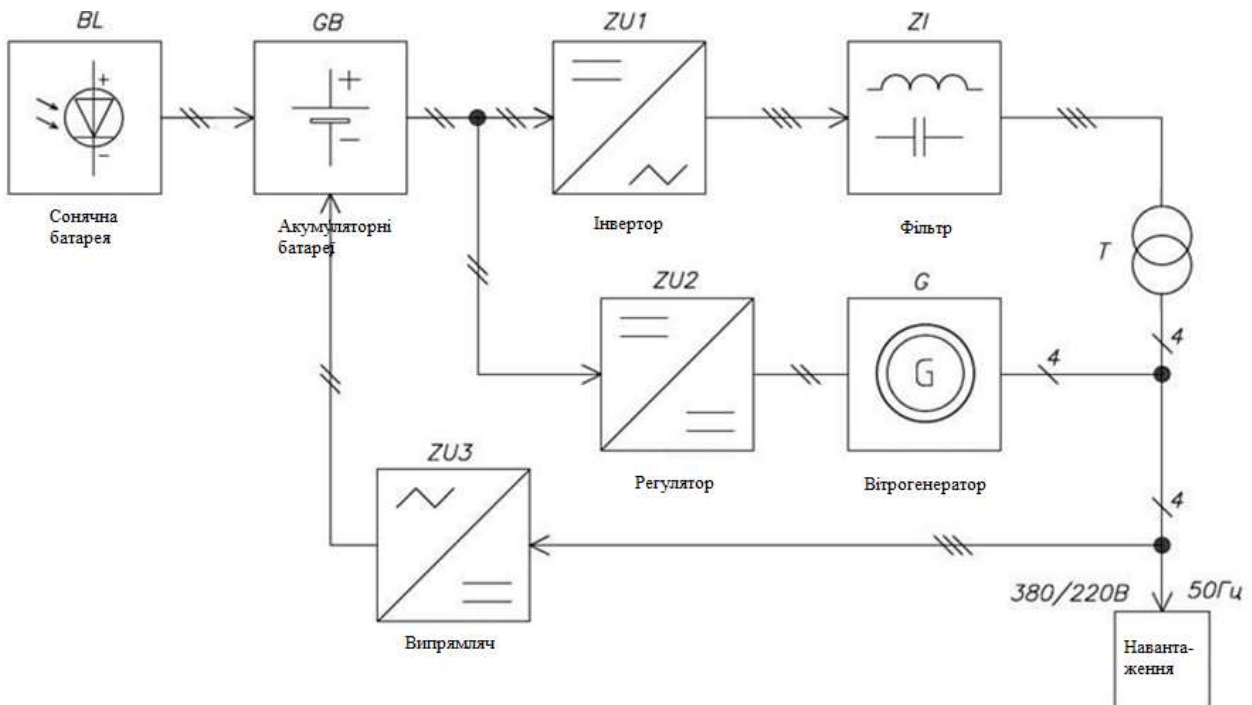


Рисунок 3.7 - Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 2)

3.3 Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання

Для забезпечення електроживлення невеликого селища необхідно максимум 500 кВт потужності. Тобто $P_{ном} = 500$ кВт. Підсумкова напруга трифазної мережі $U = 380/220$ В.

Запропонована комбінована електрична станція повинна мати резерв, а саме при відсутності сонячної енергії частину необхідної потужності буде забезпечувати вітроустановка. У сонячні і вітряні дні одна частина електростанції буде забезпечувати споживачів потрібною потужністю, а інша частина буде накопичувати енергію для роботи в автономному режимі.

Таким чином основне навантаження йде на сонячних батареях 400 кВт, додаткова потужність надходить від вітроустановки потужністю 100 кВт. Так само батарея акумуляторів автономно (без участі сонячних елементів і вітроустановки) може постачати до 120 кВт.

3.3.1 Сонячні елементи

Максимальна потужність сонячної батареї 300 Вт. Для отримання 400 кВт номінальної потужності потрібно приблизно 1333 таких сонячних модулів.

Для даного проекту підходить монокристалічна сонячна батарея типу PLM-300M-72 (300 Вт / 24 В). Технічні характеристики даного сонячного модуля задовольняють запитам щодо забезпечення електропостачання та представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики сонячної батареї SY-300WM

Потужність, Вт	300
Напруга холостого ходу, В	45,5
Струм короткого замикання, А	8,56
Напруга в точці макс. потужності, В	38
Струм в точці макс. потужності, А	7,89
ККД сонячної панелі, %	15,5

Номінал запобіжників, А	15
Максимальна напруга системи, В	1 000
Робоча температура, С	40 ... +85
Площа, м ²	1,9

3.3.2 Акумуляторні батареї

Для здобуття вихідної напруги в 380-400 В на виході інвертора необхідно подати 600 В на вхід. Це можливо досягти, використовуючи послідовне з'єднання 25 акумуляторних батарей напругою по 24 вольти. Для досягнення більш довгого автономного режиму без відмов у живленні, рекомендується обирати акумулятори великого об'єму.

В роботі запропоновано встановлювати акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000 А·год. Літій-іонні акумулятори мають наступні переваги:

- висока щільність енергії;
- в порівнянні з іншими типами (AGM та GEL) до 70 % економиться простір;
- невелика маса;
- великий термін експлуатації (приблизно 4000 циклів);
- система керування батареями для балансування елементів входить в комплектацію;

Таблиця 3.4 - Характеристики акумуляторної батареї

Номінальна ємність, А·год	1000
Номінальна напруга, В	25,5
Номінальна потужність, кВт	25,6
Рекомендована напруга заряду, В	28,8

Робоча напруга заряду, В	25,6
Рекомендований заряд/розряд, А	500
Максимальний струм заряду/розряду, А	1000

3.3.3 Розрахунок струмів

Використовуючи вираз (3.5) для знаходження повної потужності:

$$P_{ном} = \sqrt{3} U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \cos\varphi, \quad (3.5)$$

де $U_{ном} = 400$ В; $\cos\varphi = 0,8$ знаходимо номінальний струм сонячної батареї:

$$I_{ном} = 400 / (\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8) = 722 \text{ (A)}.$$

Струм короткого замикання на виході сонячної батареї перевищує номінальний струм в 3,5 рази, отже:

$$I_{кз бат} = 3,5 \cdot 722 = 2527 \text{ (A)}.$$

З результатів розрахунків підбираємо інвертор з запасом по потужності.

Вибір інвертора

В якості відповідного інвертора обираємо інвертор фірми АВВ типу ACS800-107-0510-3. Типорозмір R8i. Номінальні характеристики представлені в таблиці 3.5.

Розрахунковий струм короткого замикання інвертора з урахуванням запасу по струму:

$$I_{кз інв} = 0,95 \cdot 1014 = 963 \text{ (A)}.$$

Таблиця 3.5 – Номінальні характеристики інвертора

Номінальні характеристики		Робота без переваження	Робота з невеликим переваженням (10%)		Робота в важкому режимі (50%)		Потужність, що розсіюється, кВт	Код типу	Типорозмір
$I_{cont.max}$, А	I_{max} (10с), А	$P_{cont.max}$, кВт	I_N , А	P_N , кВт	I_{hd} , А	P_{hd} , кВт			
$U_{ном} = 400$ В (діапазон 380-415 В)									
741	1014	500	711	500	554	315	8	ACS800-107-0510-3	R8i

3.3.4 Вітроустановка та випрямляч

Для безперебійної роботи електростанції і забезпечення споживачів електроенергією крім сонячних батарей необхідно додати ще одне джерело - вітроустановку. За проектом в денний час сонячні елементи будуть забезпечувати споживачів енергією, паралельно заряджаючи акумулятори. Вітроустановка в цей час заряджає ще один блок батарей, підключених паралельно до першого блоку. Таким чином напруга на вході інвертора не змінюється, але ємність акумуляторів зростає.

У нічний час доби навантаження електроенергією забезпечують акумуляторні батареї, заряджені сонячним випромінюванням і вітром за день, і вітроустановка. Вночі споживання електрики мінімальне, тому великої потужності не потрібно. Встановлюємо вітрогенератор номінальною потужністю 100 кВт (табл. 3.6).

Таким чином, в ранкові та вечірні години, при пікових навантаженнях або нестачі сонячного випромінювання, вітроустановки будуть давати додаткову

потужність для споживання. У нічні години від вітроустановки будуть заряджатися акумулятори, які не встигли зарядитися за день або розряджені в ході споживання електроенергії, а так само забезпечуватися електрикою споживачі. Тим самим забезпечується повністю автономна робота електростанції.

При максимальній швидкості вітру в 25 м/с і більше лопаті флюгуються, і гвинт загальмовується, щоб уникнути пошкоджень. Великий обхват робочих температур дає можливість застосовувати вітроустановку в різних кліматичних зонах [49]. Здатність лопатей повертатися навколо своєї осі дозволяє міняти крок гвинта. Завдяки цьому вдається досягти найбільш ефективною аеродинаміки при різних швидкостях вітру і флюгувати гвинт при високій швидкості вітру для зниження опору.

Таблиця 3.6 - Технічні характеристики вітроустановки 100 кВт

Номінальна потужність, кВт	Напруга на виході, В	Початкова швидкість вітру, м/с	Макс. робоча швидкість вітру, м/с	Номінальна швидкість вітру, м/с	Діаметр ротора, м
100	380	2,5	25	12	21

Кількість лопатей, шт	ККД генератора, %	Рівень шуму, db	Діапазон робочих температур, °С	Проектний термін служби, років
3	90	Не більше 70	-40 ... +40	25

Генератор, гвинт і система наведення і керування встановлюється в гондолі, що монтується на щоглу. З метою надання установки на вітер і її

стабілізації застосовується автоматичний привод. Відмова від аеродинамічного стабілізатора і використання активної системи дозволив забезпечити точне наведення на вітер. На приводи гондоли і кроку гвинта надходять сигнали від флюгера анемометра, що знаходиться на гондолі.

Для транспортування енергії до акумуляторів при сильному вітрі використовується. Технічні характеристики випрямляча наведені в табл. 3.7.

Вітрогенератор, в разі необхідності, може працювати так само і в якості синхронного компенсатора. Робота в режимі СК дозволяє розвантажити інвертор від реактивного струму. Генератор бере на себе ударний струм короткого замикання, позбавляючи інвертор від пошкоджень.

Таблиця. 3.7 - Номінальні характеристики випрямляча

Номінальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота з невеликим перевантаженням (10%)		Робота в важкому режимі (50%)		Потужність, що розсіюється, кВт	Код типу	Типо-розмір
$I_{cont.max}$ А	I_{max} (10с), А		$P_{cont.max}$, кВт	I_N , А	P_N , кВт	I_{hd} , А			
$U_{ном} = 690 \text{ В}$ (діапазон 525 – 690 В)									
382	571	355	367	355	286	270	7	ACS80 0 -107- 0440-7	R8i

На підставі виконаних розрахунків обрані пристрої наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Вибрані пристрої

Сонячні модулі	PLM-300M-72 300Вт / 24В
Акумуляторні батареї (50 шт.)	LI-ION 24 В / 1000 Ач.
Інвертор	ABB ACS800-107-0510-3
Вітроустановка потужністю 100 кВт	EuroWind 100
Випрямляч	ABB ACS800-107-0440-7

Комбінований енергетичний комплекс має ряд параметрів, які необхідно обґрунтувати в процесі проектування, тому в наведеному розділі проведено оцінювання енергетичних потреб об'єкта електропостачання, економічного потенціалу відновлюваної енергоресурсу (вітру і сонячного випромінювання). Крім того, проаналізовані також параметри енергетичного обладнання, встановлена потужність комплексу і його складових та параметри комунікацій.

Було розроблено два варіанти схеми електропостачання., коли використано імпульсний перетворювач постійної напруги, потужний інвертор, та коли відсутній імпульсний перетворювач постійної напруги, але використовується понижувальний трансформатор, що дозволяє приводити будь-яку напругу в системі до потрібних параметрів. Проте це економічно недоцільно, оскільки додатково витрачаються кошти на трансформатор. Тому подальші розрахунки проводитимуться зі схемою електропостачання, приведеною в першому варіанті.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Оскільки в роботі розроблено два варіанти схеми електропостачання (рис. 4.1 та 4.2), то необхідно визначити, який з них буде економічно ефективним.

