# МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**036. МР. 310-С. 2019. 10. 15. 016. ПЗ**

**Михальчука Владислава Богдановича**

**2020**

Форма № Н-9.02

Відокремлений підрозділ
Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

Факультет енергетики та електротехніки

Кафедра енергетики і автоматики

# Пояснювальна записка

**до магістерської роботи**

Освітній ступінь – **магістр**

на тему: **Удосконалення системи електрозабезпечення ФГ «Плеяда» с. Цуцилів Надвірнянського району Івано-Франківської області з використанням вітроенергетичних установок**

Виконав: студент VI курсу, групи Е-61М
Галузі знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
**Михальчук В.Б.**

Керівник: **к.т.н., ст.викл. Потапенко М.В.**

Рецензент: _____

Бережани – 2020 року

Форма № Н-9.01

Відокремлений підрозділ

Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»
Факультет енергетики та електротехніки
Кафедра енергетики і автоматики
Освітній ступінь – магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
**Завідувач кафедри енергетики і автоматики**
**_____доц. Василь РАМШ**
“____” _____20___року

# З А В Д А Н Н Я № 16

## НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

*Михальчуку Владиславу Богдановичу*

Тема роботи: **Удосконалення системи електрозабезпечення ФГ «Плеяда» с. Цуцилів Надвірнянського району Івано-Франківської області з використанням вітроенергетичних установок**

науковий керівник роботи *к.т.н., ст.викл. Потапенко М.В.*

затверджені наказом закладу вищої освіти від “15” жовтня 2019 р. №310-С

Строк подання студентом роботи _____

**Вихідні дані**

- *матеріали обстеження господарства;*
- *електрична схема мережі фермерського господарства;*
- *план розміщення об’єктів;*
- *технічні характеристики вітрогенератора.*

**Зміст розрахунково-пояснювальної записки**

ВСТУП
РОЗДІЛ 1. ВИРОБНИЧО – ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА
1.1. Аналіз виробничо-господарської діяльності фермерського господарства
1.2. Вибір загальної схеми мережі живлення
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
2.1. Вітроенергетика
2.2. Типи вітроенергетичних установок та їх особливості
2.2.1. Основні типи ВЕУ
2.2.2. Основні типи горизонтально-осьових турбін
2.2.3. Загальна характеристика вертикально-осьових вітроприймачів
2.3. Розрахунок і вибір вітрогенератора
2.4. Система автоматичного обмеження оборотів вітроколеса
РОЗДІЛ 3. СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРА
3.1. Вибір випрямляча напруги
3.2. Вибір і розрахунок акумуляторних батарей

3.3. Контроль заряду-розряду акумуляторів
3.4. Інвертори напруги
3.4.1. Методи технічної реалізації інверторів напруги і особливості їх роботи
3.4.2 Типові схеми інверторів напруги
3.4.3. Принцип побудови інверторів
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО ВВОДУ РЕЗЕРВУ
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА ВЕУ
5.1. Розробка імітаційної моделі вітроенергетичної установки
5.2. Розробка моделі керуючого контролера ВЕУ
5.3. Розробка схеми універсального керуючого контролера ВЕУ
РОЗДІЛ 6. ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ
7.1. Аналіз системи управління охороною праці в ФГ «Плеяда»
7.2. Техніка безпеки при монтажі ВЕУ
7.3. Заходи з безпеки праці під час експлуатації вітроенергетичної установки
7.4. Техніка безпеки при монтажі і експлуатації системи стабілізації
7.5. Безпека в надзвичайних ситуаціях
РОЗДІЛ 8. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ
ВИСНОВКИ
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

**Консультанти розділів**

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| розділ 7 | доцент Рамш В.Ю. | | |
| розділ 8 | доцент Христенко Г.М. | | |

Дата видачі завдання 16 жовтня 2019 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Вступ, огляд літератури, Розділ 1 | 17.10.19-30.11.19 | |
| 2. | Розділ 2 | 01.12.19-31.12.19 | |
| 3. | Розділ 3 | 01.01.20-31.01.20 | |
| 4. | Розділ 4 | 01.02.20-31.03.20 | |
| 5. | Розділ 5 | 01.04.20-31.05.20 | |
| 6. | Розділ 6 | 01.06.20-30.06.20 | |
| 7. | Розділ 7 | 01.09.20-20.09.20 | |
| 8. | Розділ 8 | 21.09.20-11.10.20 | |
| 9. | Оформлення магістерської роботи, підготовка презентації, подання роботи для перевірки на наявність плагіату, підготовка до попереднього та основного захисту | 12.10.20-15.11.20 | |

**Магістрант _____ Владислав МИХАЛЬЧУК**

**Науковий керівник роботи _____ Микола ПОТАПЕНКО**

# РЕФЕРАТ

Випускна магістерська робота: 98 с., 33 рис., 9 табл., 35 джерел.

Метою роботи є удосконалення системи електрозабезпечення ФГ «Плеяда» за рахунок використання вітроенергетичних установок.

Об'єктом дослідження є процес отримання електроенергії за допомогою вітроенергетичної установки.

Предметом дослідження - параметри та способи керування роботою вітроенергетичною установкою.

Проведено аналіз виробничо-господарської діяльності фермерського господарства. Для удосконалення системи енергозабезпечення фермерського господарства запропоновано впровадження альтернативного джерела енергії – вітроенергетичної установки.

