

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Лежнюк П. Д.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної роботи  
на здобуття ступеня «магістр»

**РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 500  
КВТ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК  
08-13.МКР.007.00.099 ПЗ**

Виконав: студент 2 курсу ОПІ магістра,  
групи ЕС-18м  
спеціальності 141 – «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
освітня програма «Електричні станції»  
Клос М.П. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС  
Малогулко Ю. В. \_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент: \_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінниця – 2019 рік

## ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня магістра зі спеціальності: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Освітньо-професійна програма – Електричні станції

(шифр – назва спеціальності)

Магістрант групи ЕС-18м Клос Максим Петрович

(назва групи)

(прізвище, ім'я і по батькові)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Розробка комбінованої електростанції потужністю 500 кВт на основі сонячної та вітрової установок»

Вихідні дані:

забезпечення електропостачання ділянки максимальною потужністю 500 кВт, напругою 380/220 В, частотою 50 Гц

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи

1. Графічна – 10 листів: Карти сонячної та вітрової активності; будова та принцип роботи сонячних модулів, комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок, структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок, розрахунок параметрів та вибір пристроїв схеми електропостачання.

2. Текстова (пояснювальна записка) 5 основних розділів: стан та розвиток сонячної та вітрової енергетики; комбіновані системи електропостачання на основі сонячної та вітрової установок; аналіз основних показників робочих режимів комбінованої на основі сонячної та вітрової установок; охорона праці. Економічна частина.

## 2. Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Науковий керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Ю.В. Малогулко  
ініціали та прізвище

Економічна частина

\_\_\_\_\_  
(підпис)

канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

В. В. Нетребський  
ініціали та прізвище

Охорона праці та безпека  
в надзвичайних ситуаціях

\_\_\_\_\_  
(підпис)

д-р. техн. наук, доц., професор кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Є. А. Бондаренко  
ініціали та прізвище

Дата попереднього захисту роботи “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(наук. ступінь, вчене звання , посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

(ініціали та прізвище)

Завдання видав

\_\_\_\_\_  
(підпис)

канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Ю.В. Малогулко  
ініціали та прізвище

Завдання отримав магістрант

\_\_\_\_\_  
(підпис)

М.П. Клос  
(ініціали та прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
АННОТАЦІЯ	4
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 СТАН ТА РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	9
1.1 Сонячна енергетика	9
1.1.1 Принцип роботи сонячної електричної станції	13
1.1.2 Класифікація сонячних батарей	14
1.1.3 Будова та принцип роботи сонячної батареї	15
1.1.4 Кількість елементів в модулі	17
1.2 Вітрова енергетика	19
1.2.1 Класифікація вітроустановок та їх призначення	20
1.2.2 Конструктивне виконання вітрових електричних установок	28
2 КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	31
2.1 Комбіновані технології з використанням відновлювальних джерел енергії	31
2.2.1 Принципи побудови комбінованих енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії	33
2.2.2 Аналіз розробок і ринку комбінованих систем на основі відновлюваних джерел енергії	36
2.2 Класифікація комбінованих систем електропостачання	40
2.2.1 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро-сонячної комбінованої системи електропостачання	41
2.2.2 Оптимізаційна модель розрахунку обмеження потужності вітро-сонячної дизельної комбінованої системи електропостачання	42
2.3 Ефективність використання комбінованих систем	45

3	АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ КОМБІНОВАНОЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК	49
3.1	Оцінка енергетичних потреб об'єкта електропостачання	49
3.1.1	Оцінка вітроенергетичного потенціалу	53
3.1.2	Оцінка потенціалу сонячного випромінювання	57
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	81
5.3	Протипожежний захист вітроелектричних установок	85

5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електричних станцій в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	87
5.4.1 Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії іонізуючих випромінювань	88
5.4.2 Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії електромагнітного імпульсу	89
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	94
ДОДАТКИ	98

## АНОТАЦІЯ

Клос М.П. «Розробка комбінованої електростанції потужністю 500 кВт на основі сонячної та вітрової установок». Магістерська кваліфікаційна робота - Вінниця: ВНТУ, 2019. – 99 с., Таблиць: 16, рисунків: 31, бібліографій: 52.

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.

## АННОТАЦИЯ

Клос М.П. В.И. «Разработка комбинированной электростанции мощностью 500 кВт на основе солнечной и ветровой установок». Магистерская квалификационная работа. – Винница: ВНТУ, 2019. – 99 с. Библиогр.: 52. Ил.: 31. Табл.: 16.

В магистерской квалификационной работе разработана комбинированная электрическая станция мощностью 500 кВт на основе солнечной и ветровой установок; рассмотрены проблемы становления и развития солнечной и ветровой энергетики, а именно - принцип работы, классификация и конструктивное исполнение солнечных и ветровых установок; исследовано комбинированные системы электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии, а также принципы их построения и классификации; проанализированы основные показатели рабочих режимов комбинированной на основе солнечной и ветровой установок. Разработаны схемы электроснабжения сети от комбинированной электростанции; рассчитаны параметры и выбрано устройства схемы электроснабжения.

Проведен расчет показателей экономической эффективности строительства комбинированной электростанции на основе солнечной и ветровой установок и отдельным раздел посвящен вопросам охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

**Ключевые слова:** комбинированная электростанция, солнечная энергетика, ветровая энергетика, солнечный модуль, ветроустановка, мощность, возобновляемые источники энергии.



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АКБ – акумуляторна батарея
- ВДЕ – відновлювані джерела енергії
- ВЕС – вітрова електрична станція
- ВЕУ – вітрова електроустановка
- ГЕС – гідроелектростанція
- ЕЕС – електроенергетична система
- ЕС – електрична станція
- ЕМ – електричні мережі
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- СЕС – сонячна електрична станція
- ТП – трансформаторна підстанція
- ФЕП – фотоелектричні перетворювачі

## ВСТУП

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.

З огляду на те, що застосування альтернативних джерел для виробництва електроенергії – додатковий стимул до розвитку промисловості, забезпечення зайнятості та підвищенню рівня життя населення, а в кінцевому підсумку, зміцнення та стимулювання економіки [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 літературних джерел [4-5] показав, що існує два основних недоліки комбінованої системи електропостачання. По-перше, більшість розглянутих систем призначені для загального або автономного застосування електроживлення без врахування особливостей споживачів.

Енергоспоживання в сільських господарствах дещо відрізняється від споживання, наприклад, виробничої, офісної та побутової енергії. По-друге, мало уваги приділяється дослідженню комбінованих відновлюваних систем для потреб сільського господарства.

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.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в розробці комбінованої електростанції потужністю 500 кВт на основі сонячної та вітрової установок.

# 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 не лише для нашої країни, а й для всього світу. 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» електрика стала найдешевшою в порівнянні з іншими альтернативними способами електрогенерації, наприклад, вітровими станціями), і державною підтримкою (спеціальні програми, що заохочують будівництво сонячних станцій за рахунок застосування економічно привабливого зеленого тарифу для викупу виробленої електроенергії) [6].

Абсолютними лідерами в області сонячної енергетики є європейські країни. Сонячні електростанції забезпечують близько трьох відсотків загального виробітку електроенергії в Німеччині, Іспанії та Італії. При цьому, в найближчому майбутньому можна прогнозувати збільшення як абсолютних показників вироблення електроенергії за допомогою сонячних електростанцій, так і зростання частки сонячної енергії в загальній структурі всіх використовуваних джерел енергії [7].

Клімат і географічне положення України сприятливе для розвитку сонячної енергетики і будівництва сонячних електростанцій. В якості порівняння можна навести Німеччину, яка географічно розташована набагато північніше України, але при цьому є одним зі світових лідерів в генерації

сонячної електрики [6]. До перспектив розвитку сонячної енергетики, зазначених в [7], відносять:

- Сонячна енергетика та енергозбереження - загальносвітовий тренд. Якщо кілька років тому лідерами за обсягами генерації були Німеччина, США і Великобританія, то вже в 2015 році їх перевершила Японія і Китай, в перспективі – Індія. Активно розвивається сонячна енергетика в Мексиці, Чилі, Австралії, Бразилії, Пакистані.
- Дуже показовий приклад розвитку сонячних технологій - Китай, який всього за одну п'ятирічку з аутсайдерів став світовим лідером за потужністю сонячних електростанцій. Протягом 2016-2020 років Китай інвестує в будівництво сонячних електростанцій близько 145 млрд доларів - це дасть можливість ввести в експлуатацію близько 1000 потужних сонячних електричних станцій (СЕС).
- Щорічний приріст потужностей СЕС становить близько 40-50% на рік - якщо в 2010 році сумарна потужність всіх сонячних станцій становила 40,3 ГВт, то вже в 2015 вона досягла 230 ГВт, а тільки за 2016 рік в експлуатацію було введено 76 ГВт.
- За прогнозами фахівців, вже до 2070 року енергія Сонця стане основним джерелом електрики на землі, а до початку наступного століття за своїми обсягами сонячна енергетика в 3,5 рази перевищуватиме нафтову галузь, і в 6 разів - атомну.
- Енергія сонячного випромінювання - фактично невичерпна, до того ж - це цілком безкоштовний ресурс.
- Сучасні технології дозволяють отримувати сонячні панелі, які при мінімальних експлуатаційних витратах і обслуговуванні забезпечать генерацію електрики як мінімум 30 років.

Стрімкий розвиток технологій використання сонячної енергії на сьогодні вивів галузь на зовсім новий якісний рівень - зростання ефективності сонячних панелей при одночасному здешевленні технологій та розширенні сфер їх застосування (сонячні дороги, тротуари, фарба,

черепиця, які здатні виробляти електроенергію з енергії сонця, тканина, що накопичує сонячну енергію, декоративні 3D модулі, технології перетворення дощу в електроенергію завдяки сонячним батареям та ін.), - забезпечуючи щорічне скорочення світових викидів CO<sub>2</sub> на 200-300 мільйонів метричних тон [8].

За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA) [8], сонячні потужності в 2015 році зросли на 50ГВт та склали 227 ГВт або 1,2% світового попиту на електроенергію. А в 2016 було встановлено близько 75 ГВт. Китай став лідером в гонці за нарощування сонячних потужностей - 34,54 ГВт, випередивши США (14,72ГВт) та Японію (8,6 ГВт). Індія вдвічі наростила сонячні потужності, додавши 4 ГВт в мережу в минулому році. В Україні ж, за підсумками 2016 року, сонячна генерація була представлена потужностями лише в 0,5 ГВт, з яких близько 100 МВт були введені в експлуатацію в минулому році. В поточному році очікується приріст в 200-300МВт.

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

В перспективі сектор зможе забезпечувати більшу частину потреб людства вже в 2060-му, відкинувши традиційну затратну енергетику далеко на задній план. При збереженні теперішньої тенденції щорічного приросту потужностей СЕС на 20-25%, вже до кінця 2100 року обсяги виробленої ними енергії в 3-4 рази перевищать можливості вугільної і нафтової енергетики, а атомної – більше, ніж в 6 разів [9].



Рисунок 1.1 – Тенденція щорічного збільшення сонячних потужностей

В Україні згідно Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року сонячна енергетика має досягти 2,3 ГВт (при показниках 1 кварталу 2017р. в 590МВт) та 5 ГВт до 2035 року відповідно до проекту Енергостратегії [10]. На скільки реально досягти планових показників залежить в першу чергу від державних гарантій щодо стимулювання сектору та інвестиційного клімату в країні. На даний момент, за рейтингом ЕУ, ми не входимо навіть в 40-ку країн з найбільш привабливими умовами для розвитку відновлюваної енергетики.

За даними [11] середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка надходить щорічно на територію України, знаходиться в межах від 1 070 кВт·год/м. кв. в північній частині України до 1 400 кВт·год/м. кв. і 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 випромінювання показав, що в Україні за рахунок вдосконалення технології та введення в



експлуатацію нових потужностей виробництво електроенергії СЕС може бути значно збільшено.

Умовно територію України можна розділити на чотири зони, залежно від інтенсивності сонячної радіації.