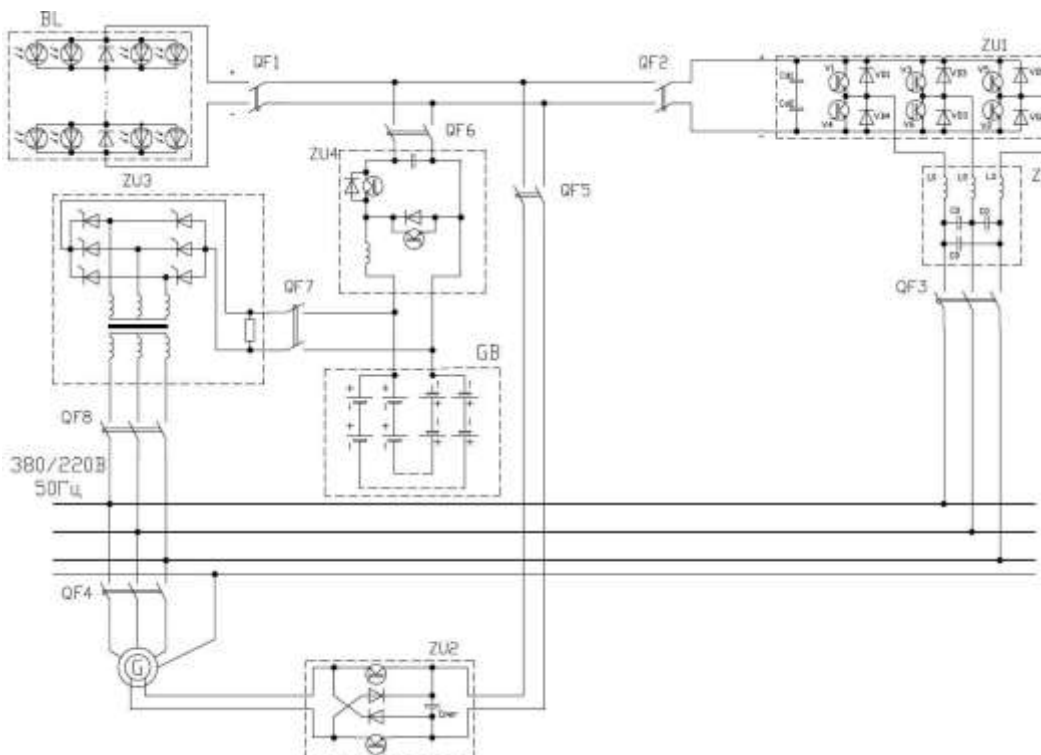


Рисунок 4.1 - Схема комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 1)

Розрахунок капіталовкладень в будівництво комбінованої електричної станції на основі сонячної та вітрової установок для обох варіантів приведено в таблицях 4.1 та 4.2.

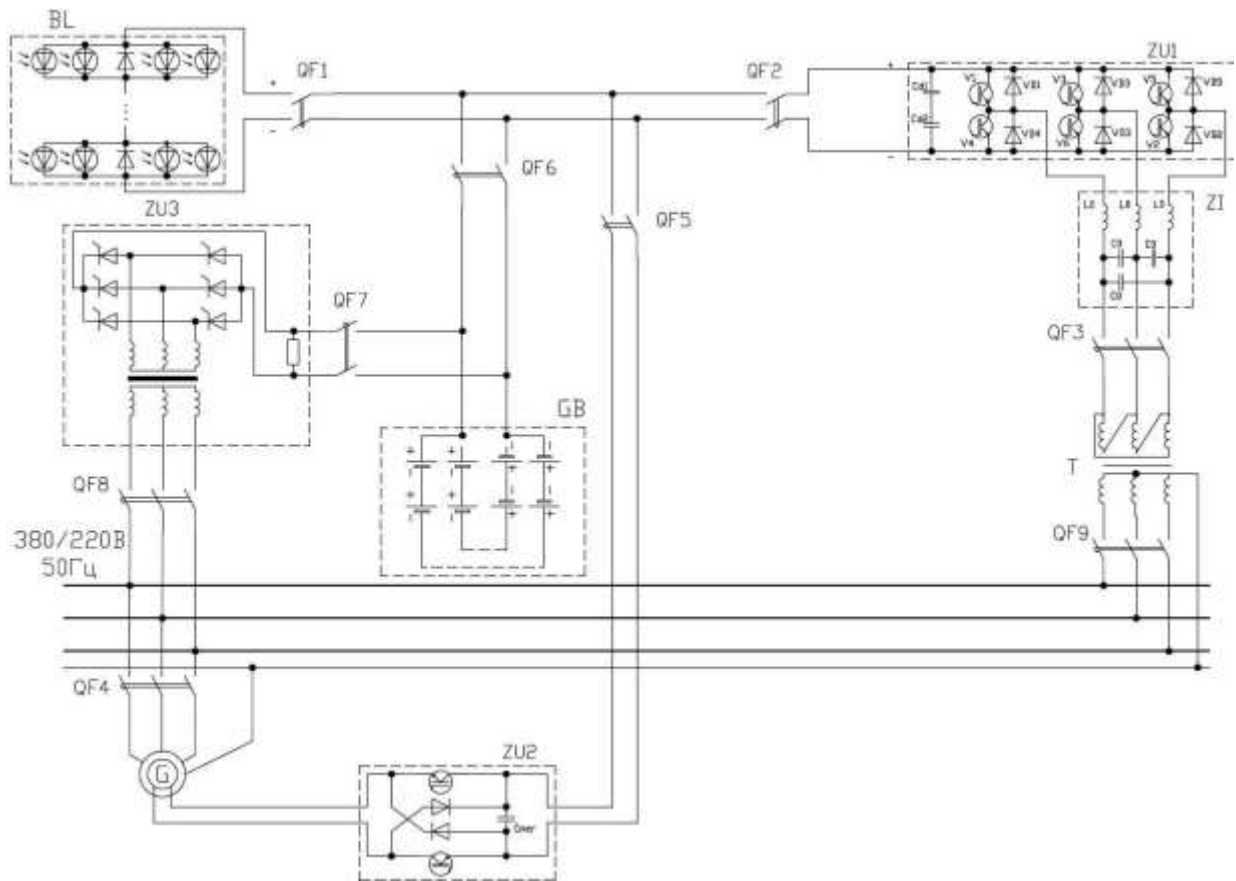


Рисунок 4.2 - Схема комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 2)

Таблиця 4.1 – Розрахунок капіталовкладень в будівництво комбінованої електростанції за варіантом схеми 1

Назва обладнання	Кількість	Сумарна вартість (грн)
Сонячні модулі PLM-300M-72 300Вт, 24В	1333	7480796
Акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000 А·год	50	448000
Інвертор АВВ ACS800-107-0510-3	1	46729,44
Вітроустановка EuroWind 100	1	4130000
Випрямляч АВВ ACS800-107-0440-7	1	982 903
Будівельно-монтажні роботи (20% від вартості обладнання)		2617685,688
Всього		15 706 114,128

Таблиця 4.2 – Розрахунок капіталовкладень в будівництво комбінованої електростанції за варіантом схеми 2

Назва обладнання	Кількість	Сумарна вартість (грн)
Сонячні модулі PLM-300M-72 300Вт, 24В	1333	7480796
Акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000 А·год	50	448000
Інвертор АВВ ACS800-107-0510-3	1	46729,44
Вітроустановка EuroWind 100	1	4130000
Випрямляч АВВ ACS800-107-0440-7	1	982 903
Трансформатор ТМ-630/6 (10) У1	1	126 500
Будівельно-монтажні роботи (20% від вартості обладнання)		2642985, 688
Всього		15 857 914, 128

Отже, виходячи з того, що капіталовкладення в схему варіанту 2 більші від схеми першого варіанту, обираємо для подальшого розрахунку схему варіанту 1 для будівництва комбінованої електричної станції на основі сонячної та вітрової установок.

До основних критеріїв економічної ефективності комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок можна віднести наведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності електростанції і вартість 1 кВт·год електроенергії. Дані критерії визначаються з наступних виразів:

$$Z = \frac{P_n K + C}{P}, \quad (4.1)$$

P - встановлена потужність об'єкта електропостачання (кВт);

K - загальні капіталовкладення (грн);

$$K = K_{уст} + K_{пр} + K_{сmp}, \quad (4.2)$$

де $K_{уст}$ - вартість комплектного обладнання (грн);

$K_{пр}$ - вартість проектних робіт по визначенню місця установки на місцевості (грн);

$K_{стр}$ - вартість будівельних і монтажних робіт по установці електростанції (підстанції) (грн);

P_n - нормативний коефіцієнт рентабельності,

C - загальнорічні експлуатаційні витрати (грн).

$$C = C_{екс} + C_{рем}, \quad (4.3)$$

де $C_{екс}$ - річні витрати на експлуатацію системи електропостачання (грн);

$C_{рем}$ - річні витрати на плановий ремонт (грн).

Собівартість 1 кВт·год електроенергії $C_{ел}$:

$$C_{ел} = \frac{P_n K + C}{W}, \quad (4.4)$$

де W - загальна кількість електричної енергії, що виробляється електростанцією протягом року.

Економічний аналіз автономного електропостачання, у більшості випадків, спрямований на зменшення обсягу дотацій з боку бюджету. У зв'язку з цим, обговорення прибутковості виробництва електроенергії в ізолюваних системах електропостачання часто не є важливим. Нормативний коефіцієнт рентабельності у таких випадках розумно визначати, враховуючи термін служби основного енергетичного обладнання.

Термін служби основного обладнання станції $T = 25$ років, відповідно нормативний коефіцієнт рентабельності $P_n = 0,05$. Для експлуатації комбінованої станції необхідно два фахівця із середньою заробітною платою 12 000 гривень на місяць, що складе 288 000 гривень на рік.

Витрати на поточний ремонт можуть бути прийняті в розмірі 1% від вартості обладнання, що складе 130 884, 284 гривень на рік.

Загальна сума річних експлуатаційних витрат складе:

$$C = 15706114,128 + 130884,284 + 288000 = 16\,124\,998,412 \text{ (грн)}.$$

Наведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності:

$$z = \frac{0,05 \cdot 15706114,128 + 16124998,412}{500} = 33820,6 \text{ (грн/кВт)}.$$

Собівартість виробленої електроенергії:

$$C_{el} = \frac{0,05 \cdot 15706114,128 + 16\,124\,998,412}{4380000} = 3,86 \text{ (грн/кВт} \cdot \text{год)}.$$

Отже, собівартість виробленої електроенергії на комбінованій електричній станції на основі сонячної та вітрової електроустановок складає 3,86 грн/кВт·год.

Розрахунок витрат на будівництво комбінованої електричної станції з використанням сонячних та вітрових установок для обох варіантів показав, що перший варіант схеми електропостачання є більш доцільним, оскільки його вартість менша на 126 500 гривень. Собівартість електроенергії, виробленої цією комбінованою електростанцією, склала 3,86 гривень за кіловат-годину.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Задачі розділу

Конституція України гарантує право всіх громадян України на належні безпечні і здорові умови праці. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» реалізація конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, належні безпечні і здорові умови праці повинна бути забезпечена на кожному робочому місці це стосується і робіт для персоналу станцій, які працюють на основі сонячної та вітрової енергії.

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

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

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

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

3. Описати основні заходи протипожежного захисту вітроелектричних установок.

Початкові данні для рішення поставлених задач охорони праці використовуємо з попередніх розділів та підрозділів дипломної роботи: (вказати розділи та підрозділи дипломної роботи).

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

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

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

Вітряк обладнаний складними електронними пристроями, при розробці та монтажі яких необхідно забезпечити захист працівника від електричних джерел небезпеки, пов'язаних з ризиком дії надмірної величини електричної енергії та параметрів що її характеризують на працівника.

Внаслідок протіканням надмірного струму по проводах з недостатнім перетином або через погані контакти металевих з'єднань можливе надмірне виділення тепла в системах електротехнічного монтажу, що стає часто результатом пожеж вітряків рис. 5.1. Також ризик виникнення пожеж на вітряках відбувається у разі короткого замикання в проводах, що йдуть від акумулятора.

Фізичні небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

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

Додатково повинні бути враховані наступні фізичні небезпечні виробничі фактори:

- несправність вантажопідіймальних засобів;
- підвищений рівень електричної енергії;

– підвищена пожежна небезпека: відкритий вогонь, токсичні продукти згорання, іскри, дим;

– підвищена вибухонебезпечність.