Розглянуто характеристики та особливості застосування ВЕУ різних типів. Проведено розрахунок і вибір вітрогенератора.

Для системи стабілізації вихідних параметрів вітрогенератора проведено вибір випрямляча напруги, АКБ, інвертора напруги.

Детально розглянуто питання розробки і дослідження універсального контролера ВЕУ. В MATLAB/Simulink розроблено імітаційну модель вітроенергетичної установки та керуючого контролера. На основі структурної схеми побудовано схему електричну принципову керування універсальним контролером.

Запропонований контролер ВЕУ забезпечує її роботу за заданим алгоритмом з високою продуктивністю в широкому діапазоні зміни швидкостей вітру.

Розглянуто питання організації технічної експлуатації вітроенергетичних установок. Розроблені заходи з охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження у ФГ «Плеяда» системи автономного електропостачання з використанням вітроенергетичних установок.

# ЗМІСТ

ВСТУП…….6
РОЗДІЛ 1 ВИРОБНИЧО – ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА…….10
1.1 Аналіз виробничо-господарської діяльності фермерського господарства……...……10
1.2 Вибір загальної схеми мережі живлення…….……...……12
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК....15
2.1 Вітроенергетика…….……...…15
2.2 Типи вітроенергетичних установок та їх особливості…….……...…..18
2.2.1 Основні типи ВЕУ…….……..……18
2.2.2 Основні типи горизонтально-осьових турбін…….……..……21
2.2.3 Загальна характеристика вертикально-осьових вітроприймачів…...…24
2.3 Розрахунок і вибір вітрогенератора……...……27
2.4 Система автоматичного обмеження оборотів вітроколеса…….……..32
РОЗДІЛ 3 СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРА……36
3.1 Вибір випрямляча напруги…….……..……36
3.2 Вибір і розрахунок акумуляторних батарей…..……..……39
3.3 Контроль заряду-розряду акумуляторів…….……..……..41
3.4 Інвертори напруги…….……...……42
3.4.1 Методи технічної реалізації інверторів напруги і особливості їх роботи…….……43
3.4.2 Типові схеми інверторів напруги……..……44
3.4.3 Принцип побудови інверторів…….……..46
РОЗДІЛ 4 ВИБІР ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО ВВОДУ РЕЗЕРВУ..…..…49
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА ВЕУ…….....52
5.1 Розробка імітаційної моделі вітроенергетичної установки…….……..…52
5.2 Розробка моделі керуючого контролера ВЕУ…….…...……54

5.3 Розробка схеми універсального керуючого контролера ВЕУ…….……60
РОЗДІЛ 6 ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК……72
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ……..….78
7.1 Аналіз системи управління охороною праці в ФГ «Плеяда»…….…..…78
7.2 Техніка безпеки при монтажі ВЕУ…….……80
7.2.1 Механічні джерела небезпеки……...……80
7.2.2 Електричні джерела небезпеки…….……80
7.3 Заходи з безпеки праці під час експлуатації вітроенергетичної установки……81
7.4 Техніка безпеки при монтажі і експлуатації системи стабілізації…..…..…83
7.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях…….…….……84
РОЗДІЛ 8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ……..…….……87
ВИСНОВКИ……...……93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……...……96

# ВСТУП

Відновлювана енергія - енергія з джерел, які за людськими масштабами є невичерпними. Поновлювану енергію отримують з природних ресурсів, таких як: сонячне випромінювання, вітер, припливи і геотермальна теплота, які є невичерпними і поповнюються природним шляхом.

На Землі вітер є потоком повітря, який рухається переважно в горизонтальному напрямку. Його класифікують за масштабами, швидкістю, видам сил, місць розповсюдження і впливу на навколишнє середовище. Рух повітря виникає в результаті нерівномірного розподілу атмосферного тиску і спрямований від зони високого тиску до зони низького тиску. Внаслідок безперервної зміни тиску в часі і просторі швидкість і напрям вітру постійно змінюються. З висотою швидкість вітру змінюється через зменшення сили тертя. Багаторічні спостереження за напрямком і силою вітру зображують у вигляді графіка - рози вітрів. Класифікують вітри, в першу чергу, за їх силою, тривалістю та напрямком. Таким чином, поривами прийнято вважати короткочасні (декілька секунд) і сильні переміщення повітря. Сильні вітри середньої тривалості (приблизно 1 хвилина) називаються шквалами. Найменування більш тривалих вітрів залежать від сили, наприклад, такими є бриз, буря, шторм, ураган, тайфун. Тривалість вітру також сильно варіюється. Деякі грози можуть тривати кілька хвилин, бриз, який залежить від різниці нагрівання особливостей рельєфу протягом доби, триває кілька годин, глобальні вітри, викликані сезонними змінами температури - мусони - мають тривалість декілька місяців, тоді як глобальні вітри, викликані різницею в температурі на різних широтах, дмуть постійно і називаються пасати. Мусони і пасати є вітрами, з яких складається загальна та місцева циркуляція атмосфери.

Сьогодні широкої популярності набувають пристрої перетворення кінетичної енергії вітру в електричну - вітрогенератори. В даний час вітроелектричні генератори є найбільш зручним і доступним для користування альтернативними джерелами енергії. Вітроелектричні установки використовується для забезпечення автономним живленням - електроенергією

різних побутових і спеціальних промислових споживачів при відсутності центрального електропостачання або його нерегулярної подачі.