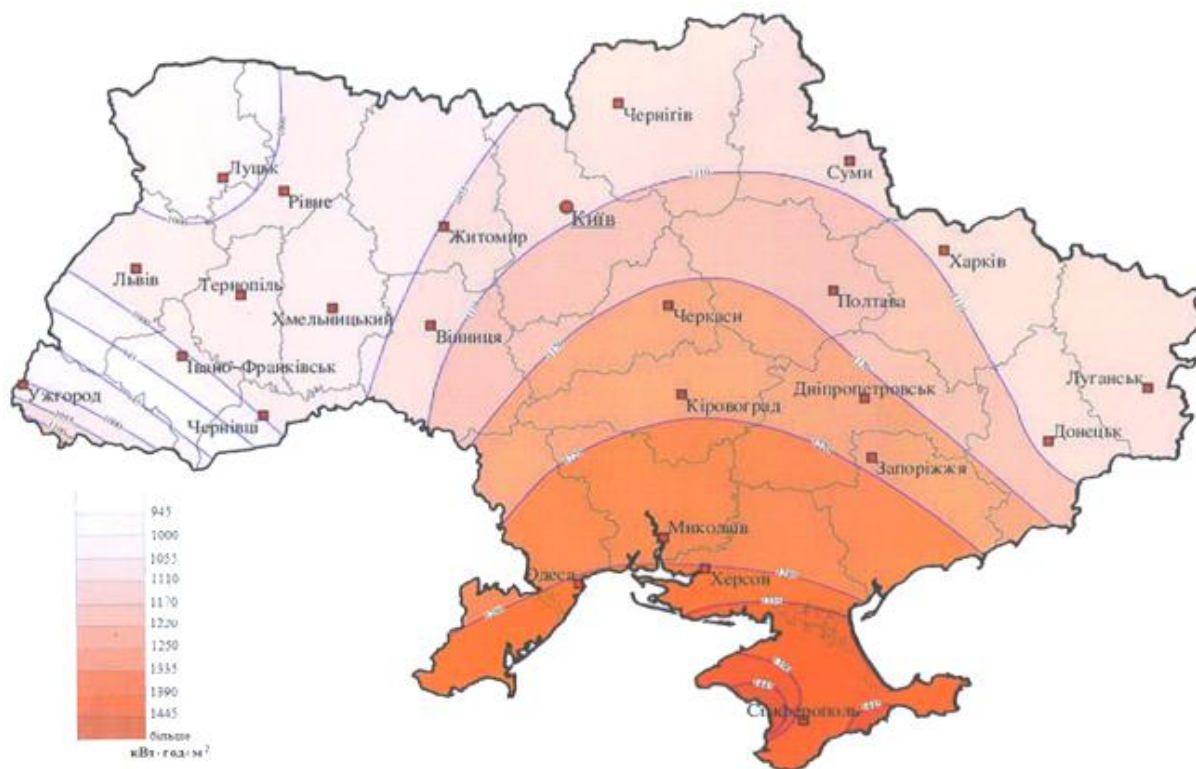


Рисунок 1.2 - Карта сонячної активності в Україні

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт·год/м) є досить високим і набагато вищий, ніж, наприклад, у Німеччині - кВт·год/м або навіть у Польщі - 1080 кВт·год/м. Отже, ми маємо гарні можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на території України.

### 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 кількасот 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 С 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. Зазвичай їх 4 - по одному, на кожен четверту частину батареї. Діоди 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 (акумулятори 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 акумуляторах, а потім передається навантаженню. Акумулятори є хімічними джерелами струму. Заряд акумулятора починається з того моменту, коли до нього прикладають потенціал, більший за напругою, ніж у самого акумулятора. Кількість сонячних елементів, з'єднаних послідовно і паралельно, вибирається таким чином, щоб робоча напруга, що подається на клеми акумулятора з урахуванням падіння напруги в зарядному ланцюзі, не на багато перевищувала напругу самих акумуляторів, 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.

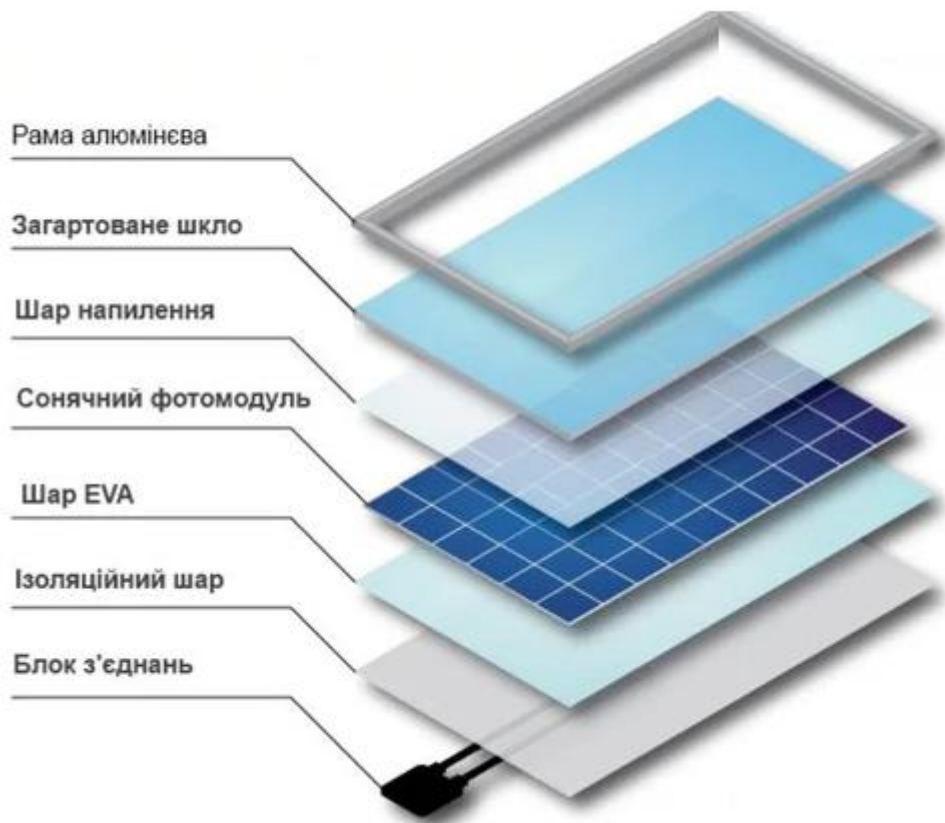


Рисунок 1.3 – Будова сонячної батареї

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

Число сонячних елементів визначається номінальною напругою модуля. Кожен елемент будь-якого розміру представляється кремнієвим фотодіодом, який має напругу в точці максимальної потужності  $\sim 0.5$  Вольта. Типовий модуль з номінальною напругою 12 вольт складається з 36 елементів. Якщо послідовно з'єднати 36 елементів напругою по 0.5 в кожен, то вийде  $\sim 18$  В в точці максимальної потужності. Саме такою напругою слід заряджати 12-ти вольтний акумулятор, тому що для повноцінного зарядження напруга акумулятора повинна досягати 14,2-14,9 В в залежності від типу акумуляторної батареї, але необхідний ще і певний запас на втрати в проводах, нагрів модуля і т.д. [14].

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

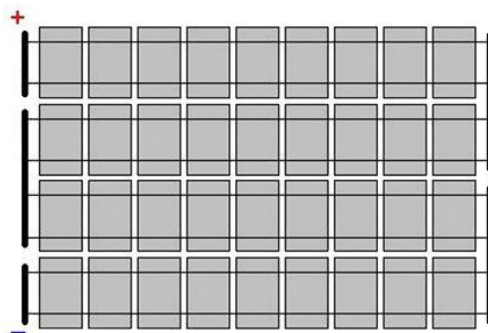


Рисунок 1.4 - Схема з'єднання осередків сонячної батареї

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 з одночасним перетворенням постійної напруги в 220 вольт змінної.

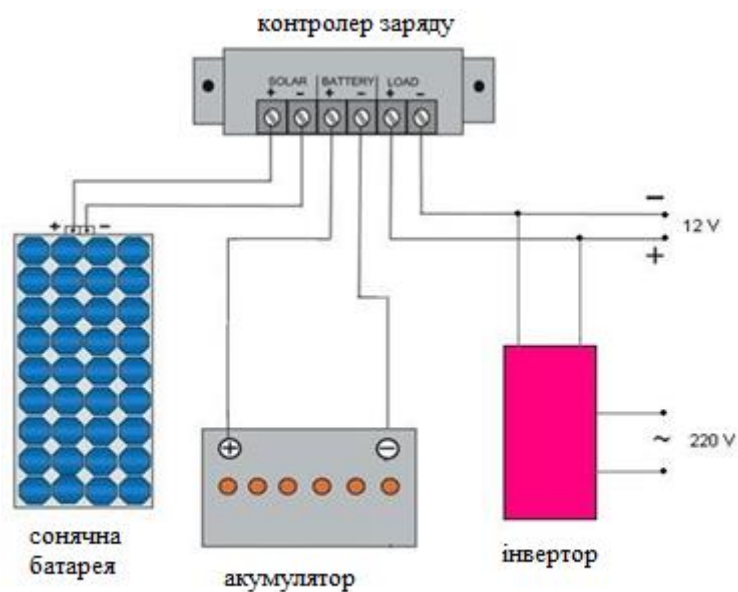


Рисунок 1.5 - Фотоелектрична система

## 1.2 Вітрова енергетика

Розвиток вітроенергетики в Україні сприяє вирішенню низки енергетичних, екологічних, соціальних та економічних проблем, що мають важливе значення для країни. Черговий крок на шляху розвитку вітроенергетики має бути зроблено в найближчі роки шляхом залучення значних недержавних інвестицій за допомогою впровадження державою економічних важелів та пільг.

Розширення світового ринку вітроенергетики призвело до значного падіння цін на енергію, що виробляється вітром. Сучасні вітрові турбіни щорічно виробляють у 180 разів більше електроенергії, ніж 20 років тому. При цьому кіловат виробленої енергії подешевшав щонайменше вдвічі. При вдалому розташуванні вітроенергетичні станції можуть конкурувати за економічними показниками з теплової електростанції на вугіллі та газі.

Сучасна вітроенергетика є однією з найбільш розвинених і перспективних галузей нетрадиційної енергетики. У Програмі ООН з розвитку світової енергетики, зокрема, підкреслюється, що в XXI сторіччі

розвиненими будуть ті країни, в яких інтенсивно розвивається вітроенергетика. Відповідно до оцінок Всесвітньої енергетичної ради з «мінімального» і «максимального» варіантів розвитку нетрадиційної енергетики, внесок вітрової енергетики в загальне виробництво енергії в світі у 2020 році становитиме 122 і 307 млн. т умовного палива відповідно. Наразі вітроенергетика розвивається у більш ніж 30 країнах. Великі вітроенергетичні проекти реалізують у Китаї, Швеції, Ірландії, Новій Зеландії, Швейцарії, Канаді, Німеччині, США, Іспанії, Данії. Після 1995 року встановлена потужність вітрових електростанцій у світі збільшилася більш ніж у 12 разів: із 4 800 МВт до 59 000 МВт (на кінець 2005 року) [15].

Проте існує ряд недоліків, пов'язаних з географічним розташуванням (необхідні великі площі, розташування вітроустановок у районах із високою інтенсивністю вітру), економічними моментами (значні первинні інвестиції), екологічними проблемами (шумові впливи; шкода для птахів, кажанів, інших видів тварин; можливе посилення ерозії ґрунту).

Вітровий потенціал, який може бути використаний до 2030 року приблизно складає 16 ГВт. За даними Агентства з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів до 2050 р. може використовуватись до 30 ТВт·год. вітрової енергії, при цьому загальний технічний потенціал вітрової енергії складе 42 ТВт·год. Енергетична стратегія України планує, що до 2030 р. в країні 2 ТВт·год електроенергії будуть вироблятися вітровими установками.

За прогнозами аналітиків, у найближчі роки вітроенергетика в Україні буде розвиватися швидше, в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики, а загальна потужність вітропарків перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів. На думку експертів, це зумовлено тим, що в порівнянні з фотоелектричними модулями, при однаковій потужності, вітроустановки займають меншу площу і коштують набагато дешевше [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 районів України визначається національним вітроенергетичним кадастром, який включає показники швидкості вітру (середньорічні і середньомісячні), обумовлені результатами багаторічних наукових спостережень, повторюваність швидкості вітрових напрямів протягом року, місяця, доби і так далі.

Середньорічна швидкість вітру в приземному шарі на території України досить низька – 4,3 м/с. Більшість вітроагрегатів починають виробляти промисловий струм починаючи зі швидкості вітру 5 м/с. Якщо враховувати, що вони можуть використати енергію вітру до висоти 50 м (на деякій висоті від поверхні швидкість вітру зростає), то енергетичний потенціал на території України складає 330 млрд. кВт і перевищує встановлену потужність електростанцій України в 6 тисяч разів. В таблиці 1.1 наведено дані про питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні.

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 <sup>2</sup> рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт·год/м <sup>2</sup> 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 району відносно використання вітру визначаються вітроенергетичним кадастром, який включає різні показники швидкості вітру, обумовлені результатами багаторічних спостережень: середньорічні і середньомісячні швидкості вітру; повторюваність швидкості вітрових напрямів протягом року, місяця, доби. Зі зменшенням впливу теплих і вологих атлантичних повітряних мас, які поступають на територію України з північного заходу, відбувається посилення континентальності клімату, що формує сприятливі умови розвитку вітроенергетики. На значення вітроенергетичного потенціалу (рис. 1.6, [17]) південних і південно-східних територій впливає також енергійне переміщення повітряних мас з Чорного і Азовського морів, і крім того – формування вітрів місцевого значення – у береговій зоні морів. Окремо слід розглядати гірські території України, для яких характерні великі швидкості вітру.