Психофізіологічні небезпечні й шкідливі фактори:

– фізичні перевантаження;

– нервово-психологічні - втрата самовладання, порушення координації рухів, необережні дії, недбале виконання своєї роботи.

Джерелами (носіями) небезпеки є: рухомі машини і механізми; електрообладнання; природне середовище; людина.

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

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

За умовами дипломного проекту розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці проводиться для вітряка (указати тип марку) поданого на рис. 2.1.

Для розробки рішень з охорони праці при електричному монтажі вітряка заданих технологічних параметрів за темою диплому були проаналізовані Державні стандарти з вітроенергетики України табл. 5.1. та Галузеві керівні документи:

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

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

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

Підготовчі роботи включають в себе визначення кліматичних умов на місці проведення робіт, підготовку робочої площадки, перевірку справності інструментів та пристосувань, перевіряйте опорні конструкції, лопаті і системи монтажу оснащення, перевірку ізоляції системи, підйомних механізмів що використовується, та окремих елементів, інструктаж та перевірку знань з безпеки праці персоналу.

Кліматичні умови визначаються шляхом вимірювання температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Відповідно до [50], ці показники не повинні виходити за межі установлених допустимих значень:

- температура повітря в теплу пору року не більше плюс 28 °С;
- швидкість вітру 0,2- 0,6 м/с;
- відносна вологість не більше 75 %.

Монтаж вітряка слід проводити в світлий час доби, значення освітленості на робочому місці монтажника повинно бути не менше 200 лк. Підготовка робочої площадки полягає в розчищенні місця, де розстилають брезент, на який в певному порядку розкладають приладдя і інструмент. Ретельно перевіряють їх цілісність і відсутність дефектів, терміни випробування і придатність ізолювальних засобів. Перевіряють і одягають комплект одягу. Одягають захисні каски і запобіжні пояси.

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

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

Таблиця 5.1 – Державні стандарти України з вітроенергетики

1	ДСТУ ІЕС WT 01:2007	Системи ІЕС перевіряння відповідності та сертифікації вітряних турбін. Правила і процедури (ІЕС WT 01:2001, IDT)	чинний
2	ДСТУ 2275-93	Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Терміни та визначення	чинний
3	ДСТУ 3569-97 (ГОСТ 30514-97)	Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення	чинний
4	ДСТУ 3896-99	Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення	замінений
5	ДСТУ 3896:2007	Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення понять	чинний
6	ДСТУ 4037-2001	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Загальні технічні вимоги	чинний
7	ДСТУ 4051-2001	Вітроенергетика. Станції електричні вітряні. Загальні технічні вимоги	чинний
8	ДСТУ 4225:2003	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Методи випробування	чинний
9	ДСТУ 4407:2005	Вітроенергетика. Установки вітронасосні. Загальні технічні вимоги	чинний
10	ДСТУ 4859:2007	Вітроенергетика. Установки електричні вітряні малої потужності. Загальні технічні вимоги	чинний

Продовження таблиці 5.1

11	ДСТУ 7337:2013	Вітроенегретика. Установки електричні вітряні. Параметричний ряд	ще не введений в дію
12	ДСТУ 7338:2013	Вітроенегретика. Установки електричні вітряні малої потужності. Методи випробування	ще не введений в дію
13	ДСТУ ІЕС 61400-1-2001	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1. Вимоги безпеки (ІЕС 61400-1:1999, IDТ)	чинний
14	ДСТУ ІЕС 61400-2-2001	Системи турбогенераторні вітрові. Частина 2. Безпечність малих вітрових турбін (ІЕС 61400-2:1996, IDТ)	чинний
15	ДСТУ ІЕС 61400-11:2002	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11. Методика вимірювання акустичного шуму (ІЕС 61400-11:1997, IDТ)	замінений
16	ДСТУ ІЕС 61400-11:2010	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11. Методика вимірювання акустичного шуму (ІЕС 61400-11:2006, IDТ)	чинний
17	ДСТУ ІЕС 61400-12-2001	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 12. Випробування вітряних турбін для визначення енергетичних характеристик (ІЕС 61400-12:1998, IDТ)	чинний
18	ДСТУ ІЕС/TS 61400-13-2003	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 13. Вимірювання механічних навантаж (ІЕС TS 61400-13:2001, IDТ)	чинний

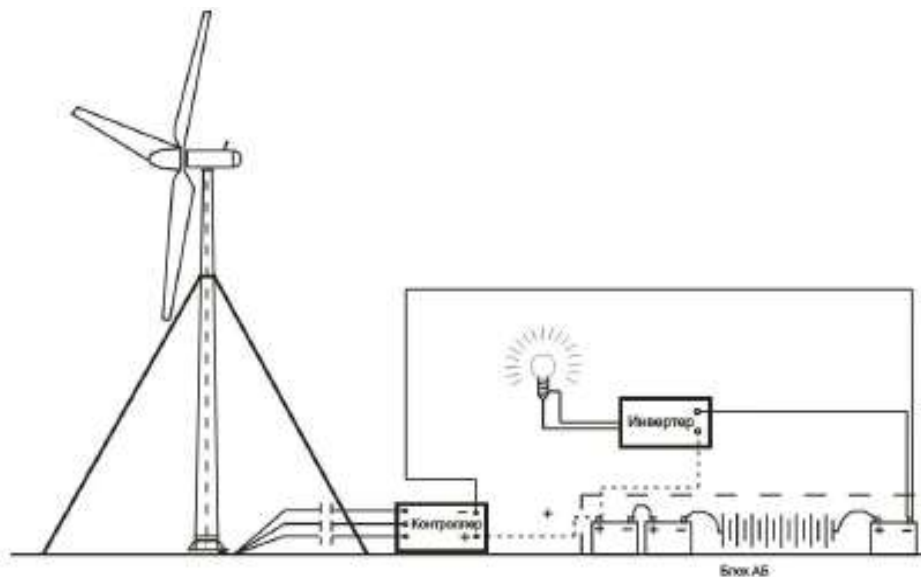


Рисунок 5.1 – Монтажна схема системи вітряка

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

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

- виконання електромонтажних робіт доручається особам, що пройшли медичний огляд і спеціальне навчання для роботи на електроустановках;
- монтаж вітряка краще проводити в безвітряний день;
- установлювати турбіну необхідно таким чином, щоб ні що не могло би опинитися на шляху її лопаті;
- основні операції установлення генератора повинні проводитися на рівні землі;
- при проведенні робіт на висоті повинні встановлюватися обгороджування і позначатися в установленому порядку межі небезпечних зон;
- при неможливості облаштування обгороджувань монтажні роботи повинні виконуватися із застосуванням запобіжного пояса і страхувального каната;
- електричні з'єднання повинні проводитися за розробленою монтажною схемою системи, приклад якої подано на рис. 5.1.
- в ланцюгах, що підключаються до акумулятора, необхідно встановити плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу;
- протягом встановлення вітряка акумуляторні батареї повинні бути від'єднанні;
- до підключення дротів акумулятора вихідні дроти вітротурбіни повинні бути з'єднані між собою;

– забороняється наближатися до турбіни на небезпечну відстань, коли вона працює;

– не слід поєднувати при контактних електричних з'єднаннях разом різні метали (наприклад, мідь і алюміній);

– всі електричні кабелі електроживлення повинні мати надійну ізоляцію та відповідати технологічним вимогам:

– для захисту людей від ураження електричним струмом повинно бути виконано заземлення.

5.3.2 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора

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

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

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

1. Захисту підлягає вітрогенератор.

2. Виконання мережі – з ізолюваною нейтраллю. Напруга мережі – 380/220 В.

3. Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами:

$l_B = 3$ м; $d_B = 0,035$ м; товщина стінки $\delta = 3,5$ мм; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 3$ м., тобто $a / l_B = 1$. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,7$ м., $V_c = 40$ мм.

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

Розв'язок

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

Згідно з ПУЕ, $R_d \leq 40 \text{ Ом}$.

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

$$\rho_{\text{РОЗР}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} \cdot K_c, \rho_{\text{ТАБЛ}} = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$K_c = 1,5, \quad \rho_{\text{РОЗР}} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

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

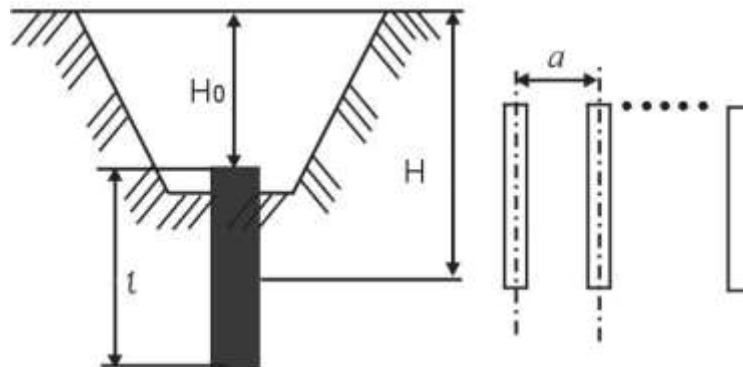


Рисунок 5.2 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2} = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ (м)}.$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0,366 \frac{\rho_{\text{РОЗР}}}{l_B} \left(\ln \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l_B}{4H - l_B} \right);$$

$$R_B = 0,366 \frac{90}{3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,035} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right);$$

$$R_B = 126,6 \text{ Ом.}$$

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

$$n_{OP} = \frac{R_B}{R_{\partial} \cdot \eta_B} = \frac{26,4}{4 \cdot 1} = 6,6; \text{ приймаємо } n_{OP} = 7 \text{ шт.}$$

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B з табл. 3.14, заземлювачі розташовані в ряд, $a / l_B = 1$, $n = 7$. Приймаємо $\eta_B = 0,7$.

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

$$n_B = n_{OP} / \eta_B = 7 / 0,7 = 9,9.$$

Приймаємо $n = 10$ шт.

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n_B = 10$ без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{POЗP.B.} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B} = \frac{26,4}{10 \cdot 0,7} = 3,8 \text{ Ом.}$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c = 1,05 \cdot a (n-1) = 1,05 \cdot 3 \cdot 10 = 31,5 \text{ м.}$$

10. За формулою (3.12) для горизонтальних електродів, розташованих в ґрунті, визначаємо опір розтікання струму:

$$R_{\Gamma} = 0,366 \frac{90}{31,5} \lg \frac{2 \cdot (31,5)^2}{0,7 \cdot 0,04} = 5,48 \text{ Ом.}$$

11. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при

$a/l=1, n=10$. Приймаємо $\eta_{\Gamma}=0,56$.

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням η_{Γ} :

$$R_{\text{РОЗР.}\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{5,48}{0,56} = 9,8 \text{ Ом.}$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{\text{РОЗР.}} = \frac{R_{\text{РОЗР.В}} \cdot R_{\text{РОЗР.}\Gamma}}{R_{\text{РОЗР.В}} + R_{\text{РОЗР.}\Gamma}} = \frac{3,8 \cdot 9,8}{3,8 + 9,8} = 2,7 \text{ Ом.}$$

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

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

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

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

5.4 Протипожежний захист вітроелектричних установок

На жаль, поки що в Україні відсутні будь-які нормативні документи щодо протипожежного захисту такого роду об'єктів, які є пожежонебезпечними тому основні рекомендації щодо протипожежний захисту вітроелектричних установок наведено з урахуванням діючого в Німеччині й у деяких країнах Європи стандарті VdS 3523 «Вітроелектричні установки (ВЕУ); Настанови з пожежної

безпеки», який було введено у дію в липні 2008 року та діючих нормативів з пожежної безпеки України.

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

Як показує досвід, будівельні та інженерно-технічні заходи пожежної безпеки можуть надійно виконувати свої функції протягом періоду експлуатації тільки, якщо були вжиті необхідні заходи для забезпечення якісного проектування, реалізації проекту і при відповідальному експлуатуванні. До таких заходів відносяться:

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

- Контроль за проведенням сервісних робіт (обслуговування, перевірка і підтримка функціонального стану) і документування за допомогою журналу перевірок.

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

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

ВИСНОВКИ

Широке впровадження комбінованих систем у значній мірі залежить від розробки доступного за ціною вітчизняного обладнання, такого як вітроустановки малої потужності та сонячні панелі. Ураховуючи плани будівництва вітропарків в Україні, необхідно розглядати можливості комбінованих систем для вирішення питань пікових навантажень, акумулювання електроенергії та раціонального використання її ресурсів.