Основна увага приділяється вітроенергетичним установкам (ВЕУ) середньої і великої потужності в складі мереж розподілу і передачі електроенергії.

Перевагами вітрової енергетики є:

– низька собівартість – вітроенергетика може конкурувати з ядерною, вугільною та газовою енергетикою;

– нульова вартість паливної складової, джерело енергії невичерпне і присутнє в необмеженій кількості;

– екологічно прийнятна енергетика – виробництво енергії не супроводжується викидами двоокису вуглецю;

– вітроенергетика не має ризиків, пов'язаних із нестабільністю цін на викопне паливо;

– надійність поставок – вітроенергетика дозволяє уникнути залежності від імпорту енергоресурсів;

– модульний дизайн, швидкий монтаж;

– електропостачання за обсягами порівнянне з традиційними способами генерації;

– вітроенергетика не заважає веденню сільського господарства і промислової діяльності поблизу вітростанцій.

Актуальність роботи полягає в розробці та впровадженні альтернативного джерела енергії - вітроустановки для отримання електроенергії. Більшість вітроенергетичних установок має ряд недоліків, як наприклад шум та інфразвук, які також приносять шкоду навколишньому середовищу, зокрема живим організмам. Тому застосування вітроенергетичних установок є доволі обмеженим.

Метою магістерської роботи є удосконалення системи електрозабезпечення фермерського господарства «Плеяда» за рахунок використання вітроенергетичних установок.

Для досягнення поставленої мети та одержання конкретних результатів дослідження було поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати стан виробничо-економічної діяльності ФГ «Плеяда» та доцільності впровадження в систему електропостачання фермерського господарства вітроенергетичної установки.
2. Провести аналіз особливостей застосування вітроенергетичних установок різних типів.
3. Виконати розрахунок і вибір вітрогенератора
4. Провести вибір функціональних вузлів системи електропостачання з вітроенергетичною установкою.
5. Розробити імітаційну модель вітроенергетичної установки та керуючого контролера.
6. Розробити схему універсального керуючого контролера ВЕУ
7. Розробити заходи з технічної експлуатації вітроенергетичних установок.
8. Розглянути питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.
9. Провести техніко-економічне обґрунтування впровадження вітроенергетичної установки.

Об’єктом дослідження є процес отримання електроенергії за допомогою вітроенергетичної установки.

Предметом дослідження - параметри та способи керування роботою вітроенергетичною установкою.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в обґрунтуванні структури системи електрозабезпечення ФГ «Плеяда» та можливості впровадження вітроенергетичної установки.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці контролера вітроенергетичної установки, що забезпечує ефективне використання вітрового потенціалу при роботі в широкому діапазоні швидкостей вітру.

*Апробація результатів досліджень*.

Результати досліджень за темою випускної магістерської роботи були представлені на І Міжнародній науково-практичній конференції «Сталий

розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення». ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 5 листопада 2020 року м. Бережани та науково-практичній студентської конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (2-3 квітня, 2020 р.) в ХНТУСГ ім. Петра Василенка, м. Харків.

*Структура магістерської роботи.*

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку використаної літератури (35 найменувань).

# РОЗДІЛ 1
# ВИРОБНИЧО – ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА

## 1.1 Аналіз виробничо-господарської діяльності фермерського господарства

Фермерське господарство (ФГ) «Плеяда» знаходиться в с. Цуцилів Надвірнянського району Івано-Франківської області. Село Цуцилів розташоване за 17 км від райцентру Надвірної, від обласного центру м. Івано-Франківськ – 32 км. Село має залізничне сполучення. Існуюча вулична мережа забезпечує необхідні зв'язки території громадської та житлової забудови з місцями прикладання праці населення.

Клімат району характеризується як помірно-континентальний, з теплим літом і помірно холодною зимою. В окремі роки максимальна температура повітря фіксована на позначці плюс 37 °С, а мінімальна температура досягає мінус 35 °С. Середня температура липня складає плюс 18,5 °С , а в січні - мінус 8, 5°С. Тривалість періоду вегетації рослин в середньому становить 149 днів, середня тривалість безморозного періоду - 119 днів, середня кількість опадів за рік становить 580 мм. Кількість опадів сприятлива для районованих сільськогосподарських культур.

Рельєф території землекористування середньої складності. Основні землі господарства рівнинні з невеликими балками і ярами.

Загальна площа сільськогосподарських угідь становить 1932 га, з них орної землі – 1544 га. Земельний фонд представлений однорідними за властивостями і родючістю грунтами. Ґрунти – переважно помірно – кислі сірі чорноземи. Для підвищення родючості даних ґрунтів потрібно вносити органічні і мінеральні добрива, покращувати водоповітряний режим. Земельний фонд складається з земель с.г. призначення і інших земель.

Займається господарство в основному вирощуванням картоплі, зернових культур, кукурудзи, цукрового буряку, кормового буряку, гречки та має розвинене тваринництво, яке спеціалізується в м'ясо – молочного напрямку.

У господарстві працює 83 працівника. Основні виробничі підрозділи господарства, які визначають його структуру: корівники – 3 шт., телятники – 2 шт, кормоцех ВРХ – 1 шт., молочний блок – 1 шт., сортувальний пункт – 1 шт., картоплесховище – 1шт., столярний цех – 1 шт., гаражі – 2 шт., котельня – 1 шт.