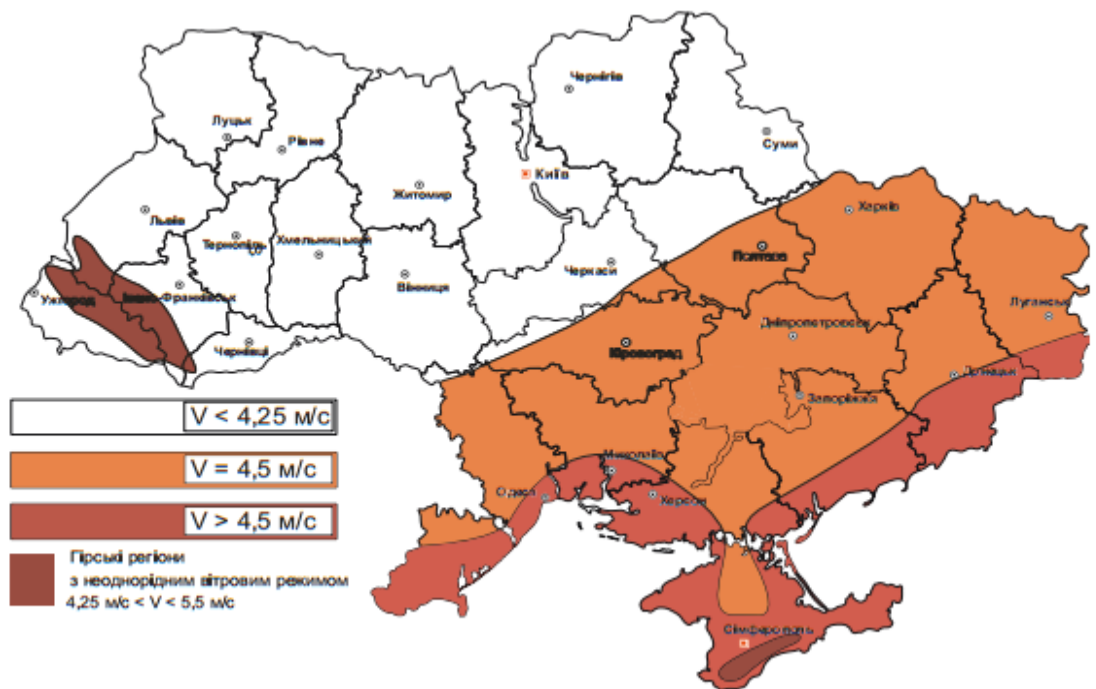


Рис. 1.6 - Вітроенергетичний потенціал України

Діючі сьогодні в Україні вітрові енергоустановки (ВЕУ) в основному побудовані на базі вітроагрегатів, вироблених в Україні за ліцензією фірми "Кенетек Виндпауер". Всі українські ВЕУ були побудовані у рамках виконання "Комплексної програми будівництва вітроелектростанцій", прийнятої урядом України в 1997 році, що передбачала до 2010 року введення в експлуатацію 1990 МВт. вітроенергетичних потужностей. Саме у рамках цієї програми було освоєно виробництво ліцензійних установок потужністю 107,5 кВт, причому 100% компонентів цих машин виготовлялися в Україні.

### **1.2.1 Класифікація вітроустановок та їх призначення**

Принцип дії всіх вітродвигунів наступний: під натиском вітру обертається вітроколесо з лопатями, передаючи крутний момент через систему передач валу генератора, який виробляє електроенергію. Чим більший діаметр вітроколеса, тим більший повітряний потік воно захоплює і тим більше енергії виробляє агрегат.

Сучасні системи вітродвигунів за схемою пристрою вітроколеса і його положення в потоці вітру поділяються на три класи.

1 клас - це вітродвигуни, в яких вітрове колесо розташовується у вертикальній площині; при цьому площина обертання перпендикулярна напрямку вітру, і, отже, вісь вітроколеса паралельна потоку. Такі вітродвигуни називаються крильчастими, які згідно ГОСТ 2656-44, в залежності від типу вітроколеса і швидкохідності поділяються на три групи (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,  $Z_n = 3$ .

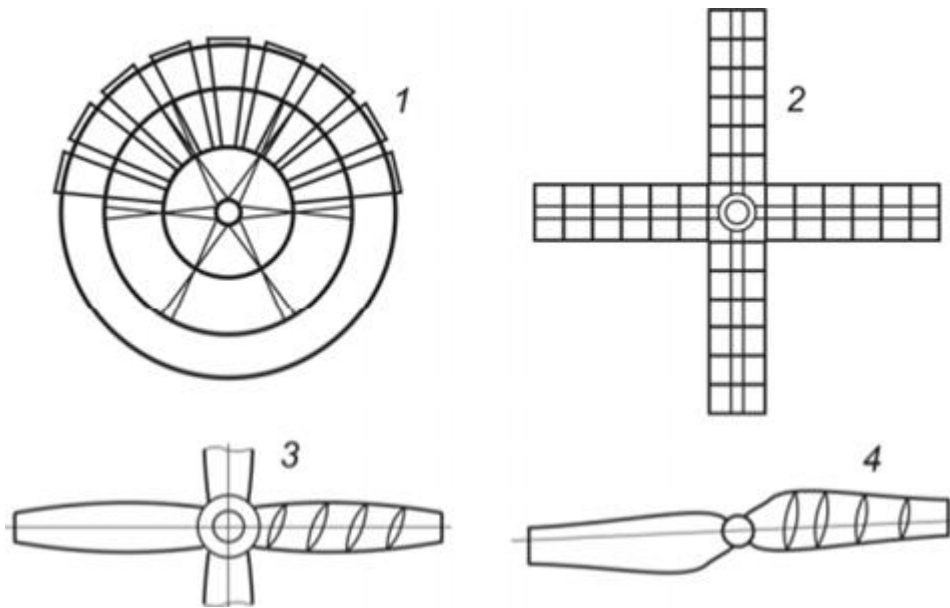


Рисунок 1.7 - Схеми вітроколес крильчастих вітродвигунів: 1 - багатолопатні; 2-4 – малолопатні

2 клас – це системи вітродвигунів з вертикальною віссю обертання вітрового колеса. За конструктивною схемою вони розбиваються на групи:

- карусельні, у яких неробочі лопаті або прикриваються ширмою, або розташовуються ребром проти вітру;
- роторні вітродвигуни системи Савоніуса.

3 клас - це вітродвигуни, що працюють за принципом водяного млинового колеса і називаються барабанными. 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. Установки, які використовують в якості обертальної сили силу опору, як правило обертаються з лінійною швидкістю, меншою швидкості

вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопатей, суттєво більшу швидкості вітру.

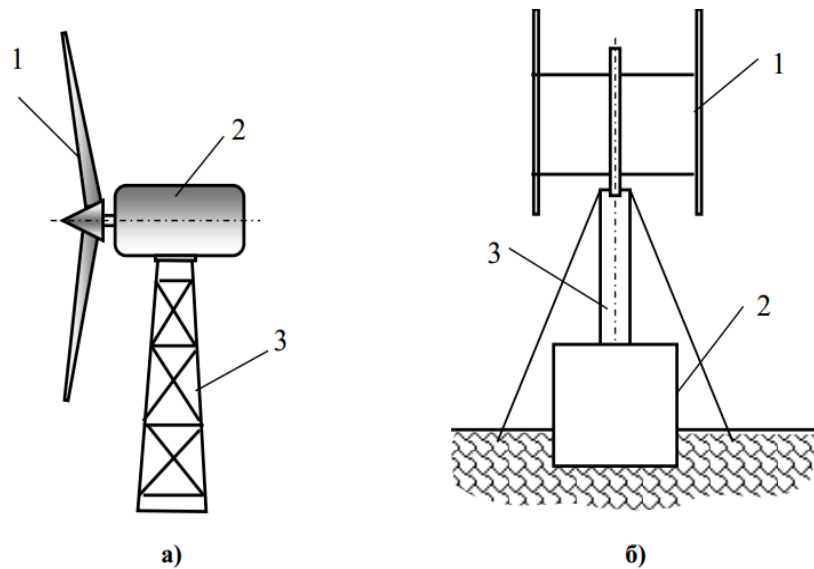


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд ВЕУ (а – горизонтально-осьова, б – вертикально осьова)

3. Для більшості установок геометричне заповнення вітроколеса визначається числом лопатей. ВЕУ з великим геометричним заповненням вітроколеса розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі, і максимум потужності досягається при невеликих оборотах колеса. ВЕУ з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих оборотах і довше виходять на цей режим.

4. Установки для безпосереднього виконання механічної роботи часто називають вітряком чи турбіною, установки для виробництва електроенергії (сукупність турбіни і електрогенератора) називають вітроелектрогенератором, аерогенератором, а також установками з перетворенням енергії.

5. У аерогенераторів, підключених безпосередньо до потужної енергосистеми, частота обертання постійна внаслідок ефекту асинхронізації, але такі установки менш ефективно використовують енергію вітру, ніж установки зі змінною частотою обертання.

6. Вітроколесо може бути пов'язане з електрогенератором напряму (жорстке сполучення) або через проміжний перетворювач енергії, що виконує роль буфера. Наявність буфера зменшує наслідки флуктуації частоти обертання вітроколеса, дозволяє більш ефективно 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 ВЕУ поділяють на вітроелектричні та вітромеханічні. Електричні ВЕУ, у свою чергу, поділяються на вітроустановки, що виробляють електроенергію постійного або змінного струму. Механічні ВЕУ служать для приводу робочих машин. За рівнем потужності ВЕУ підрозділяють 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 одна від одної перш за все конструктивним виконанням, типом фундаменту, способом установки вітроагрегату на вітер, системою регулювання, системою передачі вітрової потужності, способом монтажу і способом обслуговування. У залежності від призначення електричні ВЕУ постійного струму поділяють на:

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

Електричні ВЕУ змінного струму поділяють на:

- автономні;
- гібридні, що працюють паралельно з енергосистемою сумірної потужності (наприклад, з дизельною установкою);

– мережеві, які працюють паралельно з потужною енергосистемою.

Механічні ВЕУ за призначенням поділяють 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. п.); – тип системи передачі вітрової потужності до споживача; – тип системи генерування та акумулювання електроенергії.

Вітродвигуни класифікують за рядом різних ознак, як основних, так і другорядних. Одним з основних ознак класифікації є орієнтація вектора кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна щодо векторів швидкості вітру у вільному атмосферному потоці. За цією ознакою вітродвигуни підрозділяють на колінеарні і ортогональні.

Колінеарним називають вітродвигун, для якого вектори швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна, паралельні або антипаралельні. Таким є горизонтально-осьовий вітродвигун.

Ортогональним в загальному випадку називають вітродвигун, для якого вектори швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна, перпендикулярні

Можливий вітродвигун, у якого кут між векторами швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна 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 набігаючого на нього повітря, вітродвигуни можна підрозділити на два типи:



- вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи підйомну силу, що виникає на робочих елементах лопатевої системи (жорстких лопатях, циліндрах, що обертаються) і створює крутний момент;
- вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи розходження в аеродинамічних силах, що виникають на різних елементах лопатевої системи (крилових лопатях або яких-небудь інших поверхнях), в моменти руху цих поверхонь за напрямком вітру і проти напрямку вітру, тобто розходження в аеродинамічному опорі, що виникає на елементах лопатевої системи.

### **1.2.2 Конструктивне виконання вітрових електричних установок**

Зазвичай вітроелектричні установки складаються з наступних функціональних частин:

- первинного перетворювача;
- електричного генератора;
- опорно-поворотного пристрою;
- системи управління ВЕУ.

Компонування вітромеханічних установок здійснюється з наступних складових частин:

- ротор – система обертових аеродинамічних елементів (лопатеї), що приєднані до єдиного валу, і призначена для перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію обертового валу.;
- гондола – частина вітроустановки, що розташовується на вершині опори і служить для розміщення вузлів кріплення валу ротора, мультиплікатора, трансмісії та (або) інших елементів;
- опора (вежа, башта, щогла) – тримає гондолу та ротор над поверхнею землі;
- опорно-повертальний пристрій – служить для повертання гондоли та ротора навколо вертикальної вісі до напрямку повітряного потоку.;

- система керування поворотом гондоли – утримує вісь ротора у напрямі повітряного потоку з найменшим відхиленням (никанням);
- трансмісія – система для передачі крутного моменту від валу ротора до робочої машини.

Горизонтально-осьові ВЕУ середньої та великої потужності можуть мати механізм регулювання кута установки лопатей ротора і механізм орієнтації вітроагрегата.