У ході дослідження були визначені переваги та потенціал сонячної та вітрової енергетики. Застосування таких технологій стає актуальним, оскільки вони можуть забезпечувати екологічно чисту енергію за низькою вартістю виробництва. Проектування комбінованої електростанції включає в себе вибір пристроїв, таких як сонячні модулі, акумуляторні батареї, інвертори та вітроустановка, для оптимальної роботи системи.

Розрахунок капіталовкладень в будівництво комбінованої електростанції показав перевагу першого варіанту схеми електропостачання через його більшу вигоду на суму 126 500 грн. Вартість електричної енергії, виробленої цією системою, складає 3,86 грн/кВт·год.

Додатковою частиною магістерської роботи став висвітлення питань охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Урахування та виконання запропонованих заходів забезпечують мінімізацію ризиків травматизму та професійних захворювань під час робіт з експлуатації та монтажу електроустановок вітроустановки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження тенденцій розвитку вітроенергетики в Європі і в Україні С. Кудря, Б. Тучинський, В. Дресвянніков, З. Рамазанова /Вітроенергетика України. – 2004. – № 1–2. – С.4–7.
2. Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost effective solutions for rural electrification. Alliance for rural electrification, 2010, 9 p.
3. Hybrid Power Plant [Electronic resource] // Enetrage. – 2012.
4. Електронний ресурс: <https://rentechno.ua/ua/solar.html>.
5. Електронний ресурс : <https://futurum.today/alternatyvna-enerhetyka-dzherela-enerhii-maibutnoho/>.
6. Електронний ресурс: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>.
7. Naked Science. Научно-популярный портал– Режим доступа: <http://naked-science.ru/comment/reply/4360>.
8. Electric info. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-ustroeny-i-rabotayut-solnechnye-batarei.html>.
9. Електронний ресурс: <http://birdlife.org.ua/Perevagi-i-nedoliki-vitroenergetiki>.
10. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
12. ТОВ «ЕкоГруп». Портал по будівництву інженерних систем, альтернативній енергетиці [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ecogroup.com.ua/spravochnik/elektrosnabzhenie/gibridnye-sistemy/2011>
13. ТОВ «POLYSET» [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.polyset.kz/?p=1418#more-1418.2009-2012>.
14. Вітрові електростанції [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://viter.com.ua/energiya-vetra-i-solnca-v-ukraine-prakicheskij-primer-190.html>.

15. Альтернативна енергетика [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://alternativenergy.ru/vetroenergetika/117-shema-vetrogeneratora.html>.
16. Синтезгаз. Альтернативна енергія [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://sintezgaz.org.ua/2_articles_pro/35/gibridnye-energoberegayushchie-sistemy.
17. «Ecoteco» Ecology, Technologies, Economics [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ecoteco.ru/id311/>.
18. SOLAiR. Сонячна енергетика [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://solair.ru/index.php/2011-03-31-09-09-07/41-hybridpos>.
19. ТОВ «ТеплоЕнергоСервіс-Пермь» [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.tesperm.com>
20. M. Ding, W.S. Wang, X.L. Wang, Y.T. Song, D.Z. Chen and M. Sun, «A Review on the effect of large-scale PV generation on power systems», Proceedings of the CSEE, vol.34, no.1, p-1-14, Jan. 2014.
21. L. Meegahapola and T. Litter, «Characterisation of large disturbance rotor angle and voltage stability in interconnected power networks with distributed wind generation», IET Renew. Power Gener., vol. 9, no. 3, pp 272-283, Apr. 2015.
22. H. Ahmadi, and H. Ghasemi, «Maximum penetration lever of wind generation considering power system security limits», IET Gener. Transm. Distrib., vol. 6, no. 11, pp. 1164-1170, Nov. 2012.
23. Li, X., D. Hui, and X. Lai, «Battery energy storage station (BESS)-based smoothing control of photovoltaic (PV) and wind power generation fluctuations», Sustainable Energy, IEEE Transactions on, pp. 464-473, 2013.
24. Shezan, S.K.A., R. Saidur, A. Hossain, W.T. Chong, and M.A. Kibria, «Performance Analysis of Solar-Wind-Diesel-Battery Hybrid Energy System for KLIA Sepang Station of Malaysia», IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, pp. 71-74, 2015.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи _____
(підпис)

Корнійчук С.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ратушняк О.Г.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТКИ

ДОДАТОК Б

Технічне завдання МКР

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

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

_____ (підпис)

" _____ " _____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**«ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМБІНОВАНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 500 КВТ»**

08-21.МКР.006.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент

_____ Ратушняк О.Г.

(підпис)

Магістр групи ІЕС-22м

_____ Корнійчук С.В.

(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

- а) актуальність досліджень обумовлена тим, що комбінована відновлювальна генерація є перспективним підходом до створення чистого та екологічно безпечного енергозабезпечення. Використання відновлюваних джерел, таких як вітрова та сонячна енергія, може забезпечити доступніше енергетичне забезпечення та зменшити залежність споживачів від енергосистеми;
- б) наказ ректора ВНТУ № 247 від 18 вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

- а) мета – дослідження роботи комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок, а також проектування такого типу електростанції потужністю 500 кВт;
- б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost-effective solutions for rural electrification. Alliance for rural electrification, 2010, 9 p...
2. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Циценков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
3. ТОВ «ЕкоГруп». Портал по будівництву інженерних систем, альтернативній енергетиці [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ecogroup.com.ua/spravochnik/elektrosnabzhenie/gibridnye-sistemy/2011>.
4. L. Meegahapola and T. Litter, «Characterisation of large disturbance rotor angle and voltage stability in interconnected power networks with distributed wind generation», IET Renew. Power Gener., vol. 9, no. 3, pp 272-283, Apr. 2015.
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1-1.01-97: Затв. 06.10.1997 № 257/Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. Х.: Вид-во «Форт», 2008. 144 с.

6. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. Посібник / Бондаренко Є. А., Кутін В.М., Лежнюк П.Д. / – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 120 с.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Електротехнічне обладнання, що має бути встановленим на еkleктичній станції комбінованого типу на основі вітрової та сонячної установок, обирати в основному українського виробництва та зарубіжних ведучих компаній по виробництву електротехнічного обладнання, сучасних пристроїв релейного захисту та автоматики.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники роботи електростанції і на основі їх аналізу зробити висновок про доцільність спорудження такої станції.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	20.09.23	26.09.23	формування технічного завдання
2	Стан та розвиток сонячної та вітрової енергетики	27.09.23	08.10.23	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок	09.10.23	15.10.23	розділ 2
4	Аналіз основних показників робочих режимів	16.10.23	22.10.23	розділ 3
5	Розрахунок показників економічності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок	23.10.23	29.10.23	розділ 4
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.10.23	05.11.23	розділ 5,6

7	Оформлення пояснювальної записки.	06.11.23	12.11.23	розділ 7,8,9
8	Виконання графічної/ілюстративної частини	13.11.23	19.11.23	пояснювальна записка
9	Оформлення презентації	20.11.23	26.11.23	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

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

9. Вимоги до оформлення МКР

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

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

Відсутні.

ДОДАТОК В

Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричних станцій в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи генерування електричної енергії є досить вразливими особливо комбінованих електричних станцій до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи комбінованих електричних станцій. В даному випадку оцінка стійкості може бути проведена за допомогою моделювання його ураження, що враховують можливі наслідки ураження людей, виникнення пожеж, виходу з ладу комбінованих електричних станцій.

Дія радіації на матеріали залежить від виду випромінювання, дози, природи опроміненої речовини та від умов навколишнього середовища. В комбінованій електричній станції використовують різні матеріали: метали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли), найбільш чутливими до радіації є метали, бо в них велика концентрація вільних носіїв. Основними заходами підвищення радіаційної стійкості є: використання радіаційно-стійких елементів та матеріалів; застосування різних екранів, або активного захисту від дії радіації.

Виникнення електромагнітного імпульсу (ЕМІ), може викликати високі імпульси струму та напруги в кабельних лініях електропередач, системи зв'язку, обчислювальних машин, антен радіостанцій тощо. ЕМІ може поширюватись на десятки кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях, здійснюючи вплив на об'єкти там, де ударна хвиля, світлове вимірювання і проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори. Особливо негативний вплив електромагнітного імпульсу на обладнання, яке не має спеціального захисту (вимикачі, різні «домішки» до системи проводів, електромагнітне екранування і т.п.).

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для елементів ГЕС. Тому захист елементів від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Саме тому, обов'язковим на виробництві є оцінка стійкості роботи обладнання під час дії електромагнітного імпульсу та іонізуючого випромінювання.

Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм стійкості роботи енергетичного обладнання комбінованих електричних станцій є граничне значення експозиційної дози ($D_{гр}$, Р), при якому в елементній базі можуть виникати зворотні зміни. Визначаємо граничні значення експозиційних доз для елементів комбінованих електричних станцій. По мінімальному значенню $D_{гр}$, визначаємо границю стійкості системи в цілому. Так як трансформатори та вимикачі мають мінімальне значення $D_{гр}$, то далі для них розрахована оцінка стійкості роботи при дії ІВ та ЕМІ, а кабельні лінії та повітряна лінія мають грозозахист, і стійкі до дії ЕМІ, то подальші розрахунки для них не виконуються. Результати заносимо у таблицю В.1.

Приймаємо $K_{осл}=1$; $t_k=87660$ год.

Таблиця В.1 – Граничні дози для елементів ЕС

№	Елементи комбінованої електростанції	$D_{гр}, P$	$D_{гр}, P$
1	Трансформатор ТДЦ-80000/110	10^4	10^4
2	Контактор КМ 150 220В АСКО А0040020002	10^3	
3	Генератор СВ-430/210-14	10^3	

Розрахуємо можливу дозу для, комбінованих електричних станцій граничний час експлуатації 10 р.

$$D_{\text{ем}} = \frac{2 \cdot P_{1\text{max}} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{осл}}} [P]; \quad (\text{B.1})$$

$$D_{\text{ем}} = \frac{2 \cdot 4,27 \cdot (\sqrt{87660} - \sqrt{1})}{1} = 2520,10 \text{ (P)}.$$

Таким чином система буде працювати стійко, так як, можлива експозиційна доза менша за граничну $2520,1 < 10000$.

Визначаємо допустимий час роботи елементів ГЕС:

$$P_{1\text{max}} = 4,27$$

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt{t_p}}{2 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^2; \quad (\text{B.2})$$

$$t_{\text{доп_тр-р}} = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 21,9 \cdot 10^4 \text{ год} = 25 \text{ (років)};$$

$$t_{\text{доп_кон}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 186,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 16,3 \text{ (років)};$$

$$t_{\text{доп_ген}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 186,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 16,3 \text{ (років)}.$$

25 років, а контактора 16,3 років відповідно генератора також 16,3 років.

Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії електромагнітного імпульсу

Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{z(\theta)} = E_{\theta(z)} \cdot l_{z(\theta)}; \quad (\text{B.3})$$

де E_{θ} – величина електромагнітного імпульсу (кВ/м);

l_z – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи (м),

l_{θ} – довжина вертикальної струмопровідної частини системи (м).

Розрахуємо U_{Γ} для трансформаторів та вимикачів:

$$E_B = 10,16 \text{ кВ / м}$$

$$U_{\Gamma \text{Тр-р}} = 10,16 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 18288 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\Gamma \text{Кон}} = 10,16 \cdot 0,8 \cdot 10^3 = 8128 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\Gamma \text{ЕН}} = 10,16 \cdot 2,74 \cdot 10^3 = 27838,4 \text{ (кВ/м)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (6.513)$$

де N – відсоток допуску,

$U_{\text{ж}}$ – напруга живлення;

$$U_{\text{доп}} = 110 + \frac{110}{100} \cdot 20 = 132 \text{ (кВ)}.$$

За критерієм стійкості роботи радіоелектронних систем, або окремих їх елементів в умовах дії електромагного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки, який для нормальної роботи механізму повинен бути:

$$K_6 \geq 40 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки горизонтальної і вертикальної складової блоків:

$$K_{6B(\Gamma)} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{B(\Gamma)}} \right); \quad (6.14)$$

$$K_{6B \text{Тр-р}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{18288} \right) = 17,168 \text{ (дБ)};$$

$$K_{6B \text{Кон}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{8128} \right) = 24,26 \text{ (дБ)};$$

$$K_{6B \text{ЕН}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{27838,4} \right) = 13,5 \text{ (дБ)}.$$

Так як для трансформатора і вимикача $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання не буде працювати стійко. Для збільшення стійкості слід застосувати екранування. Перехід незатухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \text{ [дБ]}, \quad (\text{В.4})$$

де $K_{\text{Бном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки (40 дБ),

$K_{\text{Бмін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при розрахунку;

$$A = 40 - 17,12 = 22,8 \text{ (дБ)}.$$

Товщина захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (\text{В.5})$$

де f – частота,

$$t = \frac{22,8}{5,2 \cdot \sqrt{50}} = 0,62 \text{ (см)}.$$

Розрахуємо $U_{\text{в}}$ трансформатора:

$$U_{\text{вТР}} = 10,16 \cdot 0,3 = 3,048 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти горизонтальної безпеки для трансформатора:

$$K_{63\text{ТР-р}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{3,048} \right) = 92,7 \text{ (дБ)}.$$

Так як $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання буде працювати не стійко.