Основу мобільних енергетичних засобів господарства складають: 2 зернозбиральних комбайни «Джон Дір», 9 тракторів та автомобілів.

Основні технологічні процеси автоматизовані. В господарстві задіяні 114 електродвигунів.

Завданням електротехнічної служби господарства (ЕТС) є високопродуктивне використання електроустановок та забезпечення їх технічної справності. В даний час в господарстві ЕТС складається з 2 х чоловік – електромонтери IV і V розрядів.

Задачами і обов’язками ЕТС є такі організаційні заходи і види робіт:

– ефективне використання обладнання;

– своєчасна підготовка обладнання до використання;

– облік споживання електроенергії;

– підготовка і підвищення кваліфікації електротехнічного персоналу;

– виконання робіт, пов’язаних з модернізацією обладнання;

– проведення необхідних вимикань і перемикань в енергоустановках підприємства;

– складання річного графіку технічного обслуговування і ремонту електрообладнання, і організація виконання робіт згідно графіку;

– проведення технічного обслуговування і ремонтів;

– демонтаж обладнання, що підлягає ремонту в стаціонарних умовах, доставка його в спеціалізовані підприємства;

– установлення на робоче місце, налагодження і перевірка працездатності обладнання, яке пройшло ремонт;

– усунення дрібних несправностей, що виникають у процесі експлуатації енергообладнання, з проведенням необхідних перевірок, регулювань і налагоджень.

В господарстві відсутній пункт технічного обслуговування і ремонту електрообладнання.

## 1.2 Вибір загальної схеми мережі живлення

В магістерській роботі проаналізувавши добовий графік навантаження фермерського господарства (рис.1.1.) розробляємо систему електропостачання ФГ «Плеяда» головним джерелом живлення, в якій будуть вітроенергетичні установки (ВЕУ).

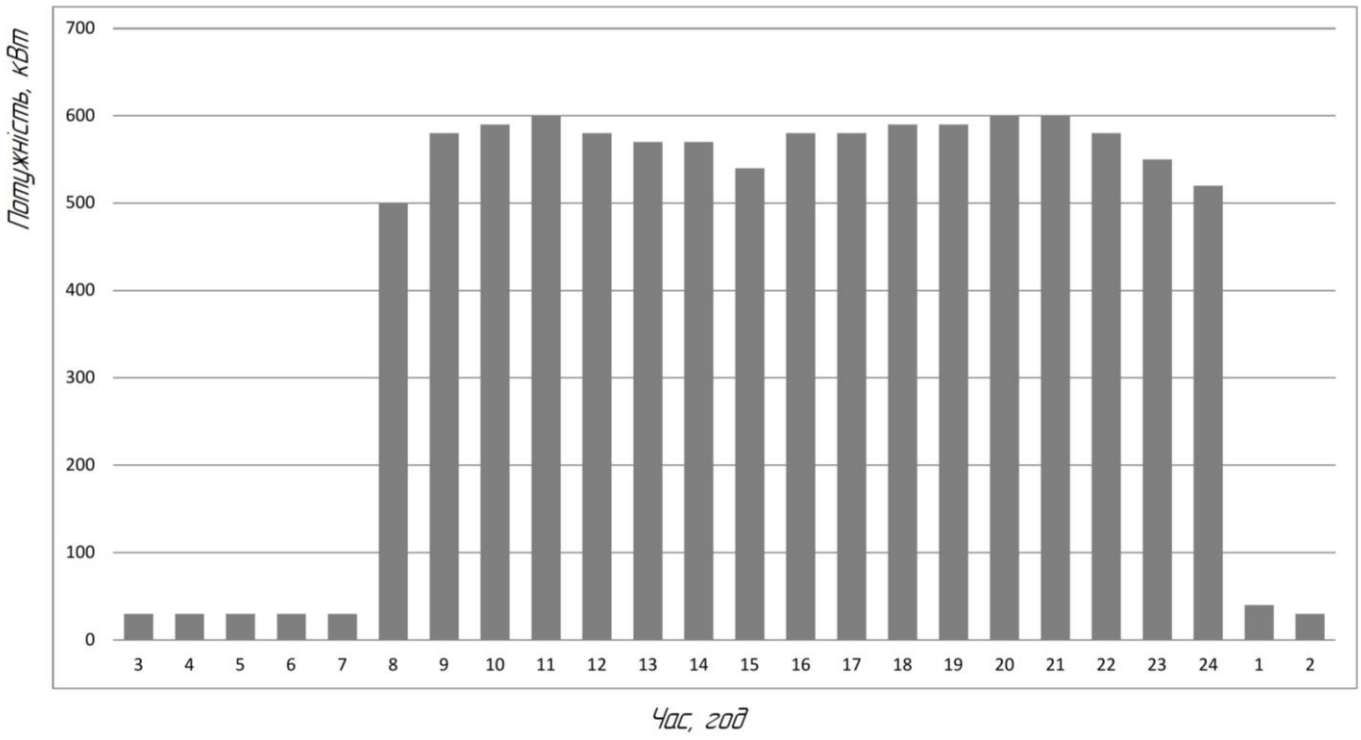


Рис.1.1 – Добовий графік навантаження ФГ «Плеяда»

ВЕУ - екологічно чисте джерело електричної енергії. Вони не використовують ніяких ресурсів і не виділяють шкідливих парів і газів. Це робить їх альтернативою теплоелектростанціям.