Одна або декілька груп вітроелектричних установок утворюють вітрову електричну станцію (ВЕС), до складу якої входять (крім ВЕУ):

- система управління ВЕС;
- одна або кілька метеовишок;
- трансформаторні підстанції (ТП);
- підстанція.

Система керування ВЕС здійснює керування, контроль і облік роботи ВЕС в цілому і кожної ВЕУ окремо. Метеовишка призначена для визначення швидкості і напрямку вітру та видачі цієї інформації в систему керування ВЕС. Трансформаторна підстанція обслуговує декілька ВЕУ (групу) і забезпечує підвищення напруги від генераторів ВЕУ до величини лінії електропередачі на підстанцію. Підстанція ВЕС призначена для розподілу і передачі енергії від ВЕС в електромережу енергосистеми. Функціональна схема ВЕС на базі типової віротурбіни великої потужності представлена на рис. 1.9.

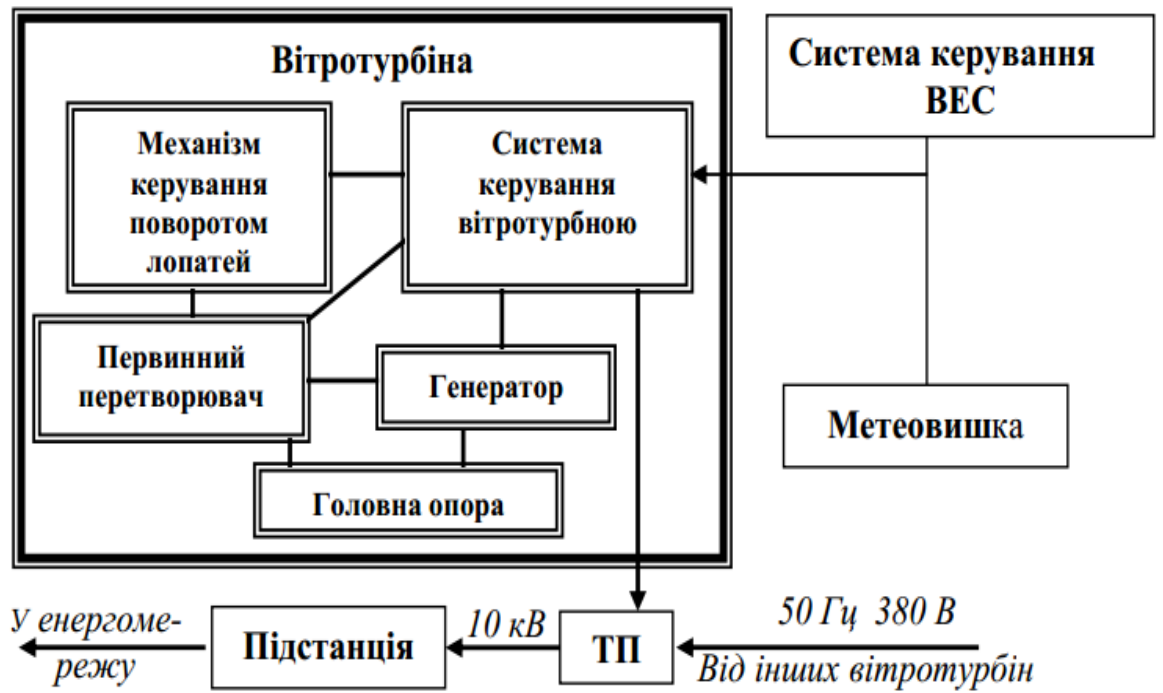


Рисунок 1.9 – Функціональна схема вітрової електричної станції

## **2 КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК**

Відновлювані джерела енергії це ті, відновлення яких постійно здійснюється в природі, і тому їх вистачить на мільйони чи навіть на мільярди років. Це, наприклад, сонячне випромінювання, вітер, біомаса, припливні хвилі чи термальні джерела.

Але у кожному випадку, в разі застосування відновлювані джерел енергії зростання енергоспоживання на Землі не порушує загальної теплової рівноваги і не спричиняє загального потепління. Ми не змінюємо кількість енергії, що надходить на Землю і йде з Землі. Перевага таких джерел енергії - вони не завдають шкоди природі.

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 в великій мірі залежить від пори року і погодних умов, що обумовлює 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 [19-27]. 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. Комбіновані системи беруть найкращі риси від кожного джерела енергії і забезпечують електроенергію потужністю від 1 кВт до декількох сотень кіловат (рис. 2.1). Вони можуть бути розроблені як новий інтегрований дизайн в невеликих системах розподілу електроенергії (міні-мереж), а також підживлюватися від енергосистем, заснованих на дизельному електроживленні.

Ними можуть також виконуватися функції резервного електропостачання в разі аварійного відключення традиційних мереж.

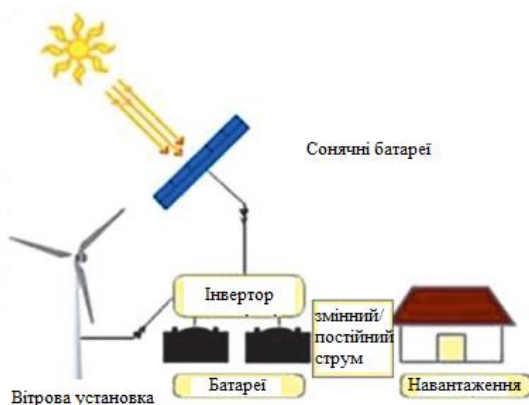


Рисунок. 2.1 – Загальна схема і вид комбінованої системи електропостачання на основі ВДЕ



Рисунок 2.2 – Схема комбінованої системи постійного струму

### 2.2.1 Принципи побудови комбінованих енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії

Комбіновані енергетичні системи найчастіше об'єднують кілька поновлюваних енергетичних джерел: сонячні батареї, міні-ГЕС та інші пристрої для акумулювання енергії, які переважно призначені для забезпечення об'єктів електричною енергією [19]. До складу системи можуть також входити джерела теплової енергії (біогазові установки, сонячні теплові колектори) і джерела на органічному паливі (дизель-генератори), які виконують роль резервного живлення. Технологічні зміни можуть бути класифіковані відповідно до виду напруги в мережі: постійного, змінного струму або змішані лінії [20]. Як видно з рис. 1.2, в комбінованій системі постійного струму всі компоненти з вироблення електричної енергії пов'язані з лініями постійного струму, від яких заряджаються батареї. Батареї повинні мати захист (контролер) від перезарядки і повного розряду. Напруга від джерел змінного струму (вітрогідротурбіни, дизель-генератора)

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 ж через додаткові конвертори для забезпечення необхідних характеристик змінного струму (актуально при з'єднанні системи з централізованою електромережею). В обох випадках двонаправлений інвертор контролює подачу енергії для зарядки акумуляторів, а також від акумуляторів на навантаження змінного струму. Навантаження постійного струму можуть забезпечуватися напругою від акумуляторів. Виходячи з особливостей роботи, комбіновані системи класифікуються як послідовні, що перемикаються, і паралельні [28]. У послідовних системах (рис. 1.3) акумулятори заряджаються від сонячного фотоелектричного модуля (в представленій конфігурації) або від дизель-генератора постійного струму (при відсутності сонячного випромінювання).

Від акумуляторів за допомогою інвертора живиться навантаження змінного струму. Система може працювати в ручному або автоматичному режимі при наявності сенсорів зарядки батарей і контролера включення дизель-генератора. Послідовна конфігурація системи має відносно просту схему і в даний час застосовується досить широко. До недоліків можна віднести часті перезарядки акумулятора, що призводить до скорочення його терміну служби, необхідність наявності батарей підвищеної ємності (для зменшення глибини розряду). Вихід з ладу інвертора призводить до повного відключення споживачів від мережі. В комбінованих системах, що перемикаються, змінна напруга споживачам може подаватися через інвертор від акумуляторів, відновлюваних джерел або від генератора змінного струму.

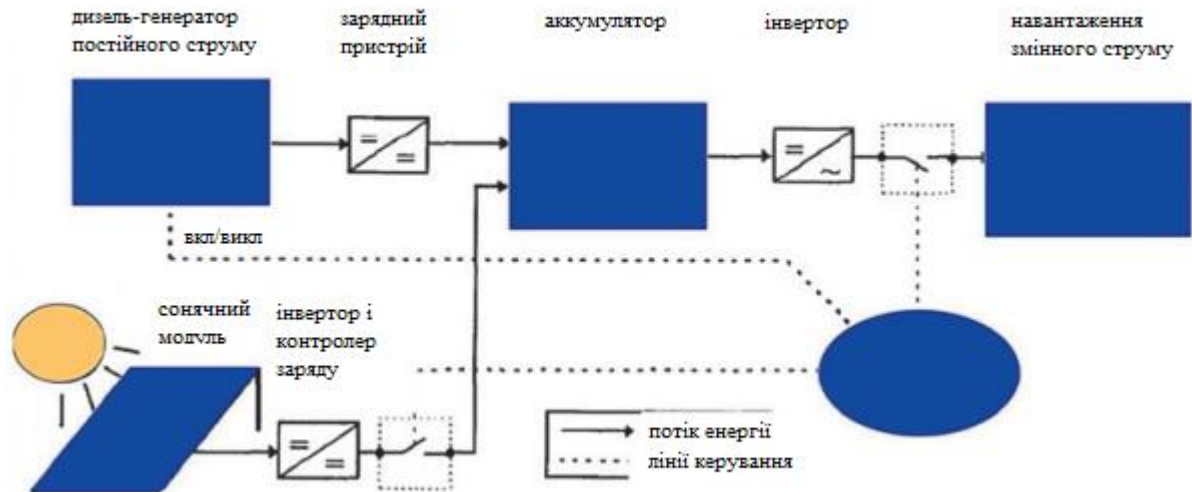


Рисунок 2.3 - Послідовна конфігурація комбінованої системи

Зарядка акумуляторів здійснюється від відновлюваних джерел або від дизель-генератора (через випрямляч). При роботі системи в автоматичному режимі контролери управління створюють необхідну конфігурацію системи, що дозволяє забезпечити безперебійне живлення споживачів і необхідний рівень заряду акумулятора. У порівнянні з послідовною, комбінована система, що перемикається має більшу надійність в енергозабезпеченні, але і велику складність. У паралельній конфігурації комбінованої системи є можливість подачі енергії незалежно кожним вхідним в систему джерелом (при малих і середніх навантаженнях), а також одночасно від всіх - при пікових навантаженнях. В останньому випадку потрібна синхронізація форми напруги на виході інвертора і 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

В даний час виділяється велика увага розробкам в області комбінованих систем фірмами, що працюють в галузі відновлюваної енергетики. З одного боку, комбіновані технології дозволяють вирішити проблему впливу погодних умов на стійке забезпечення енергією від ВДЕ, з іншого боку, вирішити задачу автономного енергозабезпечення об'єктів, віддалених від централізованих електричних і 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) [29]. 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 ° С (в звичайному сонячному колекторі температура досягає всього 60-70 ° С). 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.

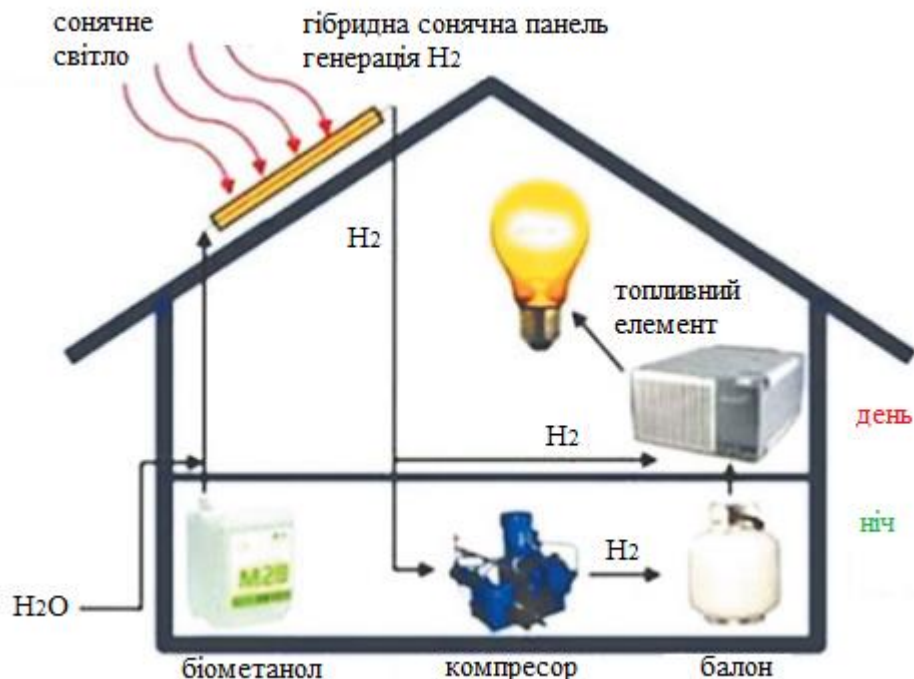


Рисунок 2.5 - Схема використання сонячного випромінювання для отримання водню

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 [19-26]. Зокрема, фірма «Ваш сонячний будинок» (SOLAiR) [27] 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 [25]. 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;
- акумулятори 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;
- високоякісні сонячні модулі 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 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

## 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 [30-31].

Однак, завдяки стохастичному та переривчастому характеру, різке зміни вітрової енергії призведе до проблем безпеки та стабільності в енергетичній мережі [32-33]. 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 [34-35]. У роботі [36] досліджуються стаціонарні обмеження на максимальну потужність вітряної електростанції. В роботах [37] та [38] враховується тимчасова стабільність енергетичної системи. Деякі алгоритми математичної оптимізації також широко використовуються для оцінки потужності вітру [38]. 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 [39].