Розрахуємо $U_{\text{в}}$ для контактора

$$U_{\text{в}} = 10,16 \cdot 0,4 = 4,064 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для контактора:

$$K_6 = 20 \lg \left(\frac{132000}{4,064} \right) = 90,2 \text{ (дБ)}.$$

Так як $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання буде працювати нестійко.

Розрахуємо $U_{\text{в}}$ для генератора:

$$U_{\text{в}} = 10,16 \cdot 0,8 = 8,128 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для генератора:

$$K_6 = 20 \lg \left(\frac{132000}{8,128} \right) = 84,2 \text{ (дБ)}.$$

Результати зведемо у таблицю В.2.

Таблиця В.2 – Результати розрахунків

Елементи комбінованих електричних станцій	$U_{Г}$, кВ	$U_{В}$, кВ	$K_{бв}$, дБ	$K_{б,г}$, дБ	Товщини захисного екрану, см
ТрансформаторТД Ц-80000/110	218288	3,048	94	17,168	0,05
Контактор КМ 150	8128	4,064	84,2	13,5	0,15
ГенераторСВ430/2 10-14	27838,4	8,128	72,64	-0,42	0,05

Приймаємо, що вибір товщини захисного екрану для кабельних ліній не розглядається станції буде працювати стійко до дії іонізуючих випромінювань. А до дії ЕМІ – не стійко, але при застосуванні захисного екрану для, трансформаторів 0,05 см, контактора 0,15 см, генератора 0,05 см буде працювати стійко. Таким чином, наша система при застосуванні вище вказаних заходів буде працювати стійко в умовах НС.

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

- провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України;
 - розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі вітрогенератора;
- запропонувати параметри заземлюючого пристрою для конкретних умов експлуатації вітрогенератора; описати основні заходи протипожежного захисту вітроелектричних установок.

Вінницький національний технічний університет
Кафедра електричних станцій та систем

«Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт»

Виконав:
Керівник:

ст. гр. 1ЕС-22м Корнійчук С.В.
к.т.н., доцент, ас. кафедри ЕСС
Ратушняк О.Г. Ю.В.

Вінниця 2023

Актуальність та задачі дослідження

Комбінована відновлювальна генерація є перспективним підходом до чистого і екологічно-безпечного енергозабезпечення. Відновлювані джерела, такі як вітрові та сонячні, можуть забезпечити дешевшу енергію та зменшити залежність споживача від енергосистеми. Впродовж останніх років все більше уваги приділяють комбінованим системам електропостачання.

Потенціал відновлюваних джерел енергії у світі становить мільярди тонн умовного палива на рік і значно перевищує обсяг усіх споживаних в даний час паливно-енергетичних ресурсів. Його раціональне використання дозволить вирішити цілий ряд проблем, пов'язаних з екологічно небезпечними процесами переробки вуглецевого палива і його заощадженням, зниженням витрат на транспортування палива в територіально віддалені регіони і підвищенням рівня їх енергетичної надійності.

Тому **метою** магістерської дисертаційної роботи є дослідження роботи комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок, а також проектування такого типу електростанції потужністю 500 кВт.

Об'єктом роботи є автономна електростанція на основі сонячних елементів і вітрогенераторних установок.

В магістерській кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі **задачі**:

- 1) визначити проблеми становлення та розвитку сонячної та вітрової енергетики;
- 2) дослідити комбіновані системи електропостачання з використанням відновлювальних джерел енергії, а також принципи їх побудови та класифікацію;
- 3) проаналізувати основні показники робочих режимів комбінованої на основі сонячної та вітрової установок.
- 4) розробити схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції; розрахувати параметри та вибрати пристрої схеми електропостачання.
- 5) провести розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок.

Карта сонячної активності в Україні



Будова та принцип роботи сонячної батареї

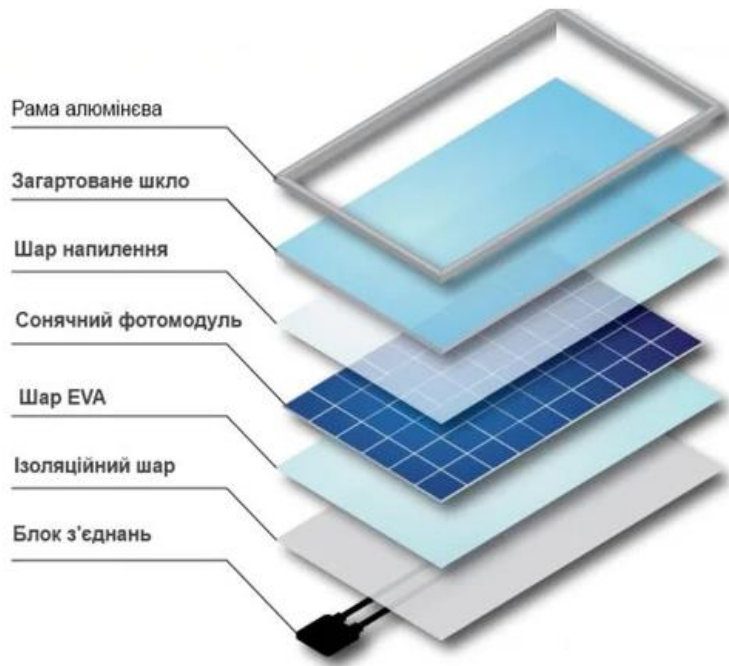


Рисунок 2 - Фотоелектрична система

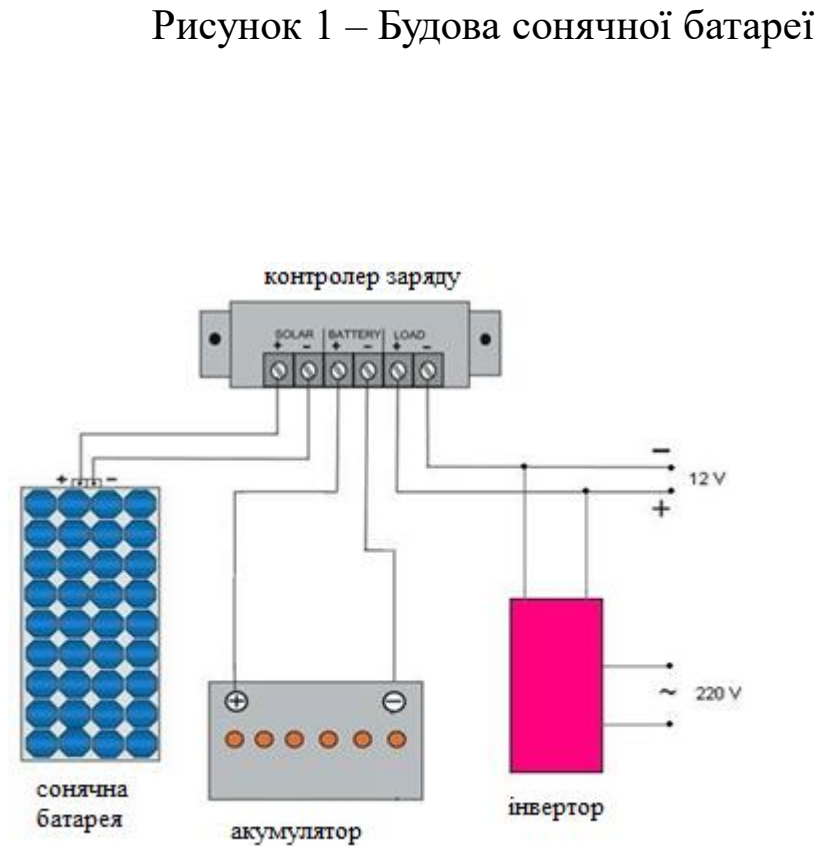


Рисунок 1 – Будова сонячної батареї

Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок

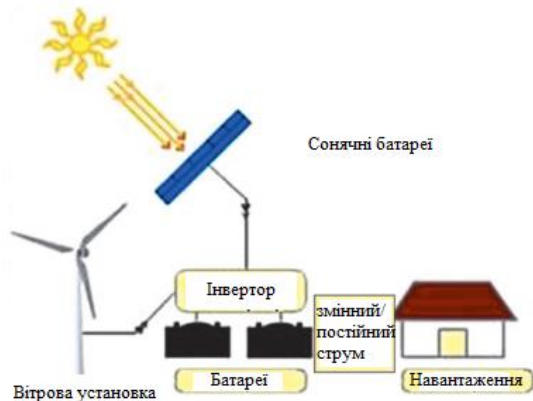
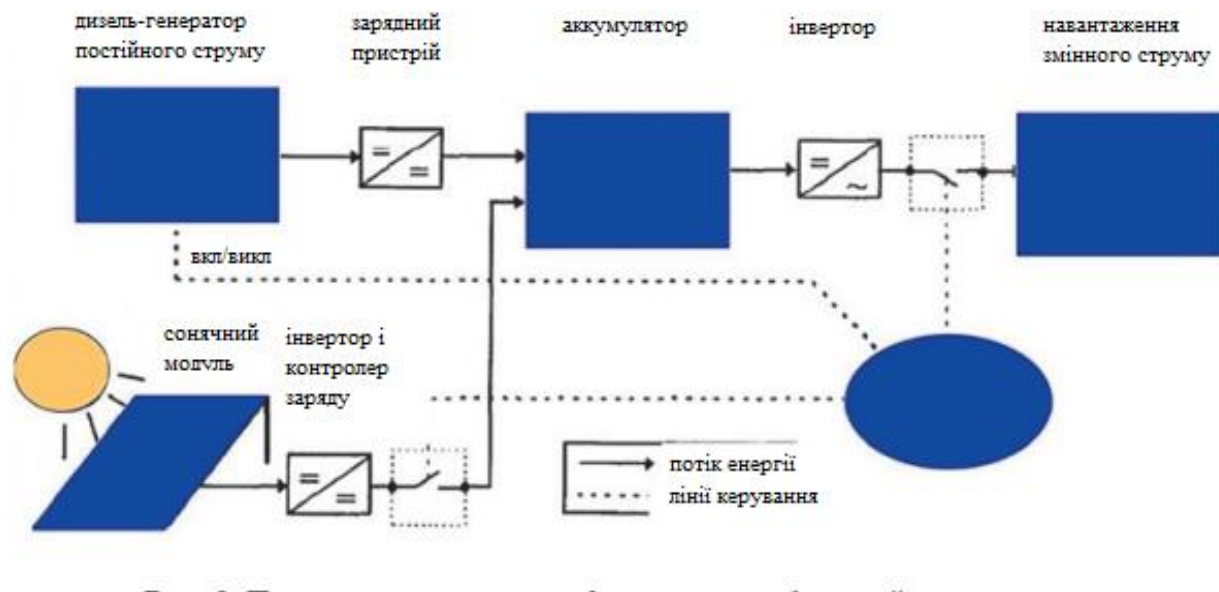


Рисунок 5 – Загальна схема і вид комбінованої системи електропостачання на основі ВДЕ