Параметри електричної енергії, що виробляється ВЕУ, залежать від швидкості вітру. Так як вітровий потік не стабільний, то і параметри

електроенергії будуть постійно змінюватися. Така низька якість енергії неприйнятна в умовах виробництва ФГ «Плеяда». До того ж виникає проблема синхронізації електричних потоків від декількох установок.

Для вирішення цих проблем буде створена система стабілізації з подвійним перетворенням. Керовані випрямлячі напруги дозволять вирішити проблему синхронізації. Далі постійний струм буде живити навантаження за допомогою інверторів, які, в свою чергу, забезпечать якість електроенергії: стабільну напругу, частоту і форму сигналу. Сучасні інвертори здатні забезпечити сигнал формою майже ідеальної синусоїди.

Під час відсутності навантаження електроенергія, що виробляється ВЕС, буде спрямована на зарядку акумуляторів. У даній системі акумулятори будуть служити додатковим джерелом живлення на час слабкого вітру чи штилю.

У випадку якщо з якоїсь причини основна система не зможе забезпечити підприємство енергією, буде задіяний резерв. В якості резервного джерела виступає вже наявна на підприємстві комплектна трансформаторна підстанція (КТП) 10 / 0,4 кВ. Включення резерву виконується пристроями автоматичного вмикання резерву (АВР).

Функціональна схема електропостачання ФГ «Плеяда» показана на рис. 1.2.

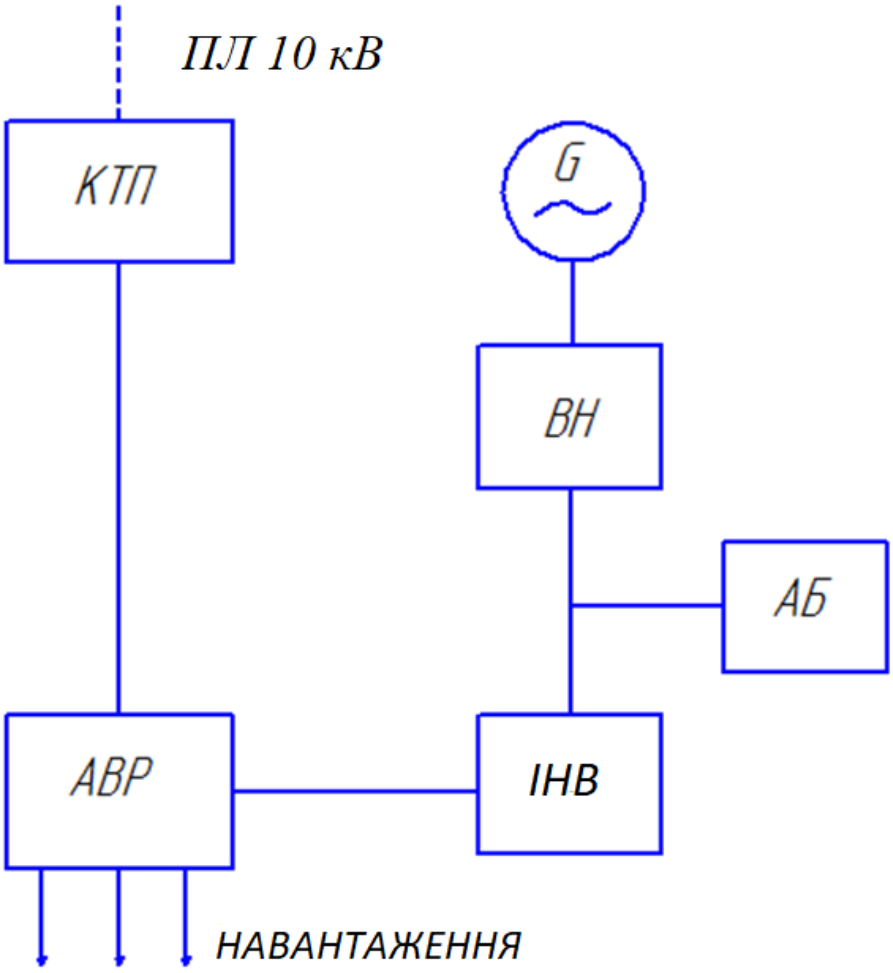


Рис. 1.2 – Функціональна схема електропостачання ФГ «Плеяда»: G – вітрогенератор; КТП – комплектна трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ; ВН – випрямляч напруги; АБ – акумуляторний блок; ІНВ – інвертор напруги; АВР – автоматичне вмикання резерву; ВЛ – лінія 10 кВ.

# РОЗДІЛ 2
# РОЗРАХУНОК І ВИБІР ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

## 2.1 Вітроенергетика

Вітроенергетика - галузь енергетики, що спеціалізується на використанні енергії вітру - кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері. Енергію вітру відносять до поновлюваних видів енергії, так як вона є наслідком діяльності сонця.

Енергія вітру насправді є формою сонячної енергії, так як тепло сонця стає причиною вітрів. Сонячне випромінювання нагріває всю поверхню Землі, але нерівномірно і з різною швидкістю.