Вітрова та сонячна енергія доповнюють різні часові шкали [40]. 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

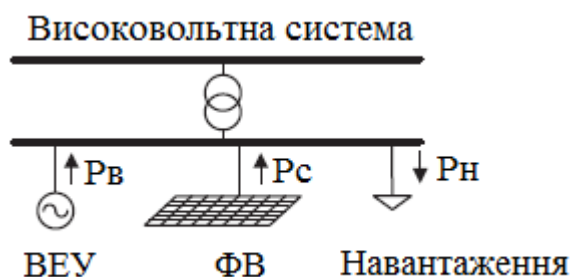


Рисунок 2.6 – Вітро-сонячна комбінована система електропостачання

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 вітро-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 [41, 42].

Щорічне середнє сонячне випромінювання схоже у всьому прибережному регіоні України. Середньорічне глобальне сонячне випромінювання у цьому регіоні складає 4,65 кВт / м<sup>2</sup> / 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 [43].

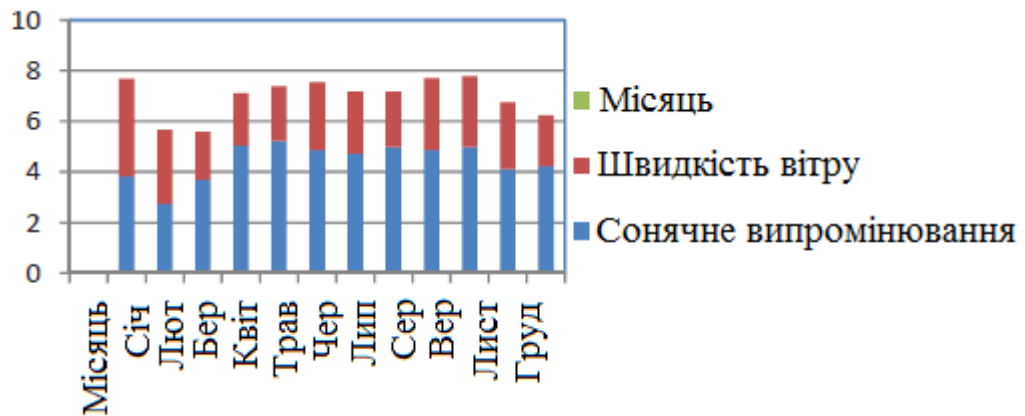
До цього часу розроблено кілька методів оптимізації комбінованої системи та програм моделювання. Внаслідок включення нелінійних компонентів з багатьма параметрами оптимізації, вирішення складних задач зосереджено на базі генетичних алгоритмів [44]. Для імітації комбінованої були розроблені комп'ютерні 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.

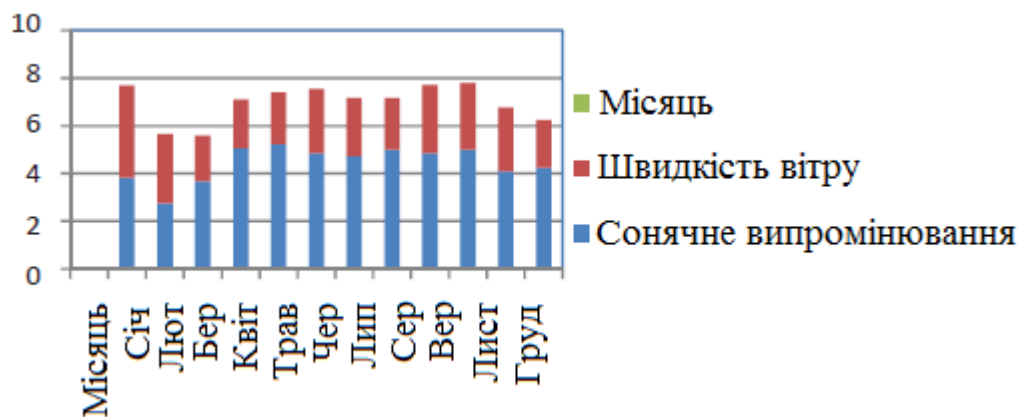
Вибір джерела енергії.



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 [34].



а) Одеська область



б) Херсонська область

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

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.



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

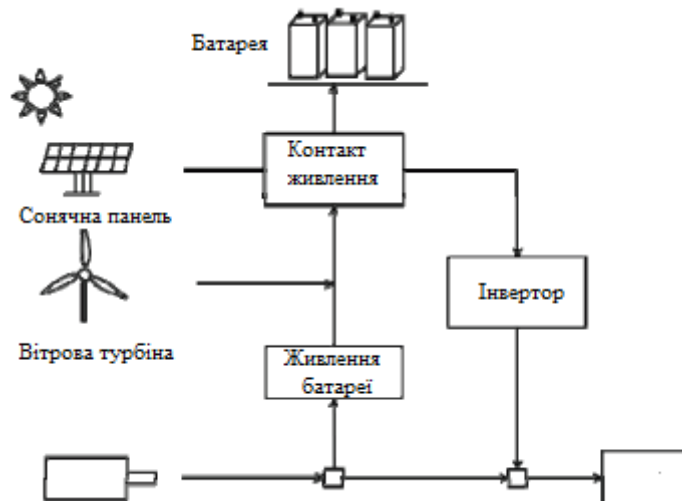


Рисунок 2.9 - Вітро-сонячно-дизельна комбінована система

### 2.3 Ефективність використання комбінованих систем

Для конкретного віддаленого поселення вартість різних варіантів поставки електроенергії буде варіюватися в залежності від специфіки місцевих умов, таких як обсяг споживаної потужності, розподіл навантаження, наявність відновлюваних джерел, ціни на паливо і транспортної мережі. Що стосується поновлюваних джерел енергії, то їх застосування в сільській місцевості, не дивлячись на більш високу вартість початкових капітальних вкладень, у багатьох випадках виявляється економічно вигідним, з огляду на низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування. Вирішальним фактором у прийнятті рішень є зміна ціни на вуглеводневі види палива і, отже, ціна палива на національному рівні. Різне підвищення вартості сирої нафти і триваюче виснаження цього ресурсу призводить до довгострокового обмеження в економічному розвитку в усьому світі. Комбіновані системи, засновані на ВДЕ, є незалежними від 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 за допомогою комбінованих систем, заснованих на ВДЕ, надає в цьому випадку більш дешевий і «дружній» для довкілля варіант. Підвищення надійності комбінованих систем, несуттєві втрати при

передачі енергії, раціональне її споживання і оптимальне використання місцевих ресурсів грають пріоритетну роль у виборі такого децентралізованого рішення. Комбіновані системи довели свою спроможність, і досвід їх використання у багатьох країнах (рис. 2.10) свідчить про перспективність таких рішень для сільської місцевості.

МГЕУ ім. А.Д. Сахарова планує в 2012 р будівництво на території УНК «Волма» - демонстраційного майданчика поновлюваних джерел енергії, енергоефективного будинку (котеджу) з його енергозабезпеченням за рахунок комбінованих технологій з подальшим створенням демонстраційного об'єкта з енергоефективного будівництва в сільській місцевості. Можна відзначити, що широке практичне застосування комбінованих систем буде в значній мірі залежати від випуску вітчизняного доступного за ціною обладнання (вітроустановок малої потужності, сонячних батарей і водонагрівальних колекторів, теплових насосів 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.



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

**Висновки до 2 розділу:** 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. Виходячи з цього ми маємо гарні можливості для ефективного використання такого типу обладнання на території України. Термін «ефективне використання» означає, що геліоустановка може працювати з віддачею в 50% і більше, а це 9 місяців в південних областях України (з березня по листопад), і 7 місяців - в північних областях (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи падає, але 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 [45], 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.

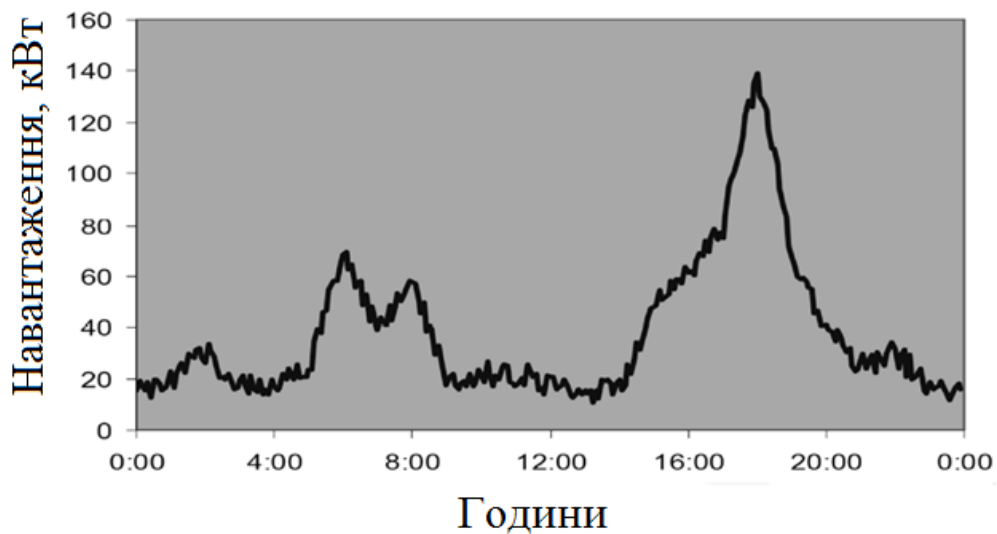


Рисунок 3.1 - Добовий графік електричних навантажень невеликого автономного поселення



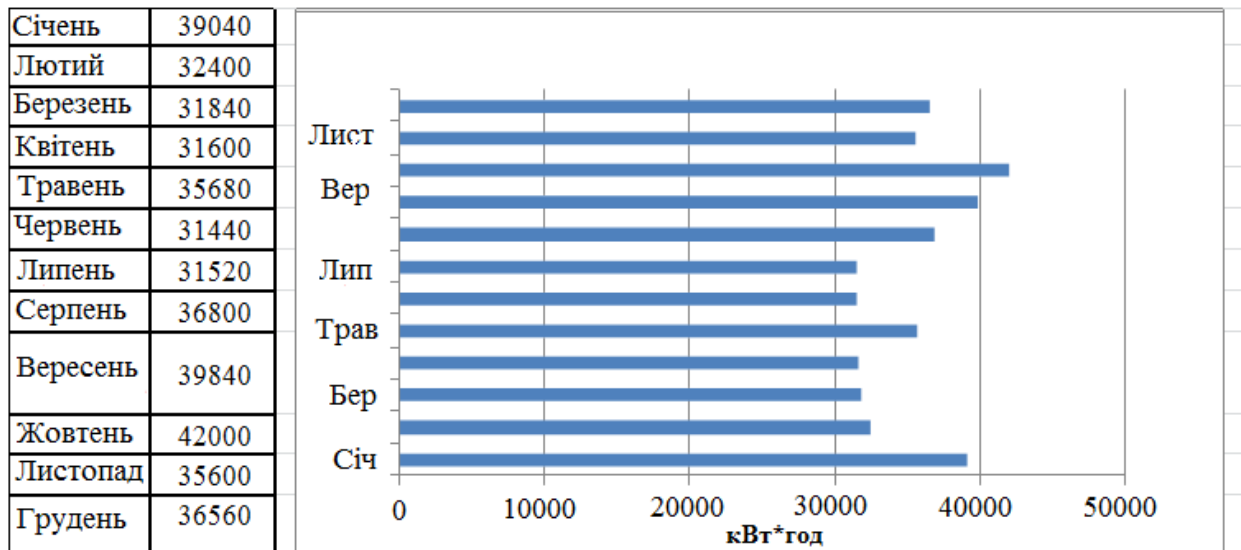


Рисунок 3.2 - Річний графік електричних навантажень об'єкта автономного електропостачання

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 [45]. 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;  
 $\beta$  - 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) [45], типовий для децентралізованих споживачів (рис. 3.3).