Рисунок 6 – Схема комбінованої системи постійного струму

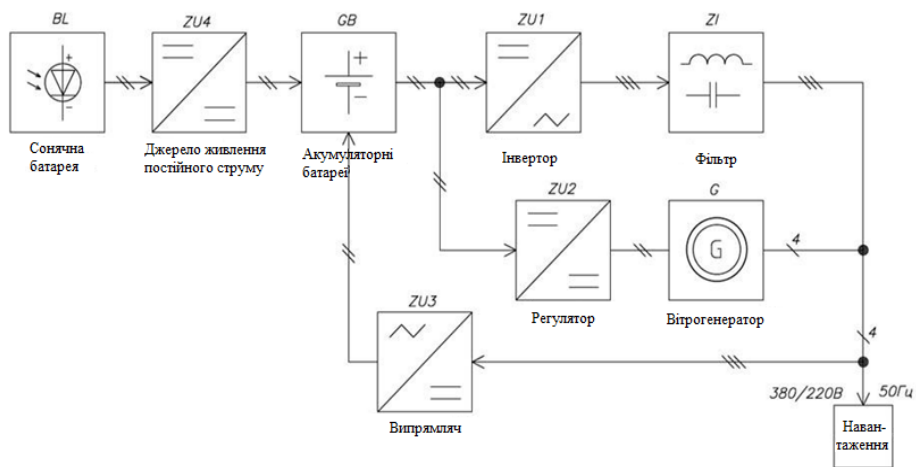
Послідовна конфігурація комбінованої системи



Таблиця 1 – Вартість комбінованих установок

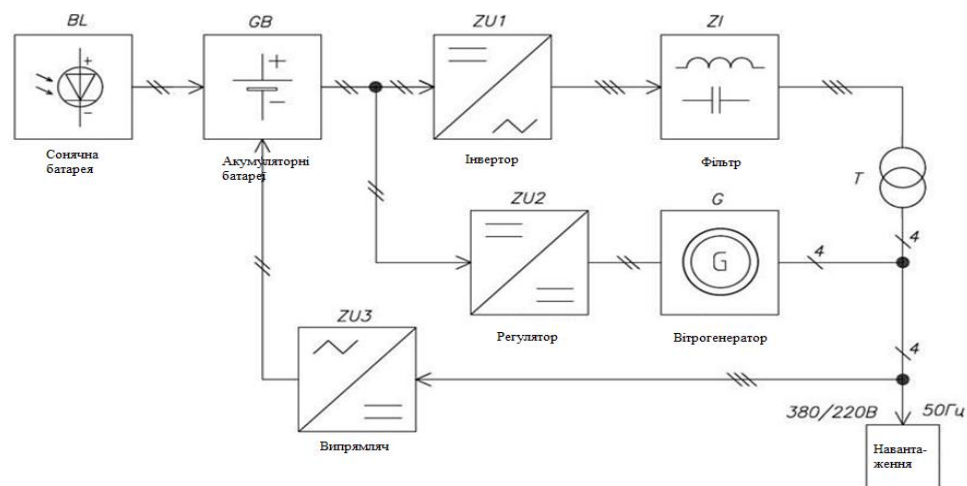
Встановлена потужність	Роздрібна ціна
2050 W	8,500.00 дол. США
2575 W	10,200.00 дол. США
3100 W	12,750.00 дол. США
3625 W	13,500.00 дол. США
4150 W	14,900.00 дол. США

Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок



1й варіант

2й варіант



Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання

Таблиця 2- Технічні характеристики сонячної батареї SY-300WM

Потужність, Вт	300
Напруга холостого ходу, В	45,5
Струм короткого замикання, А	8,56
Напруга в точці макс. потужності, В	38
Струм в точці макс. потужності, А	7,89
ККД сонячної панелі, %	15,5
Номинал запобіжників, А	15
Максимальна напруга системи, В	1 000
Робоча температура, С	40 ... +85
Площа, м ²	1,9

Таблиця 3 - Характеристики акумуляторної батареї

Номинальна ємність, А·год	1000
Номинальна напруга, В	25,5
Номинальна потужність, кВт	25,6
Рекомендована напруга заряду, В	28,8
Робоча напруга заряду, В	25,6
Рекомендований заряд/розряд, А	500
Максимальний струм заряду/розряду, А	1000

Таблиця 4 - Характеристики акумуляторної батареї

Номинальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота з невеликим перевантаженням (10%)		Робота в важкому режимі (50%)		Потужн. розсіювання, кВт	Код типу	Типо-розмір
I _{cont.max} , А	I _{max} , А	P _{cont.max} , кВт	I _N , А	P _N , кВт	I _{hd} , А	P _{hd} , кВт			
U _{ном} = 400 В (діапазон 380-415 В)									
741	1014	500	711	500	554	315	8	ACS800	R8i

Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання

Номінальна потужність, кВт	Напруга на виході, В	Початкова шв. вітру, м/с	Макс. робоча шв. вітру, м/с	Номінальна шв. вітру, м/с	Діам. ротора, м
100	380	2,5	25	12	21

Таблиця 5 - Технічні характеристики вітроустановки 100 кВт

Кількість лопатей, шт	ККД генератора, %	Рівень шуму, db	Діапазон робочих температур, °С	Проектний термін служби, років
3	90	Не більше 70	-40 ... +40	2 5

Таблиця 6- Вибрані пристрої

Сонячні модулі	PLM-300M-72 300Вт / 24В
Акумуляторні батареї (50 шт.)	LI-ION 24 В / 1000 Ач.
Інвертор	ABB ACS800-107-0510-3
Вітроустановка потужністю 100 кВт	EuroWind 100
Випрямляч	ABB ACS800-107-0440-7

Висновки

Широке практичне застосування комбінованих систем в значній мірі залежить від випуску вітчизняного доступного за ціною обладнання (вітроустановок малої потужності, сонячних та ін.). У зв'язку з прийнятими в нашій країні планами з будівництва вітропарків не слід скидати з рахунків і можливості комбінованих систем для великої енергетики з точки зору вирішення проблем пікових навантажень, акумулювання надлишків електричної енергії, раціонального її використання.

В ході роботи були визначено переваги і потенціал сонячної та вітрової енергетики. Актуальність розробки досить висока, оскільки можна отримати екологічно чисте джерело енергії з низькою вартістю її виробництва. Було спроектовано дві схеми комбінованої електростанції, однак обрано перший варіант схеми, як найбільш технічно і економічно доцільний.

З огляду на вихідні дані були обрані всі пристрої схеми електропостачання, в які входять: сонячні модулі PLM-300M-72 300Вт, 24В; акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000, інвертор ABB ACS800-107-0510-3, вітроустановка потужністю 100 кВт EuroWind 100, випрямляч ABB ACS800-107-0440-7.

Розрахунок капіталовкладень в будівництво комбінованої електричної станції на основі сонячної та вітрової установок обох варіантів показав, що доцільно використовувати перший варіант побудови схеми електропостачання, оскільки він дешевший на 126 500 грн. Собівартість електричної енергії, отриманої внаслідок розробленої комбінованої електричної станції склала 3,86 грн/кВт·год.

Додатковим розділом магістерської кваліфікаційної роботи став розділ охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація. Урахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму та професійного захворювання при виконанні робіт при експлуатації та електричному монтажі вітряка.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи _____
(підпис)

Корнійчук С.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ратушняк О.Г.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

Технічне завдання МКР

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

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

_____ (підпис)

" _____ " _____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**«ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМБІНОВАНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 500 КВТ»**

08-21.МКР.006.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент

_____ Ратушняк О.Г.

(підпис)

Магістр групи ІЕС-22м

_____ Корнійчук С.В.

(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

- а) актуальність досліджень обумовлена тим, що комбінована відновлювальна генерація є перспективним підходом до створення чистого та екологічно безпечного енергозабезпечення. Використання відновлюваних джерел, таких як вітрова та сонячна енергія, може забезпечити доступніше енергетичне забезпечення та зменшити залежність споживачів від енергосистеми;
- б) наказ ректора ВНТУ № 247 від 18 вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

- а) мета – дослідження роботи комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок, а також проектування такого типу електростанції потужністю 500 кВт;
- б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost-effective solutions for rural electrification. Alliance for rural electrification, 2010, 9 p...
2. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Циценков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
3. ТОВ «ЕкоГруп». Портал по будівництву інженерних систем, альтернативній енергетиці [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ecogroup.com.ua/spravochnik/elektrosnabzhenie/gibridnye-sistemy/2011>.
4. L. Meegahapola and T. Litter, «Characterisation of large disturbance rotor angle and voltage stability in interconnected power networks with distributed wind generation», IET Renew. Power Gener., vol. 9, no. 3, pp 272-283, Apr. 2015.
5. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1-1.01-97: Затв. 06.10.1997 № 257/Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. Х.: Вид-во «Форт», 2008. 144 с.

6. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. Посібник / Бондаренко Є. А., Кутін В.М., Лежнюк П.Д. / – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 120 с.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Електротехнічне обладнання, що має бути встановленим на еkleктичній станції комбінованого типу на основі вітрової та сонячної установок, обирати в основному українського виробництва та зарубіжних ведучих компаній по виробництву електротехнічного обладнання, сучасних пристроїв релейного захисту та автоматики.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники роботи електростанції і на основі їх аналізу зробити висновок про доцільність спорудження такої станції.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	20.09.23	26.09.23	формування технічного завдання
2	Стан та розвиток сонячної та вітрової енергетики	27.09.23	08.10.23	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок	09.10.23	15.10.23	розділ 2
4	Аналіз основних показників робочих режимів	16.10.23	22.10.23	розділ 3
5	Розрахунок показників економічності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок	23.10.23	29.10.23	розділ 4
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.10.23	05.11.23	розділ 5,6

7	Оформлення пояснювальної записки.	06.11.23	12.11.23	розділ 7,8,9
8	Виконання графічної/ілюстративної частини	13.11.23	19.11.23	пояснювальна записка
9	Оформлення презентації	20.11.23	26.11.23	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

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

9. Вимоги до оформлення МКР

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

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

Відсутні.

ДОДАТОК В

Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричних станцій в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи генерування електричної енергії є досить вразливими особливо комбінованих електричних станцій до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи комбінованих електричних станцій. В даному випадку оцінка стійкості може бути проведена за допомогою моделювання його ураження, що враховують можливі наслідки ураження людей, виникнення пожеж, виходу з ладу комбінованих електричних станцій.

Дія радіації на матеріали залежить від виду випромінювання, дози, природи опроміненої речовини та від умов навколишнього середовища. В комбінованій електричній станції використовують різні матеріали: метали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли), найбільш чутливими до радіації є метали, бо в них велика концентрація вільних носіїв. Основними заходами підвищення радіаційної стійкості є: використання радіаційно-стійких елементів та матеріалів; застосування різних екранів, або активного захисту від дії радіації.

Виникнення електромагнітного імпульсу (ЕМІ), може викликати високі імпульси струму та напруги в кабельних лініях електропередач, системи зв'язку, обчислювальних машин, антен радіостанцій тощо. ЕМІ може поширюватись на десятки кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях, здійснюючи вплив на об'єкти там, де ударна хвиля, світлове вимірювання і проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори. Особливо негативний вплив електромагнітного імпульсу на обладнання, яке не має спеціального захисту (вимикачі, різні «домішки» до системи проводів, електромагнітне екранування і т.п.).

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для елементів ГЕС. Тому захист елементів від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Саме тому, обов'язковим на виробництві є оцінка стійкості роботи обладнання під час дії електромагнітного імпульсу та іонізуючого випромінювання.

Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм стійкості роботи енергетичного обладнання комбінованих електричних станцій є граничне значення експозиційної дози ($D_{гр}$, Р), при якому в елементній базі можуть виникати зворотні зміни. Визначаємо граничні значення експозиційних доз для елементів комбінованих електричних станцій. По мінімальному значенню $D_{гр}$, визначаємо границю стійкості системи в цілому. Так як трансформатори та вимикачі мають мінімальне значення $D_{гр}$, то далі для них розрахована оцінка стійкості роботи при дії ІВ та ЕМІ, а кабельні лінії та повітряна лінія мають грозозахист, і стійкі до дії ЕМІ, то подальші розрахунки для них не виконуються. Результати заносимо у таблицю В.1.

Приймаємо $K_{осл}=1$; $t_k=87660$ год.

Таблиця В.1 – Граничні дози для елементів ЕС

№	Елементи комбінованої електростанції	$D_{гр}, P$	$D_{гр}, P$
1	Трансформатор ТДЦ-80000/110	10^4	10^4
2	Контактор КМ 150 220В АСКО А0040020002	10^3	
3	Генератор СВ-430/210-14	10^3	

Розрахуємо можливу дозу для, комбінованих електричних станцій граничний час експлуатації 10 р.

$$D_{\text{ем}} = \frac{2 \cdot P_{1\text{max}} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{k_{\text{осл}}} [P]; \quad (\text{B.1})$$

$$D_{\text{ем}} = \frac{2 \cdot 4,27 \cdot (\sqrt{87660} - \sqrt{1})}{1} = 2520,10 \text{ (P)}.$$

Таким чином система буде працювати стійко, так як, можлива експозиційна доза менша за граничну $2520,1 < 10000$.