Різні види поверхні - пісок, вода, камінь і різні види ґрунту - вбирають, зберігають, відображають і вивільняють тепло з різною швидкістю, а Земля стає в цілому теплішою днем і холоднішою вночі. В результаті повітря над поверхнею Землі також нагрівається і охолоджується з різною швидкістю. Гаряче повітря піднімається, знижуючи атмосферний тиск біля поверхні Землі, яке притягує на заміну більш холодне повітря. Таке пересування повітря ми і називаємо вітром. Енергія вітру непостійна. Коли повітря рухається, викликаючи вітер, він має кінетичну енергією - енергією, яка з'являється щораз, коли маса починає рухатися. Якщо використовувати правильну технологію, то кінетичну енергію вітру можна захопити і перетворити в інші види енергії, наприклад електричну і механічну енергію. Це і є енергія вітру.

Енергія вітру вважається важливим компонентом будь-якої довгострокової стратегії в галузі енергетики, так як при її генерації використовується природнє і практично невичерпне джерело енергії - вітер. Це різко контрастує з традиційними електростанціями на викопному паливі. Енергія вітру не забруднює повітря, ґрунт і воду. Це важлива відмінність енергії вітру від деяких інших відновлюваних джерел енергії, наприклад, атомної енергії, яка виробляє величезну кількість важкокерованих відходів. Енергія вітру іноді конфліктує з іншими пріоритетами. Однією з перешкод на шляху збільшення

використання енергії вітру є те, що вітрові електростанції повинні розташовуватися на великих ділянках землі або уздовж узбережжя для найбільш ефективного захоплення вітру. Використання цих територій для генерації енергії вітру іноді конфліктує з іншими пріоритетами, наприклад, сільським господарством, містобудуванням або красивими видами на море з дорогих будинків, розташованих в кращих зонах. В подальшому передбачається зростання споживання енергії вітру. Пріоритети зміняться в міру зростання потреби в чистій та відновлювальній енергії та розширенні пошуку альтернатив обмеженим запасам нафти, вугілля і природного газу.

В міру зниження вартості енергії вітру завдяки вдосконаленню технологій і поліпшення технологій генерування енергії, цей вид енергії буде ставати все більш доречним в якості основного джерела електричної і механічної енергії.

Вітроенергетичні установки досягли сьогодні рівня комерційної зрілості і в місцях з середньорічними швидкостями вітру більше 5 м/с успішно конкурують з традиційними джерелами електропостачання.

Перетворення енергії вітру в механічну, електричну або теплову здійснюється в вітроустановках з горизонтальним або вертикальним розташуванням валу вітротурбіни. Найбільшого поширення набули вітроенергетичні установки з горизонтальною віссю ротора, що працюють за принципом вітряного млина. Турбіни з горизонтальною віссю і високим коефіцієнтом швидкохідності володіють найбільшим значенням коефіцієнта використання енергії вітру (0,46-0,48). Вітротурбіни з вертикальним розташуванням осі менш ефективні (0,45), але володіють тією перевагою, що не вимагають налаштування на напрям вітру.

Найбільшого поширення в мережевих установок сьогодні одержали ВЕУ з одиничною потужністю від 100 до 500 кВт. Питома вартість ВЕУ має тенденцію до зниження.

Вартість вітрової енергії залежить в основному від наступних параметрів:

- інвестицій у виробництво вітроагрегату (виражається як відношення S/кв.м - вартість одного кв. метра площі ротора вітротурбіни);

- коефіцієнта корисної дії системи;
- середньої швидкості вітру;
- доступності;
- технічного ресурсу.

За останні роки технологія використання енергетичних ресурсів вітру була зосереджена на створенні мережних вітроагрегатів WECS. У цьому напрямку досягнуті значні успіхи. Багато тисяч сучасних установок WECS виявилися повністю конкурентоспроможними по відношенню до звичайних джерел енергії. Існуючі електричні мережі здійснюють транспортування електроенергії вироблювані вітропарками в різні регіони.

В останні роки інтенсивно стали розвиватися технології використання енергії вітру в ізольованих мережах. В ізольованих мережах електропередач витрати на одиницю виробленої енергії в багато разів вище, ніж в централізованих мережах електропередач. Установки, що виробляють електроенергію, звичайно побудовані на невеликих двигунах внутрішнього згоряння, що використовують дороге паливо, коли витрати на транспортування тільки палива часто піднімають вартість одиниці виробленої енергії в десятки разів від вартості енергії в централізованих мережах електропередач. У невеликих мережах електропередач установки, що подають електроенергію, є набагато більш гнучкими: сучасний комплект генераторів на дизельному паливі можна запустити, синхронізувати і підключити до ізольованої мережі менш ніж за дві секунди. Перетворення енергії вітру є альтернативним поновлюваним джерелом енергії, щоб замінити дороге паливо. Нові дослідження технічної реалізації проектів використання вітроустановок спільно з дизельними генераторами в ізольованих мережах показують, що світовий потенціал для незалежних систем WECS навіть вище, чим систем WECS, підключених у звичайні мережі електропередач.

## 2.2 Типи вітроенергетичних установок та їх особливості

### 2.2.1 Основні типи ВЕУ

Сучасна вітроенергетика базується в основному на застосуванні вітродвигунів (ВД) двох основних видів: горизонтально-осьові пропелерні ВД з горизонтальною віссю обертання показані на рис. 2.1 і вертикально-осьові ВД (або ортогональні) з вертикальною віссю обертання показані на рис. 2.2. Ротори останніх виконуються у вигляді вертикально розташованих лопастей або в спеціальному виконанні.