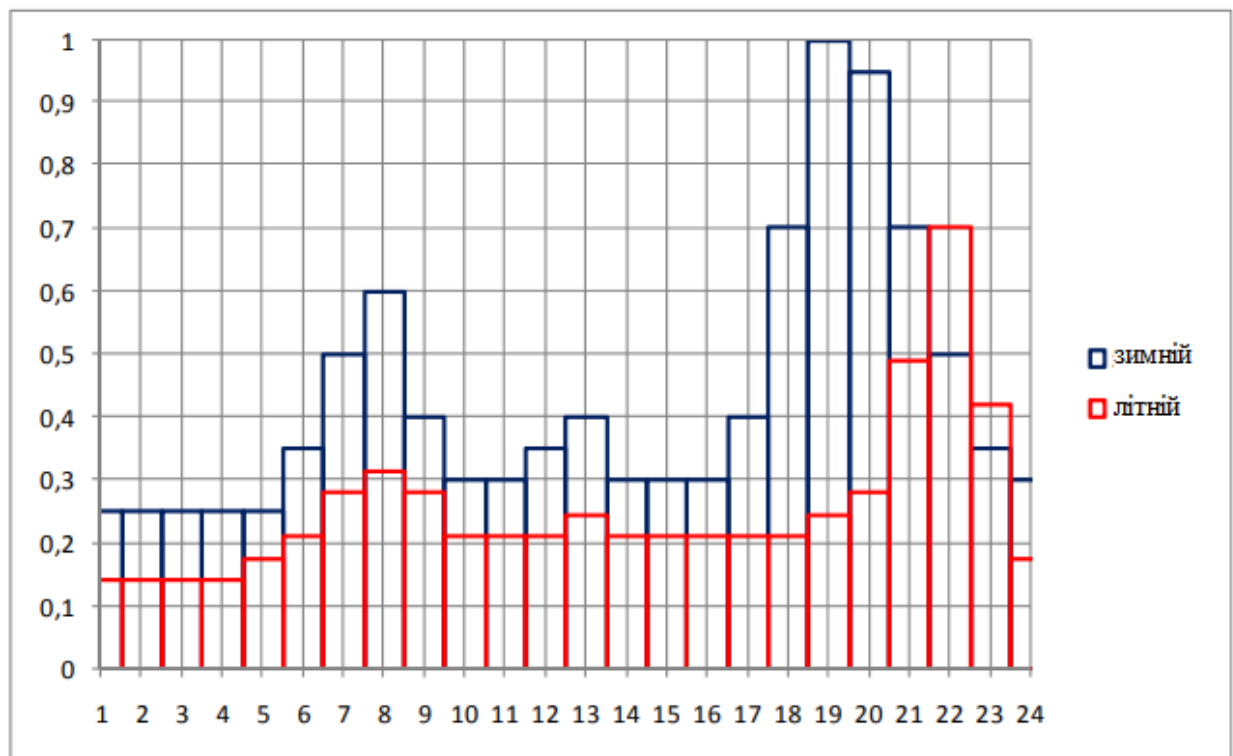


Рисунок 3.3 - Типові добові графіки навантаження децентралізованих споживачів

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

Вітроенергетичний потенціал визначається як повна енергія вітрового потоку будь-якої місцевості на певній висоті над поверхнею землі.

Енергія вітру характеризується швидкістю, яка є випадковою змінною в просторі і часі. Тому, енергетичні характеристики вітру представляються імовірнісним описом випадкового процесу зміни вітроенергетичного потенціалу. Основою ймовірнісного підходу є дискретизація тимчасового процесу, що дозволяє вважати незалежними і постійним всі обумовлені параметри на інтервалі дискретизації. В якості тимчасових інтервалів стаціонарності зазвичай використовується година, доба, сезон, рік. Сукупність аерологічних і енергетичних характеристик вітру об'єднується в вітроенергетичний кадастр регіону. Основними характеристиками вітроенергетичного кадастру є:

- середньорічна швидкість вітру, річний і добовий хід вітру;
- повторюваність швидкостей, типи і параметри функцій розподілу швидкостей вітру;
- вертикальний профіль середньої швидкості вітру;
- питома потужність і питома енергія вітру;
- вітроенергетичні ресурси регіону.

Для отримання достовірних даних по середніх швидкостях вітру території необхідно використовувати значні обсяги вимірювань протягом досить тривалого часу. У літературі [46] 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 досліджуваній 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.

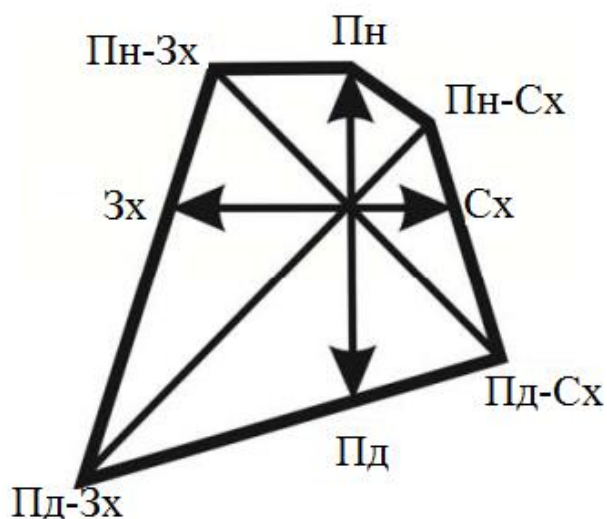


Рисунок 3.4 – Роза вітрів

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, переміщаються 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/м<sup>2</sup> 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  $800 \text{ Вт/м}^2$  влітку і  $200\text{-}350 \text{ Вт/м}^2$  взимку, зменшуючись практично до нуля із заходом Сонця.

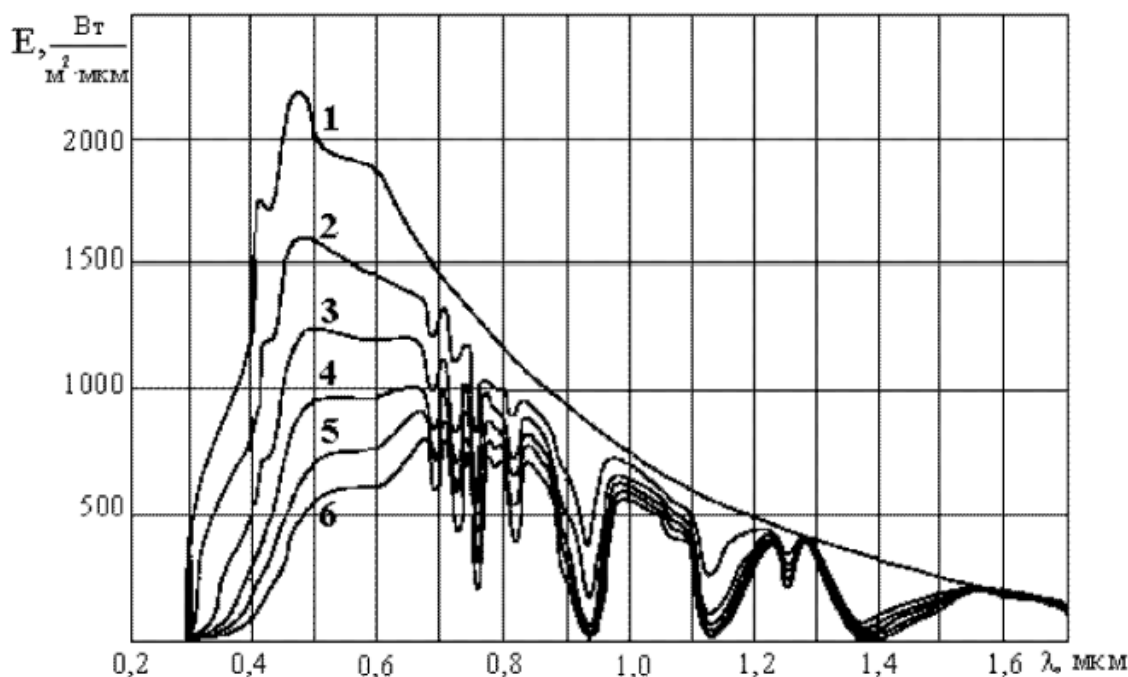


Рисунок 3.5 - Спектральний розподіл енергії сонячного випромінювання при різних значеннях атмосферної маси: 1 - AM0; 2 - AM1; 3 - AM2; 4 - AM3; 5 - AM4; 6 - AM5

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  $\alpha$  (кут висоти Сонця над горизонтом) залежністю  $m = (\sin \alpha)^{-1}$ . Рівень інтенсивності потоку сонячного випромінювання в навколосемному 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  $30^\circ$  - AM2 ( $m = 2$ ), і т.д.

Приблизний розподіл енергетичного потоку сонячного випромінювання з різних спектральним діапазонами має такий вигляд [38]:



- 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  $400 \text{ ТГц} < F < 750 \text{ ТГц}$ ) - 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 [47, 48].

### **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.

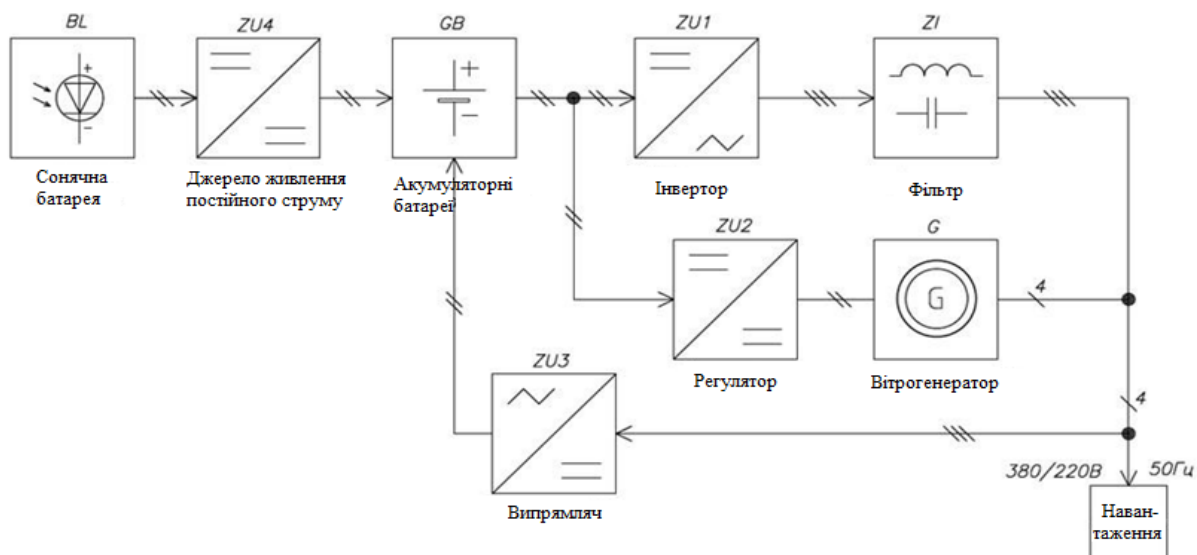


Рисунок 3.6 - Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 1)

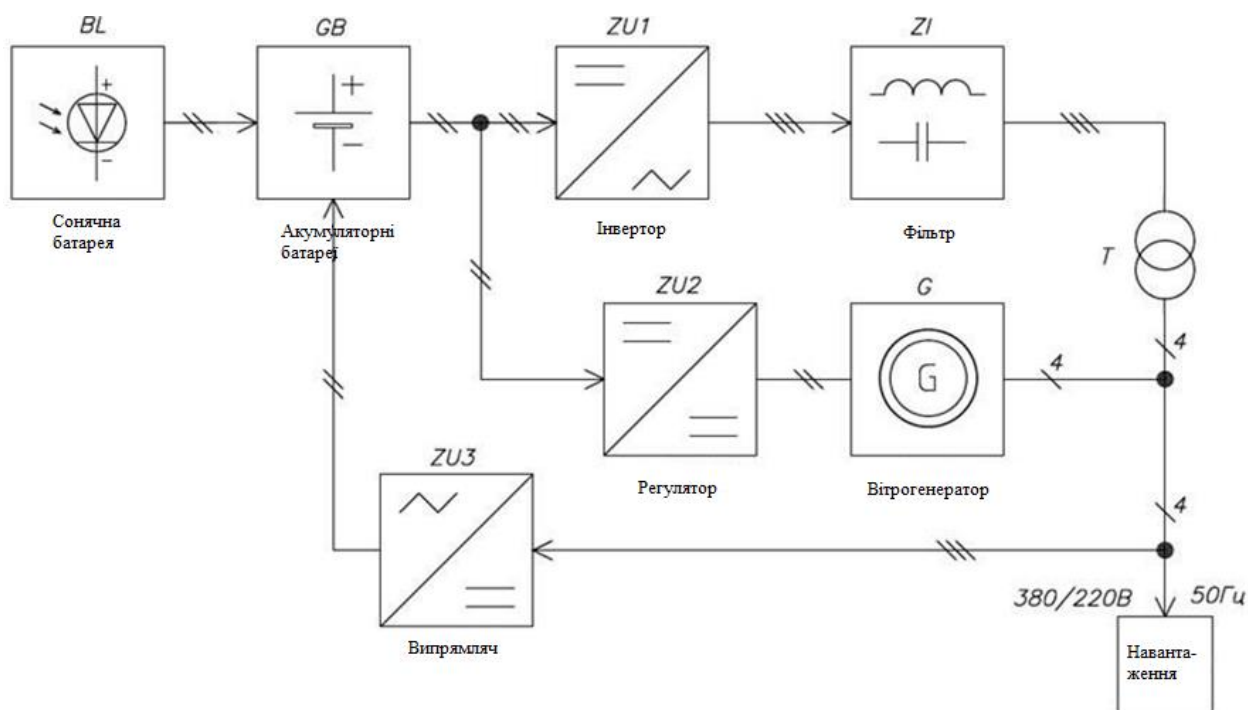


Рисунок 3.7 - Структура комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 2)