Визначаємо допустимий час роботи елементів ГЕС:

$$P_{1\text{max}} = 4,27$$

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt{t_p}}{2 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^2; \quad (\text{B.2})$$

$$t_{\text{доп_тр-р}} = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 21,9 \cdot 10^4 \text{ год} = 25 \text{ (років)};$$

$$t_{\text{доп_кон}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 186,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 16,3 \text{ (років)};$$

$$t_{\text{доп_ген}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,27 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,27} \right)^2 = 186,7 \cdot 10^2 \text{ год} = 16,3 \text{ (років)}.$$

25 років, а контактора 16,3 років відповідно генератора також 16,3 років.

Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії електромагнітного імпульсу

Напряга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{z(\theta)} = E_{\theta(z)} \cdot l_{z(\theta)}; \quad (\text{B.3})$$

де E_{θ} – величина електромагнітного імпульсу (кВ/м);

l_z – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи (м),

l_{θ} – довжина вертикальної струмопровідної частини системи (м).

Розрахуємо U_{Γ} для трансформаторів та вимикачів:

$$E_B = 10,16 \text{ кВ / м}$$

$$U_{\Gamma \text{Тр-р}} = 10,16 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 18288 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\Gamma \text{Кон}} = 10,16 \cdot 0,8 \cdot 10^3 = 8128 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\Gamma \text{ЕН}} = 10,16 \cdot 2,74 \cdot 10^3 = 27838,4 \text{ (кВ/м)}.$$

Допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (6.513)$$

де N – відсоток допуску,

$U_{\text{ж}}$ – напруга живлення;

$$U_{\text{доп}} = 110 + \frac{110}{100} \cdot 20 = 132 \text{ (кВ)}.$$

За критерієм стійкості роботи радіоелектронних систем, або окремих їх елементів в умовах дії електромагного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки, який для нормальної роботи механізму повинен бути:

$$K_6 \geq 40 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки горизонтальної і вертикальної складової блоків:

$$K_{6B(\Gamma)} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{B(\Gamma)}} \right); \quad (6.14)$$

$$K_{6B \text{Тр-р}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{18288} \right) = 17,168 \text{ (дБ)};$$

$$K_{6B \text{Кон}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{8128} \right) = 24,26 \text{ (дБ)};$$

$$K_{6B \text{ЕН}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{27838,4} \right) = 13,5 \text{ (дБ)}.$$

Так як для трансформатора і вимикача $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання не буде працювати стійко. Для збільшення стійкості слід застосувати екранування. Перехід незатухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \text{ [дБ]}, \quad (\text{В.4})$$

де $K_{\text{Бном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки (40 дБ),

$K_{\text{Бмін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки, отриманий при розрахунку;

$$A = 40 - 17,12 = 22,8 \text{ (дБ)}.$$

Товщина захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (\text{В.5})$$

де f – частота,

$$t = \frac{22,8}{5,2 \cdot \sqrt{50}} = 0,62 \text{ (см)}.$$

Розрахуємо $U_{\text{в}}$ трансформатора:

$$U_{\text{вТР}} = 10,16 \cdot 0,3 = 3,048 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти горизонтальної безпеки для трансформатора:

$$K_{63\text{ТР-р}} = 20 \lg \left(\frac{132000}{3,048} \right) = 92,7 \text{ (дБ)}.$$

Так як $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання буде працювати не стійко.

Розрахуємо $U_{\text{в}}$ для контактора

$$U_{\text{в}} = 10,16 \cdot 0,4 = 4,064 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для контактора:

$$K_6 = 20 \lg \left(\frac{132000}{4,064} \right) = 90,2 \text{ (дБ)}.$$

Так як $K_{63} < 40$ дБ, то обладнання буде працювати нестійко.

Розрахуємо $U_{\text{в}}$ для генератора:

$$U_{\text{в}} = 10,16 \cdot 0,8 = 8,128 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для генератора:

$$K_6 = 20 \lg \left(\frac{132000}{8,128} \right) = 84,2 \text{ (дБ)}.$$

Результати зведемо у таблицю В.2.

Таблиця В.2 – Результати розрахунків

Елементи комбінованих електричних станцій	$U_{Г}$, кВ	$U_{В}$, кВ	$K_{бв}$, дБ	$K_{б,Г}$, дБ	Товщини захисного екрану, см
ТрансформаторТД Ц-80000/110	218288	3,048	94	17,168	0,05
Контактор КМ 150	8128	4,064	84,2	13,5	0,15
ГенераторСВ430/2 10-14	27838,4	8,128	72,64	-0,42	0,05

Приймаємо, що вибір товщини захисного екрану для кабельних ліній не розглядається станції буде працювати стійко до дії іонізуючих випромінювань. А до дії ЕМІ – не стійко, але при застосуванні захисного екрану для, трансформаторів 0,05 см, контактора 0,15 см, генератора 0,05 см буде працювати стійко. Таким чином, наша система при застосуванні вище вказаних заходів буде працювати стійко в умовах НС.

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

- провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем вітряків, які працюють в складі електроенергетичної системи України;
 - розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі вітрогенератора;
- запропонувати параметри заземлюючого пристрою для конкретних умов експлуатації вітрогенератора; описати основні заходи протипожежного захисту вітроелектричних установок.

Вінницький національний технічний університет
Кафедра електричних станцій та систем

«Особливості експлуатації комбінованої електростанції потужністю 500 кВт»

Виконав:
Керівник:

ст. гр. ІЕС-22м Корнійчук С.В.
к.т.н., доцент, ас. кафедри ЕСС
Ратушняк О.Г. Ю.В.

Вінниця 2023

Актуальність та задачі дослідження

Комбінована відновлювальна генерація є перспективним підходом до чистого і екологічно-безпечного енергозабезпечення. Відновлювані джерела, такі як вітрові та сонячні, можуть забезпечити дешевшу енергію та зменшити залежність споживача від енергосистеми. Впродовж останніх років все більше уваги приділяють комбінованим системам електропостачання.

Потенціал відновлюваних джерел енергії у світі становить мільярди тонн умовного палива на рік і значно перевищує обсяг усіх споживаних в даний час паливно-енергетичних ресурсів. Його раціональне використання дозволить вирішити цілий ряд проблем, пов'язаних з екологічно небезпечними процесами переробки вуглецевого палива і його заощадженням, зниженням витрат на транспортування палива в територіально віддалені регіони і підвищенням рівня їх енергетичної надійності.

Тому **метою** магістерської дисертаційної роботи є дослідження роботи комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок, а також проектування такого типу електростанції потужністю 500 кВт.

Об'єктом роботи є автономна електростанція на основі сонячних елементів і вітрогенераторних установок.

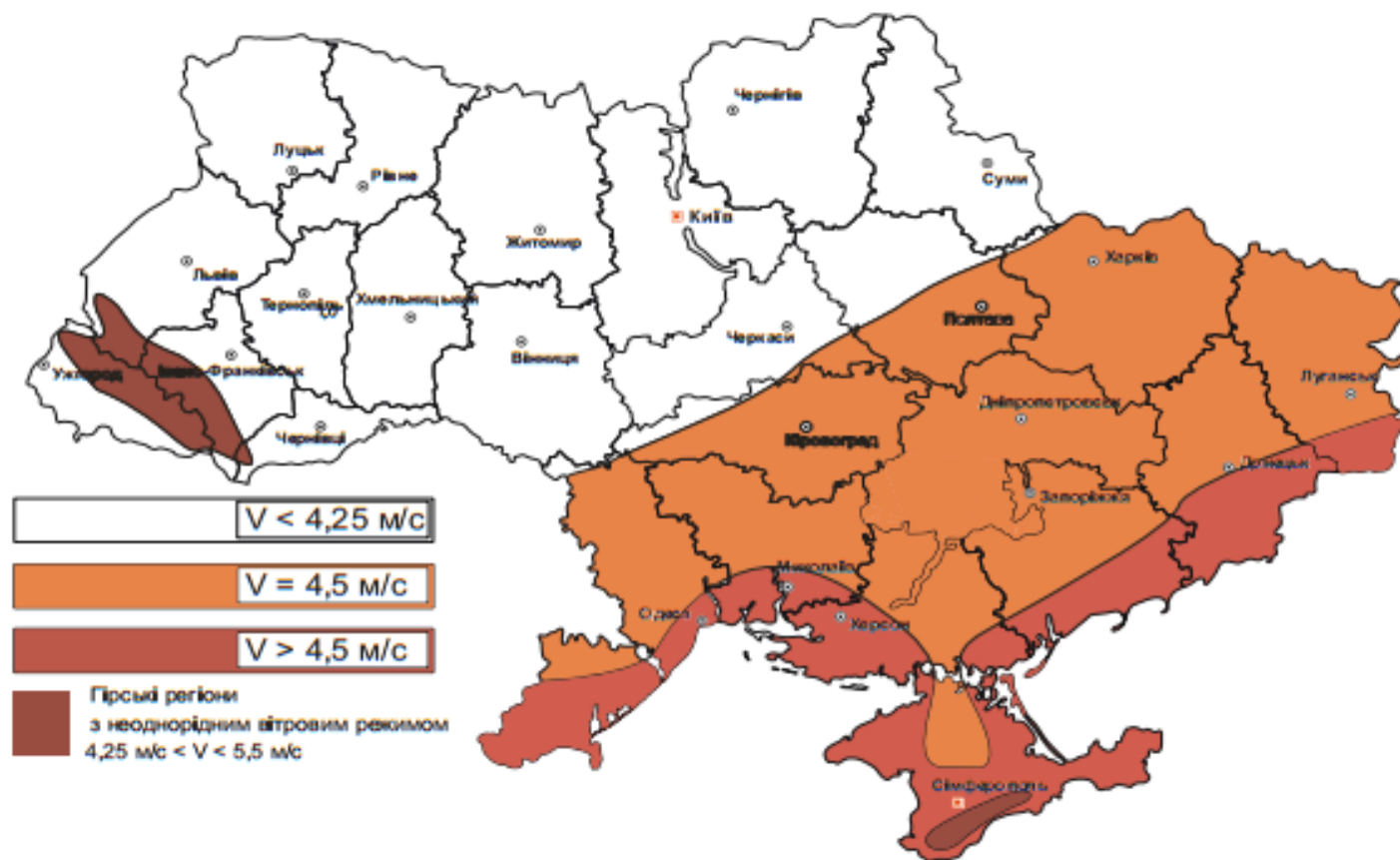
В магістерській кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі **задачі**:

- 1) визначити проблеми становлення та розвитку сонячної та вітрової енергетики;
- 2) дослідити комбіновані системи електропостачання з використанням відновлювальних джерел енергії, а також принципи їх побудови та класифікацію;
- 3) проаналізувати основні показники робочих режимів комбінованої на основі сонячної та вітрової установок.
- 4) розробити схеми електропостачання мережі від комбінованої електростанції; розрахувати параметри та вибрати пристрої схеми електропостачання.
- 5) провести розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок.