У горизонтально-осьових ВД вітрове колесо має крилоподібну форму і обертається у вертикальній площині, перпендикулярній до напрямку вітру, а вісь вітроколеса паралельна потоку. Основною обертаючою силою у коліс цього типу є підйомна сила лопастей.

Відносно вітру вітроколесо в робочому положенні може розташовуватися перед опорною вишкою або за нею. При передньому розташуванні вітроколесо повинно мати аеродинамічний стабілізатор або будь-який інший пристрій, що утримує його в робочому положенні. При задньому розташуванні вишка частково затінює вітроколесо і турбулізує набігаючий на нього потік.

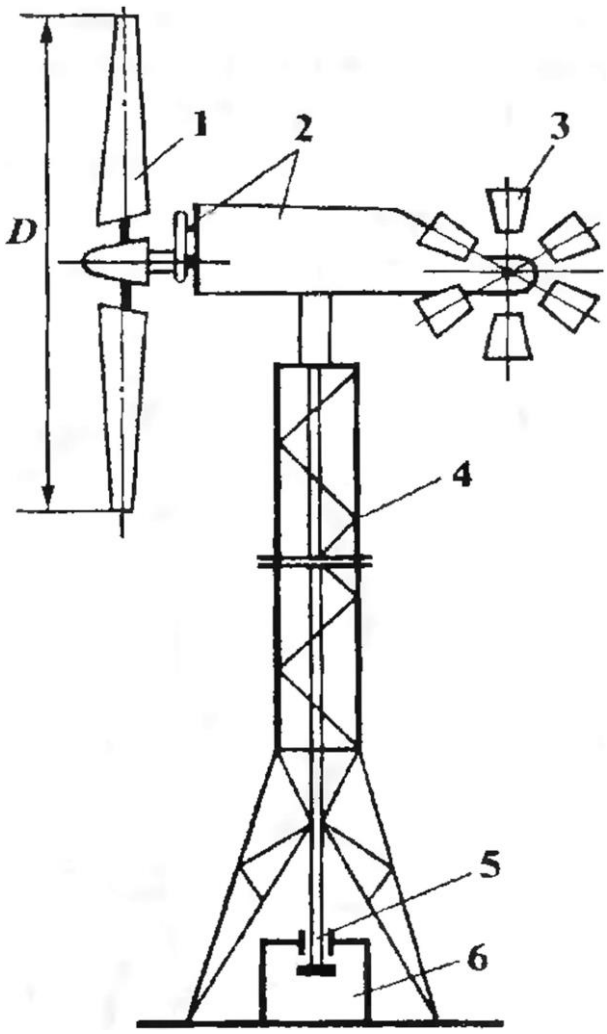


Рис. 2.1 – Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю обертання пропелерного типу: 1 – робоча лопасть; 2 – трансмісія (мультиплікатор); 3 – віндроза; 4 – вишка; 5 – вал відбору потужності; 6 – електрогенератор.

При роботі колеса в таких умовах виникають циклічні навантаження, підвищений шум і флуктуації вихідних параметрів вітроустановки. Напрямок вітру може змінюватися досить швидко, і вітроколесо має чітко відслідковувати ці зміни, повертаючись на крилі за рахунок віндрози або серводвигуна.

У таких ВЕУ зазвичай використовуються двох-трилопатеві вітроколеса, при цьому останні відрізняються дуже плавним ходом. Електрогенератор і редуктор, що з'єднує його з вітроколесом, розташовані зазвичай нагорі опорної вежі в поворотній головці. З точки зору експлуатації зручніше розміщувати їх внизу, але виникаючі при цьому складності з передачею крутного моменту знижують переваги такого розміщення.

Головка вітродвигуна має пристрої ручного керування та автоматичної стабілізації швидкості обертання вітроколеса в разі зміни швидкості вітру v. Для орієнтації вітродвигуна за напрямком вітру в задній частині встановлена віндроза 3, яка приводить у рух механізм повороту при зміні напрямку вітру.

До вихідного валу трансмісії редуктора приєднаний вертикальний вал відбору потужності 5 з електрогенератором 6.