### 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 <sup>2</sup>	1,9

### 3.3.2 Акумуляторні батареї

Для забезпечення напруги в 380-400 В на виході інвертора необхідно на вхід подати 600 В. Таке можливо при послідовному з'єднанні 25 акумуляторних батарей по 24 вольта. Для більш тривалої роботи в автономному режимі без перебоїв живлення краще вибирати 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:

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

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

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

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:

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

Таблиця\_3.5 - Номінальні характеристики інвертора

Номінальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота з невеликим перевантаженням (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 ефективної 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	Тип - розмір
$I_{cont.max}$ А	$I_{max}$ (10 с), А		$P_{cont.max}$ , кВт	$I_N$ , А	$P_N$ , кВт	$I_{hd}$ , А			
$U_{ном} = 690$ В (діапазон 525 – 690 В)									
382	571	355	367	355	286	270	7	ACS800-107-0440-7	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 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВНИЦТВА КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК

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

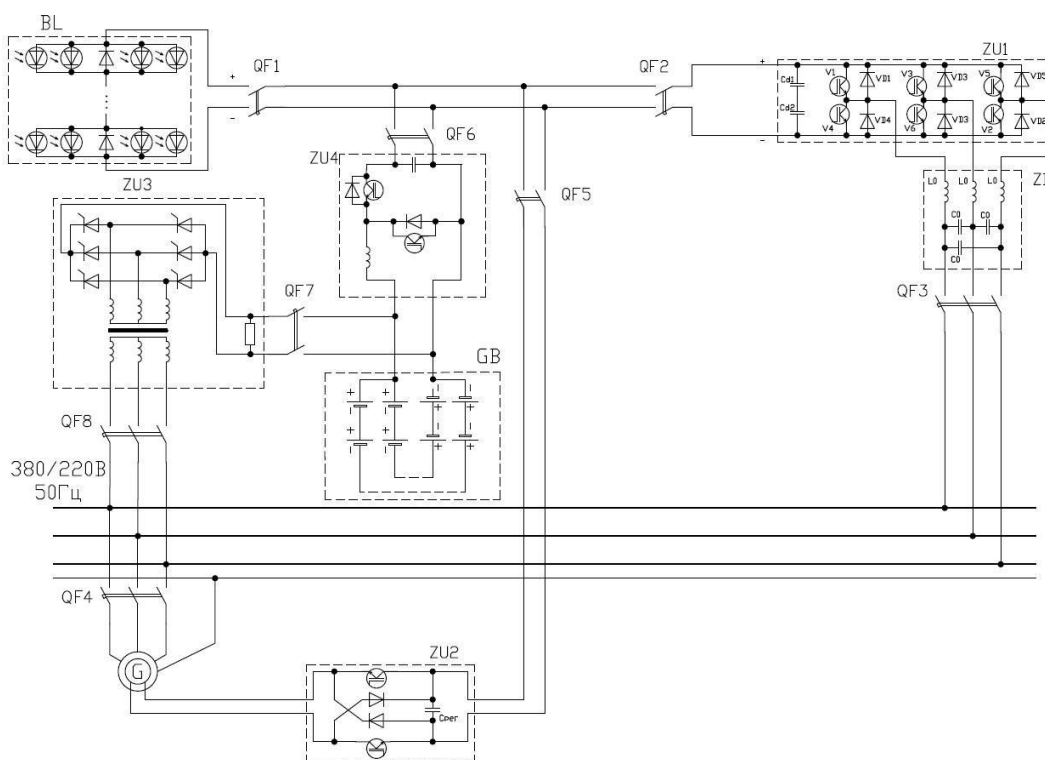


Рисунок 4.1 - Схема комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 1)

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

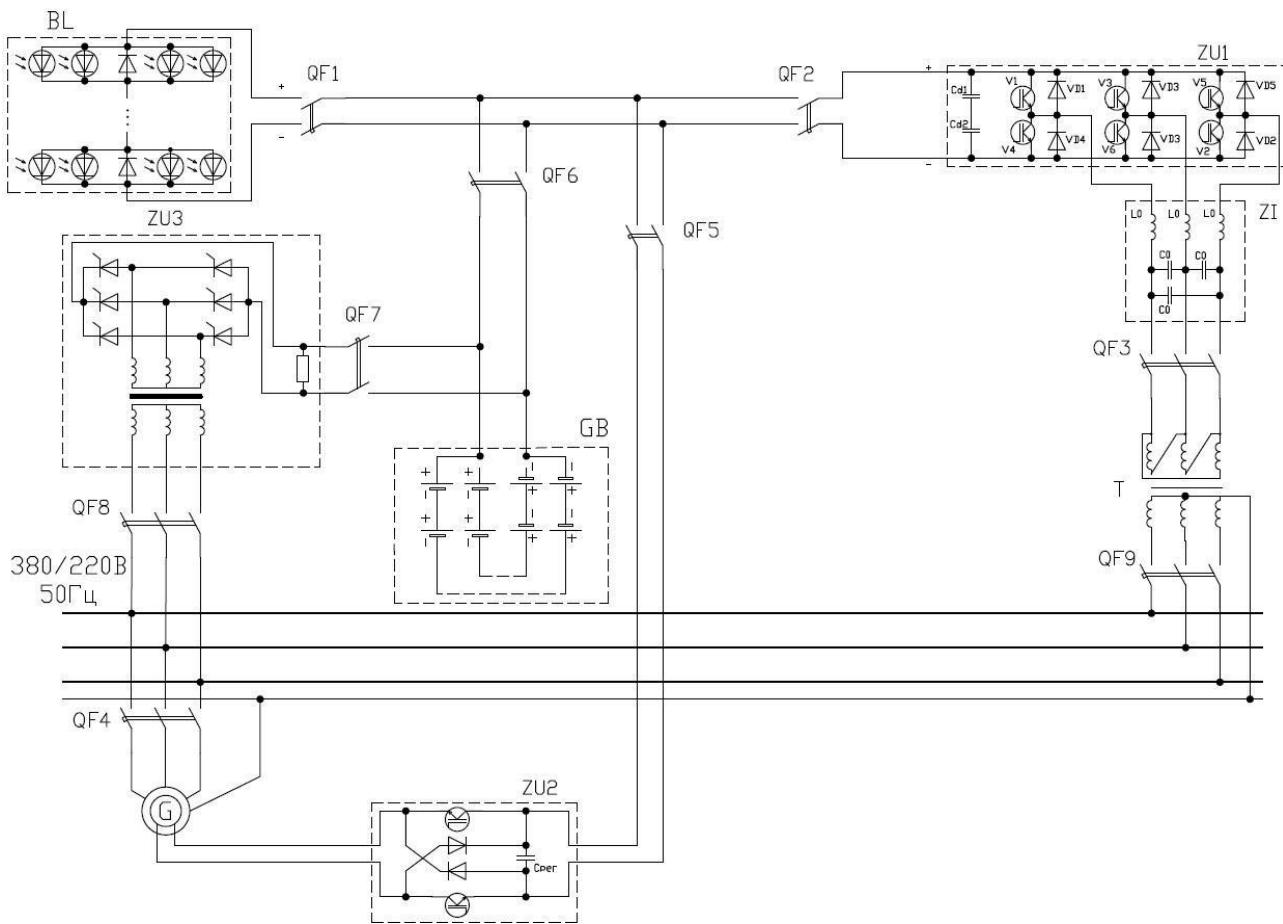


Рисунок 4.2 - Схема комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок (варіант 2)

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
<b>Всього</b>		<b>15 706 114,128</b>

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
<b>Всього</b>		<b>15 857 914, 128</b>

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);

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

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 може бути направлений в більшості випадків на скорочення бюджетних дотацій. Відповідно, говорити про прибутковість виробництва електроенергії в ізольованих системах електропостачання найчастіше не доводиться. Нормативний коефіцієнт рентабельності в таких ситуаціях доцільно вибирати виходячи з терміну 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:

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

Собівартість виробленої електроенергії:

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

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

Розрахунок 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.

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

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

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

3. Описати основні заходи протипожежного захисту вітроелектричних установок.



Початкові данні для рішення поставлених задач охорони праці використовуємо з попередніх розділів та підрозділів дипломної роботи: (указати 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. Оберткові 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.

На основі аналізу літературних джерел [50] та викладеного матеріалу при проектуванні і виконанні монтажних робіт вітряків повинні бути враховані наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори з урахуванням міждержавного нормативного документа з охорони праці ГОСТ 12.0.003-74 (додаток В)

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 %.

За [51] роботи по монтажу 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.

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, IDT)	чинний
14	ДСТУ ІЕС 61400-2-2001	Системи турбогенераторні вітрові. Частина 2. Безпечність малих вітрових турбін (ІЕС 61400-2:1996, IDT)	чинний
15	ДСТУ ІЕС 61400-11:2002	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11. Методика вимірювання акустичного шуму (ІЕС 61400-11:1997, IDT)	замінений
16	ДСТУ ІЕС 61400-11:2010	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11. Методика вимірювання акустичного шуму (ІЕС 61400-11:2006, IDT)	чинний
17	ДСТУ ІЕС 61400-12-2001	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 12. Випробування вітряних турбін для визначення енергетичних характеристик (ІЕС 61400-12:1998, IDT)	чинний
18	ДСТУ ІЕС/TS 61400-13-2003	Системи турбогенераторні вітряні. Частина 13. Вимірювання механічних навантаж (ІЕС TS 61400-13:2001, IDT)	чинний

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.

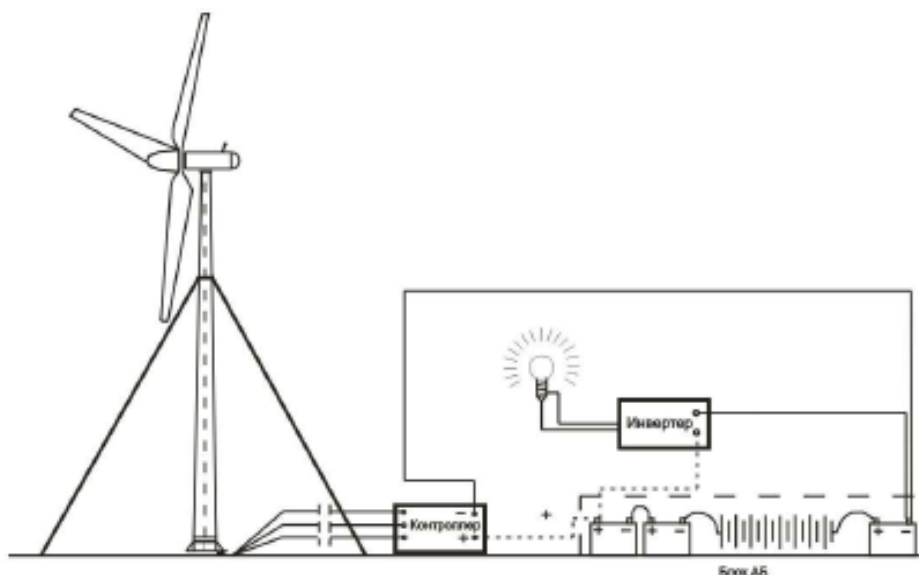


Рисунок 5.1 – Монтажна схема системи вітряка

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 [52].

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 ізольованою 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 заземлювальному пристрої.

Згідно з ПУЕ,  $R_d \leq 40$  Ом.