Карта сонячної активності в Україні



Вітроенергетичний потенціал України



Вітроенергетичні установки

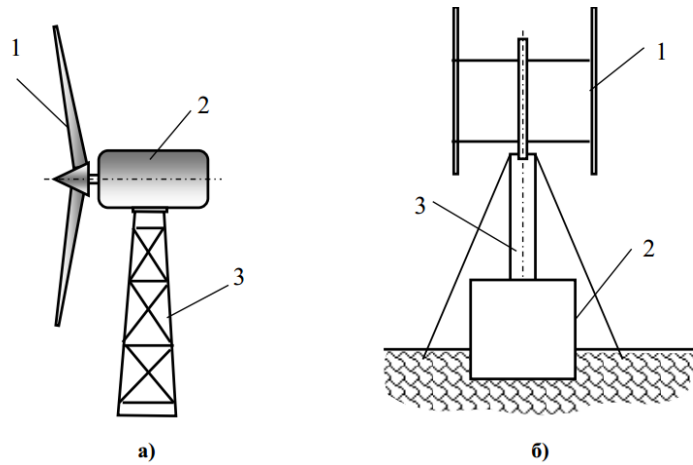
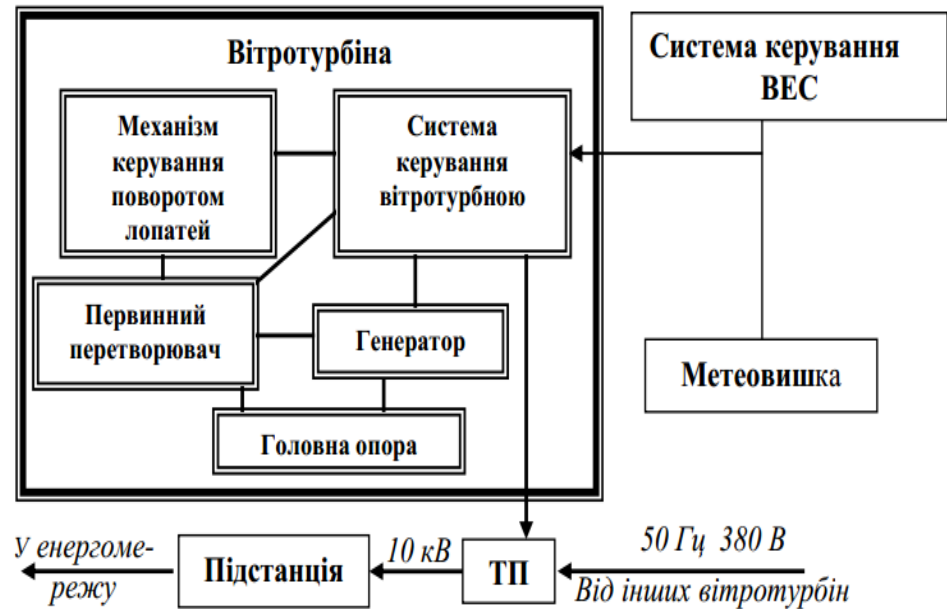


Рисунок 3 - Загальний вигляд ВЕУ
(а – горизонтально-осьова,
б – вертикально осьова)

Рисунок 4 - Функціональна схема
вітрової електричної станції



Комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок

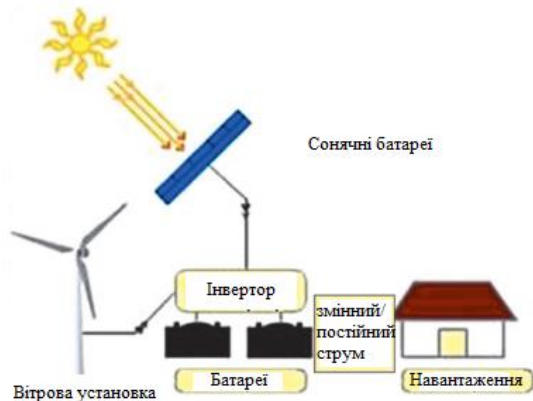
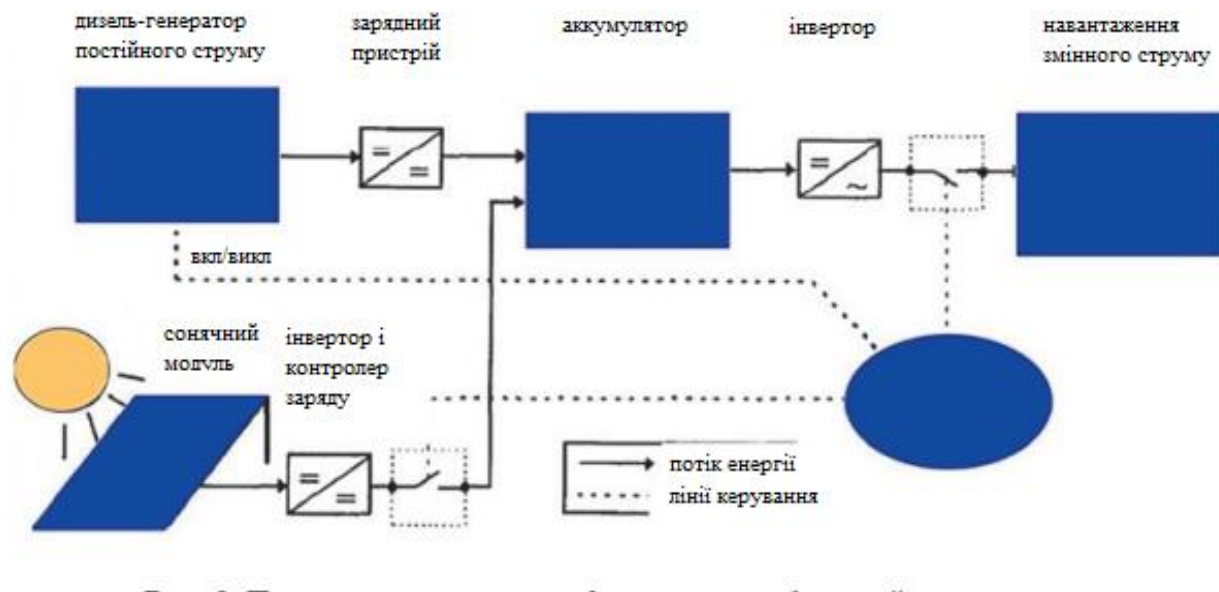


Рисунок 5 – Загальна схема і вид комбінованої системи електропостачання на основі ВДЕ



Рисунок 6 – Схема комбінованої системи постійного струму

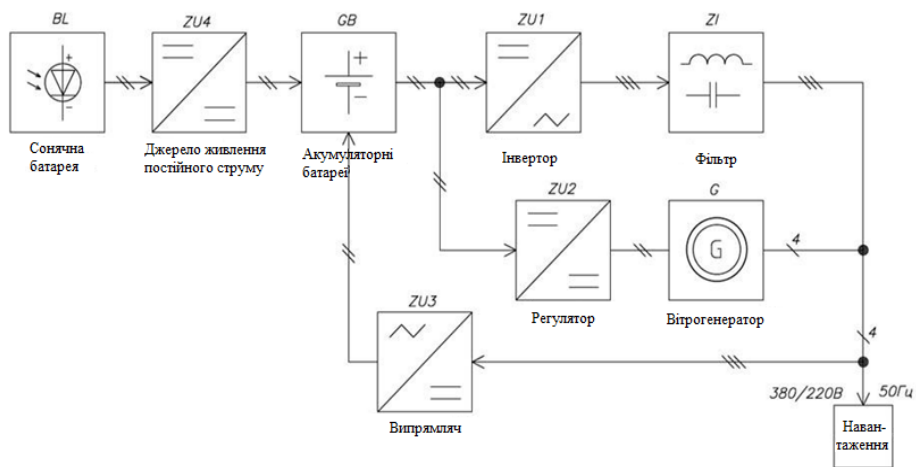
Послідовна конфігурація комбінованої системи



Таблиця 1 – Вартість комбінованих установок

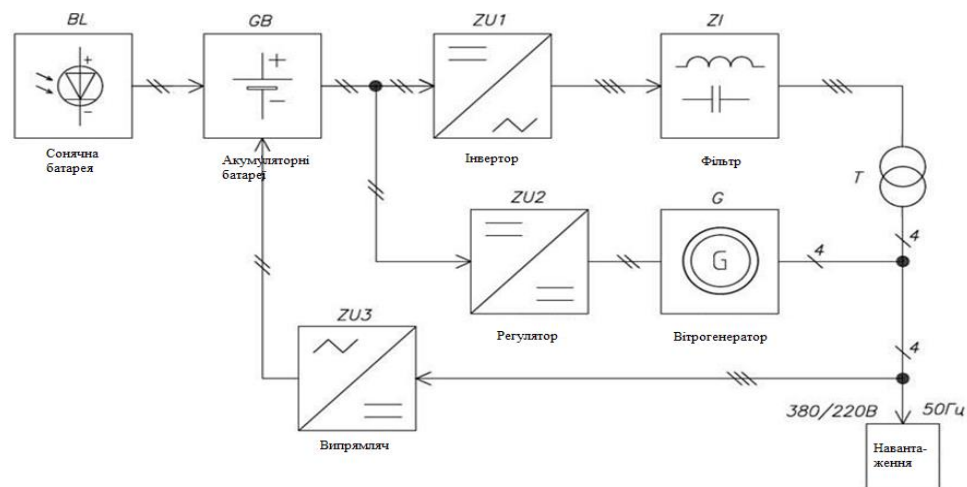
Встановлена потужність	Роздрібна ціна
2050 W	8,500.00 дол. США
2575 W	10,200.00 дол. США
3100 W	12,750.00 дол. США
3625 W	13,500.00 дол. США
4150 W	14,900.00 дол. США

Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок



1й варіант

2й варіант



Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання

Таблиця 2- Технічні характеристики сонячної батареї SY-300WM

Потужність, Вт	300
Напруга холостого ходу, В	45,5
Струм короткого замикання, А	8,56
Напруга в точці макс. потужності, В	38
Струм в точці макс. потужності, А	7,89
ККД сонячної панелі, %	15,5
Номінал запобіжників, А	15
Максимальна напруга системи, В	1 000
Робоча температура, С	40 ... +85
Площа, м ²	1,9

Таблиця 3 - Характеристики акумуляторної батареї

Номінальна ємність, А·год	1000
Номінальна напруга, В	25,5
Номінальна потужність, кВт	25,6
Рекомендована напруга заряду, В	28,8
Робоча напруга заряду, В	25,6
Рекомендований заряд/розряд, А	500
Максимальний струм заряду/розряду, А	1000

Таблиця 4 - Характеристики акумуляторної батареї

Номінальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота з невеликим перевантаженням (10%)		Робота в важкому режимі (50%)		Потужн. розсіювання, кВт	Код типу	Типо-розмір
I _{cont.max} , А	I _{max} , А	P _{cont.max} , кВт	I _N , А	P _N , кВт	I _{hd} , А	P _{hd} , кВт			
U _{ном} = 400 В (діапазон 380-415 В)									
741	1014	500	711	500	554	315	8	ACS800	R8i

Розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання

Номінальна потужність, кВт	Напруга на виході, В	Початкова шв. вітру, м/с	Макс. робоча шв. вітру, м/с	Номінальна шв. вітру, м/с	Діам. ротора, м
100	380	2,5	25	12	21

Таблиця 5 - Технічні характеристики вітроустановки 100 кВт

Кількість лопатей, шт	ККД генератора, %	Рівень шуму, db	Діапазон робочих температур, °С	Проектний термін служби, років
3	90	Не більше 70	-40 ... +40	2 5

Таблиця 6- Вибрані пристрої

Сонячні модулі	PLM-300M-72 300Вт / 24В
Акумуляторні батареї (50 шт.)	LI-ION 24 В / 1000 Ач.
Інвертор	ABB ACS800-107-0510-3
Вітроустановка потужністю 100 кВт	EuroWind 100
Випрямляч	ABB ACS800-107-0440-7

Висновки

Широке практичне застосування комбінованих систем в значній мірі залежить від випуску вітчизняного доступного за ціною обладнання (вітроустановок малої потужності, сонячних та ін.). У зв'язку з прийнятими в нашій країні планами з будівництва вітропарків не слід скидати з рахунків і можливості комбінованих систем для великої енергетики з точки зору вирішення проблем пікових навантажень, акумулювання надлишків електричної енергії, раціонального її використання.

В ході роботи були визначено переваги і потенціал сонячної та вітрової енергетики. Актуальність розробки досить висока, оскільки можна отримати екологічно чисте джерело енергії з низькою вартістю її виробництва. Було спроектовано дві схеми комбінованої електростанції, однак обрано перший варіант схеми, як найбільш технічно і економічно доцільний.

З огляду на вихідні дані були обрані всі пристрої схеми електропостачання, в які входять: сонячні модулі PLM-300M-72 300Вт, 24В; акумуляторні батареї LI-ION 24 В / 1000, інвертор ABB ACS800-107-0510-3, вітроустановка потужністю 100 кВт EuroWind 100, випрямляч ABB ACS800-107-0440-7.

Розрахунок капіталовкладень в будівництво комбінованої електричної станції на основі сонячної та вітрової установок обох варіантів показав, що доцільно використовувати перший варіант побудови схеми електропостачання, оскільки він дешевший на 126 500 грн. Собівартість електричної енергії, отриманої внаслідок розробленої комбінованої електричної станції склала 3,86 грн/кВт·год.

Додатковим розділом магістерської кваліфікаційної роботи став розділ охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація. Урахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму та професійного захворювання при виконанні робіт при експлуатації та електричному монтажі вітряка.