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

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

$$\rho_{ТАБЛ} = 60 \text{ Ом} \cdot \text{М},$$

$$K_c = 1,5, \quad (\text{табл. 3.13}).$$

$$\rho_{РОЗР} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом} \cdot \text{М}$$

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

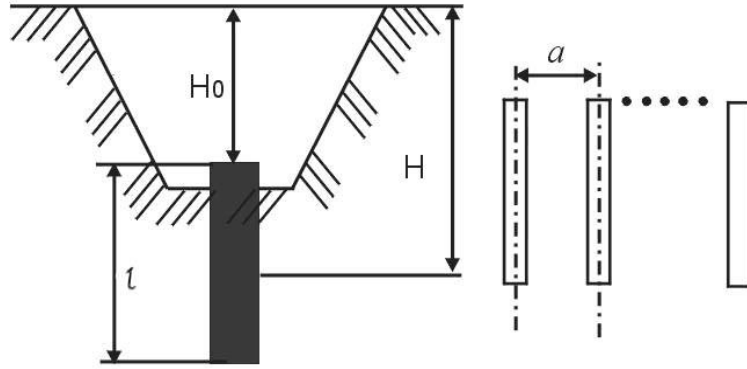


Рисунок 5.2 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

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

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

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

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

$$R_B = 126,6 \text{ Ом}.$$

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

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

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_B$  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:

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

Приймаємо  $n = 10$  шт.

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

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

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 за табл. 3.16 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  $\eta_{\Gamma}$ :

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

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 за табл. 3.1.

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

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  $100 \text{ мм}^2$ .

Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою вітрогенератора в

програмі Mathcad (відповідно прикладу 3.4) наведено у додатку Б .

### **5.3 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 [50] та діючих нормативів з пожежної безпеки України [51].

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.

#### **5.4 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.

#### **5.4.1 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 5.3.

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

Таблиця 5.3 – Граничні дози для елементів ГЕС

№	Елементи комбінованої електростанції	$D_{грi,P}$	$D_{гр,P}$
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.

$$D_{ем} = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}} [P]; \quad (5.1)$$

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

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

Визначаємо допустимий час роботи елементів ГЕС:

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

$$t_{доп} = \left( \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt{t_p}}{2 \cdot p_{1max}} \right)^2; \quad (5.2)$$

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

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

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

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

#### 5.4.2 Дослідження стійкості роботи комбінованих електричних станцій в умовах дії електромагнітного імпульсу

Напруга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{c(\theta)} = E_{\theta} \cdot l_{c(\theta)}, \quad ; \quad (5.3)$$

де  $E_{\theta}$  – величина електромагнітного імпульсу (кВ/м);

$l_z$  – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи (м),

$l_{\theta}$  – довжина вертикальної струмопровідної частини системи (м).

Розрахуємо  $U_{\Gamma}$  для трансформаторів та вимикачів:

$$E_B = 10,16 \text{ кВ / м}$$

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

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

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

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:



$$K_{\text{б}} \geq 40 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки горизонтальної і вертикальної складової блоків:

$$K_{\text{бв(г)}} = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{в(г)}}} \right); \quad (6.14)$$

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

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

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

Так як для трансформатора і вимикача  $K_{\text{бз}} < 40$  дБ, то обладнання не буде працювати стійко.

Для збільшення стійкості слід застосувати екранування. Перехід незатухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \text{ [дБ]}, \quad (5.4)$$

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:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.5)$$

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:

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

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

Розрахуємо  $U_B$  для контактора

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

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 не стійко.

Розрахуємо  $U_B$  для генератора:

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

Визначаємо коефіцієнти безпеки для генератора:

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

Результати зведемо у таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків

Елементи комбінованих електричних станцій	$U_T$ , кВ	$U_B$ , кВ	$K_{6B}$ , дБ	$K_{6T}$ , дБ	Товщини захисного екрану, см
Трансформатор ТД Ц-80000/110	218288	3,048	94	17,168	0,05
Контактор КМ 150	8128	4,064	84,2	13,5	0,15
Генератор СВ430/2 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.

## 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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев Б.А. Возобновляемые источники энергии за рубежом /Энергетика за рубежом. Приложение к журналу «Энергетик». – 2005. – Вып. 2. – С. 33–42.
2. Дослідження тенденцій розвитку вітроенергетики в Європі і в Україні С. Кудря, Б. Тучинський, В. Дресвянников, З. Рамазанова /Вітроенергетика України. – 2004. – № 1–2. – С.4–7.
3. Клавдиенко В.П., Тарасов А.П. Нетрадиционная энергетика в странах ЕС: экономическое стимулирование развития. – М.: Наука, 2006. – С. 42–46.
4. Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost effective solutions for rural electrification. Alliance for rural electrification, 2010, 9p.
5. Hybrid Power Plant [Electronic resource] // Enetrage. – 2012.
6. Електронний ресурс: <https://rentechno.ua/ua/solar.html>.
7. Електронний ресурс : <https://futurum.today/alternatyvna-enerhetyka-dzherela-enerhii-maibutnoho/>.
8. Електронний ресурс: <http://rener.com.ua/news/206>
9. Електронний ресурс: <http://www.evd.com.ua/novyny/14-soniachni-perspektyvy>.
10. Електронний ресурс: <https://uare.com.ua/novyny/575-sonyachni-perspektivi.html>.
11. Електронний ресурс: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>.
12. Naked Science. Научно-популярный портал– Режим доступа: <http://naked-science.ru/comment/reply/4360>.
13. Electric info. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-ustroeny-i-rabotayut-solnechnye-batarei.html>.
14. Електронний ресурс: <http://www.solnechnye.ru/batareya/vybor-solnechnoy-batarey.htm>

15. Електронний ресурс: <http://birdlife.org.ua/Perevagi-i-nedoliki-vitroenergetiki>.

16. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Циленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

17. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. - К.: ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.

18. Підвищення ефективності та використання відновлювальних джерел енергії в республіці Білорусь / Мінськ. Департамент з енергоефективності Державного комітету по стандартизації Республіки Білорусь, 2011, 8с.

19. ТОВ «ЕкоГруп». Портал по будівництву інженерних систем, альтернативній енергетиці [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ecogroup.com.ua/spravochnik/elektrosnabzhenie/gibridnye-sistemy/2011>

20. ТОВ «POLYSET» [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.polyset.kz/?p=1418#more-1418.2009-2012>.

21. Вітрові електростанції [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://viter.com.ua/energiya-vetra-i-solnca-v-ukraine-prakicheskij-primer-190.html>.

22. Альтернативна енергетика [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://alternativenergy.ru/vetroenergetika/117-shema-vetrogeneratora.html>.

23. Синтезгаз. Альтернативна енергія [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://sintezgaz.org.ua/2\\_articles\\_pro/35/gibridnye-energoberegayushchie-sistemy](http://sintezgaz.org.ua/2_articles_pro/35/gibridnye-energoberegayushchie-sistemy).

24. «Ecoteco» Ecology, Technologies, Economics [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ecoteco.ru/id311/>.

25. SOLAiR. Сонячна енергетика [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://solair.ru/indexphp/2011-03-31-09-09-07/41-hybridpos>.

26. ТОВ «ТеплоЕнергоСервіс-Пермь» [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.tesperm.com>

27. ТОВ «Балтелектронкомплект» [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://alternative-energy.spb.ru/prog\\_gibrid.html](http://alternative-energy.spb.ru/prog_gibrid.html).

28. Hybrid Renewable Energy Systems for the Supply of Services in Rural Settlements of Mediterranean Partner Countries. Agricultural University of Athens, 2004. 78p.

29. Newsmake [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://newsmake.net/news/gibridnaya-solnechnaya-enetgosistema-na-vodorode-s-kpd-285>.

30. 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.

31. W. Wangdee and R. Billinton, «Considering load-carrying capability and wind speed correlation of WECS in generation adequacy assessment», IEEE Trans. Energy Convers., vol.21, no.3, pp. 734-741, Sep. 2006.

32. D. Gautam, V. Vittal, and T. Harbour, «Impact of increased penetration of DFIG-based wind turbine generators on transient and small signal stability of power systems», IEEE Trans. Power Syst. vol.24, no. 3, pp. 1426-1434, Aug. 2009.

33. 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.

34. J. Wiik, J.O. Gjerde, T. Gjengedal, and M. Gustafsson, «Steady state power system issues when planning large wind farms» in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet., vol.1, pp. 366-371, 2002.

35. H.W. Zaininger, and D.J. Bell, «Potential dynamic impacts of wind turbines on utility systems», IEEE Trans. Power App. Syst., vol. 100, no. 12, pp 4821-4829, Dec. 1981.

36. 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.
37. Y.Z. Lei, W.S. Wang, Y.H. Yin, and H.Z. Dai, «An optimization for determining wind power penetration limit in power system», Proceedings of the CSEE, vol. 21, no. 6, pp. 25-28, Jun. 2001.
38. G.Q. Zheng, H. Bao, and S.Y. Chen, «Amending algorithm for wind farm penetration optimization based on approximate linear programming method», Proceedings of the CSEE, vol.22, no. 10, pp. 68-71, Jun. 2004.
39. Y.Z. Lei, W.S. Wang, Y.H. Yin, «Wind power penetration limit calculation based on chance constrained programming», Proceedings of the CSEE, vol. 22, no. 6, pp. 32-35, May. 2002.
40. J. Widen, «Correlations between large-scale solar and wind power in a future scenario for Sweden», IEEE Trans. Sustain. Energy, vol.2, no. 2, pp. 177-184, Apr. 2011.
41. 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.
42. Nehrir, M.H., C. Wang, K. Strunz, H. Aki, R. Ramakumar, J. Bing, Z. Miao, and Z. Salameh, «A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: configurations, control, and applications», Sustainable Energy, IEEE Transactions, pp. 392-403, 2011.
43. Shezan, S.K.A., R. Saidur, A. Hossain, W.T. Chong, and M.A. Kibria, «Perfomance 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.
44. Goldberg, D.E., «Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison», Wesley Publishing Company, p. 9, 1989.
45. Будзко І.А. Електропостачання сільського господарства / І.А. Будзко // М.: Колос. – 2000. С. 536.



46. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации / С.И. Сивков // Л.: Гидрометеиздат. – 1968. С. 82-23.

47. Информационно-технологическое обеспечение интегрированных систем малой энергетики в сфере электро- и теплоснабжения. Отчет о НИР // Институт систем энергетики им. Л.А. Меленцева Сибирского отделения РАН. – Иркутск. – 2011. С. 569.

48. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. Монография / Б.В. Лукутин // М.: Энергоатомиздат. – 2008. С. 231.

49. Режим доступа: <http://energystock.ru/vetroelektrostantsii.html>.

50. Жидецкий В. Ц. «Основи охорони праці» - Львів Афіша, 2002 – 320 с.

51. Желібо Є. П. Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності.

52. Навчальний посібник. / За ред. Желібо Є. П. 4-е видання. – К.; Каравела, 2004. –328 с.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д-р техн. наук., проф. Лежнюк П. Д.  
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.) (підпис)

" " 2019 р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 500 КВТ НА ОСНОВІ  
СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ УСТАНОВОК  
08-13.МКР.007.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к. т. н., доцент

Малогулко Ю.В.

(підпис)

Магістрант групи ЕСМ-18м

Клос М.П.

(підпис)

Вінниця 2019 р.

### **1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) і**

а) а) актуальність досліджень обумовлена тим, що пошук шляхів підвищення ефективності відновлювальних джерел енергії є важливим, з огляду на виснаження традиційних паливних джерел енергії.

б) наказ ректора ВНТУ № 254 від 02 жовтня 2019 р. про затвердження тем магістерської кваліфікаційної роботи.

### **2. Мета і призначення МКР**

а) 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. 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. Клавдиенко В.П., Тарасов А.П. Нетрадиционная энергетика в странах ЕС: экономическое стимулирование развития. – М.: Наука, 2006. – С. 42–46.
3. Hybrid power systems based on renewable energies: a suitable and cost effective solutions for rural electrification. Alliance for rural electrification, 2010, 9p.
4. 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.
5. M. Ding, W.S. Wang, XL. 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.

#### 4. Технічні вимоги до виконання МКР

Електротехнічне обладнання, що має бути встановленим на еклектичній 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	17.09.19	20.09.19	формування технічного завдання
2	Вступ. Аналіз літературних джерел з теми проектування атомних електричних станцій.	21.09.19	24.09.19	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Визначення стану та розвитку сонячної та вітрової енергетики	25.09.19	15.10.19	розділ 1
4	Аналіз комбінованих систем електропостачання на основі сонячної та вітрової установок	15.10.19	25.10.19	розділ 2
5	Аналіз основних показників робочих режимів комбінованої на основі сонячної та вітрової установок	26.10.19	30.10.19	розділ 3
6	Розрахунок показників економічної ефективності будівництва комбінованої електростанції на основі сонячної та вітрової установок	23.11.18	26.11.19	розділ 4
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, оформлення пояснювальної записки	27.11.19	03.12.19	розділ 5
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	04.12.19	10.12.19	Презентація

## **7. Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, відгук наукового керівника, відгук рецензента, 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 кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті (БДР (БД), ДП (ДР), МКР)», 2015 р.

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

Відсутні.