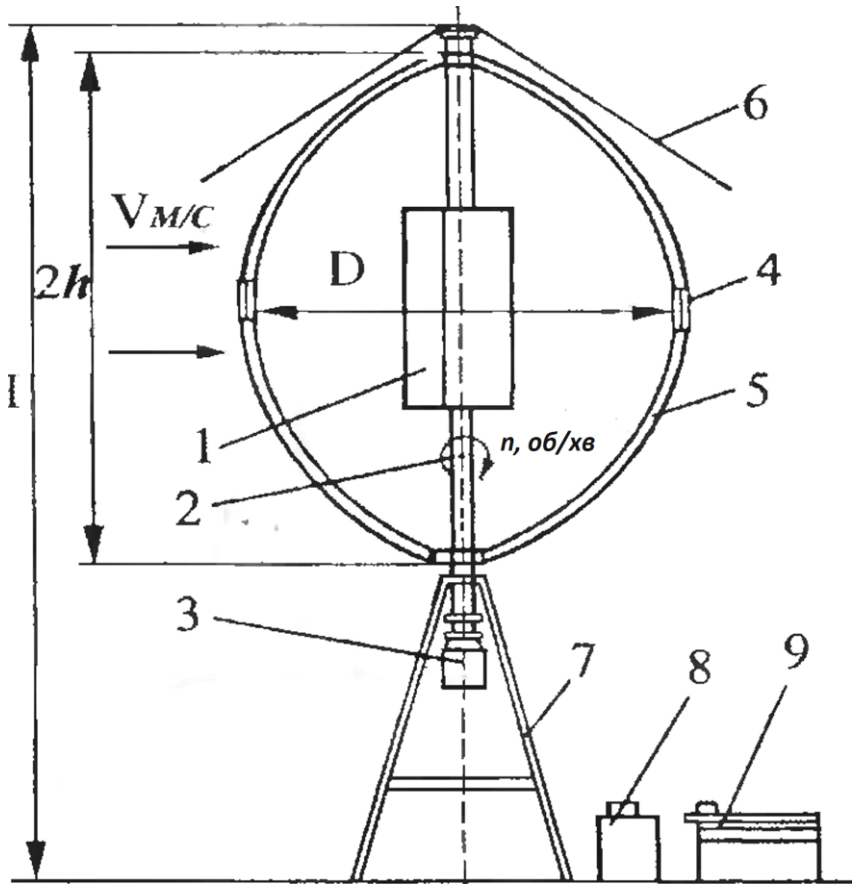


Рис. 2.2 – Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю обертання типу «Дар'є»: 1 – стартер (ротор Савоніуса); 2 – вал; 3 – електрогенератор; 4 – гальмівний пристрій; 5 – робоча лопасть; 6 – розтяжки; 7 – рама; 8 – перетворювач напруги; 9 – акумулятор.

Вітроколесо ВЕУ з вертикальною віссю обертання внаслідок своєї геометрії при будь-якому напрямку вітру знаходиться в довільному положенні. Крім того, така схема дозволяє за рахунок тільки подовження вала встановити редуктор з генераторами в основі щогли.

До найбільш поширених типів вертикально-осьових установок відноситься ротор типу «Дар'є». У ньому обертовий момент створюється підйомної силою,

що виникає на двох або трьох тонких вигнутих несучих поверхнях, що мають аеродинамічний профіль. Підйомна сила максимальна в той момент, коли лопасть з великою швидкістю пересікає набігаючий повітряний потік. Ротор типу «Дар'є» розкручуватися самостійно, як правило, не може, тому для його запуску зазвичай використовується генератор, що працює в режимі двигуна, або статор, що носить назву ротора Савоніуса. Це колесо також обертається силою опору. Його лопасті виконані з тонких вигнутих листів прямокутної форми, відрізняються простотою і дешевизною. Обертовий момент створюється завдяки різному опору, що чиниться повітряному потоку увігнутою і вигнутою лопастями ротора. Через велике геометричне заповнення це вітроколесо володіє великим крутним моментом і використовується для перекачування води.

### 2.2.2 Основні типи горизонтально-осьових турбін

Залежно від орієнтації осі обертання по відношенню до напрямку потоку вітротурбіни ВЕУ можуть бути з горизонтальною віссю обертання, паралельною напрямку вітрового потоку, і з вертикальною віссю обертання, перпендикулярною напрямку вітрового потоку. Відомий також ряд комбінованих схем ВЕУ, до яких можна віднести вітрильне судно з вітрилами, виконаними у вигляді обертових циліндрів з використанням сили Магнуса, аналогічний пристрій, що рухається по замкнутому рейковому шляху на колесах, механічно з'єднаних з електричним генератором і т.д.

Вітротурбіни з горизонтальною віссю обертання можуть використовувати для перетворення енергії вітру підйомну силу або силу опору. Вони можуть бути виконані з різною кількістю лопастей: від однолопастних пристроїв з контрвантажами до багатолопатевих. Система, на якій кріпиться вітротурбіна, виконується поворотною, що орієнтується у напрямку вітру за допомогою хвоста або віндрози. Для обмеження частоти обертання вітроколеса при великій швидкості вітру застосовується спосіб установки лопастей у флюгерне положення, а також пристрої для виведення вітроколеса з-під вітру. Лопасті

можуть бути безпосередньо закріплені на валу вітроколеса або ж крутний момент може передаватися від його ободу через вторинний вал до генератора або іншої робочої машини. Вітроприймальні пристрої 1,3 і 6,15 використовують для своєї роботи підйомну силу профілів, а 4,5 силу опору показані на рис. 2.3.

У горизонтально-осьових ВЕУ вітрове колесо має крилоподібну форму і обертається у вертикальній площині, перпендикулярній до напрямку вітру, а вісь вітроколеса паралельна потоку. Основною обертаючою силою у коліс цього типу є підйомна сила лопастей.

У сучасній вітроенергетиці найчастіше застосовують вітротурбіни горизонтально-осьового пропелерного типу з горизонтальною віссю обертання.

При передньому відносно вежі розташуванні вітротурбіна повинна мати аеродинамічний стабілізатор для утримання її в робочому положенні. При задньому розташуванні вежа частково затінює вітроколесо і турбулізує набігаючий на нього потік. При роботі колеса в таких умовах виникають циклічні навантаження, підвищений шум і флуктуації вихідних параметрів вітроустановки.

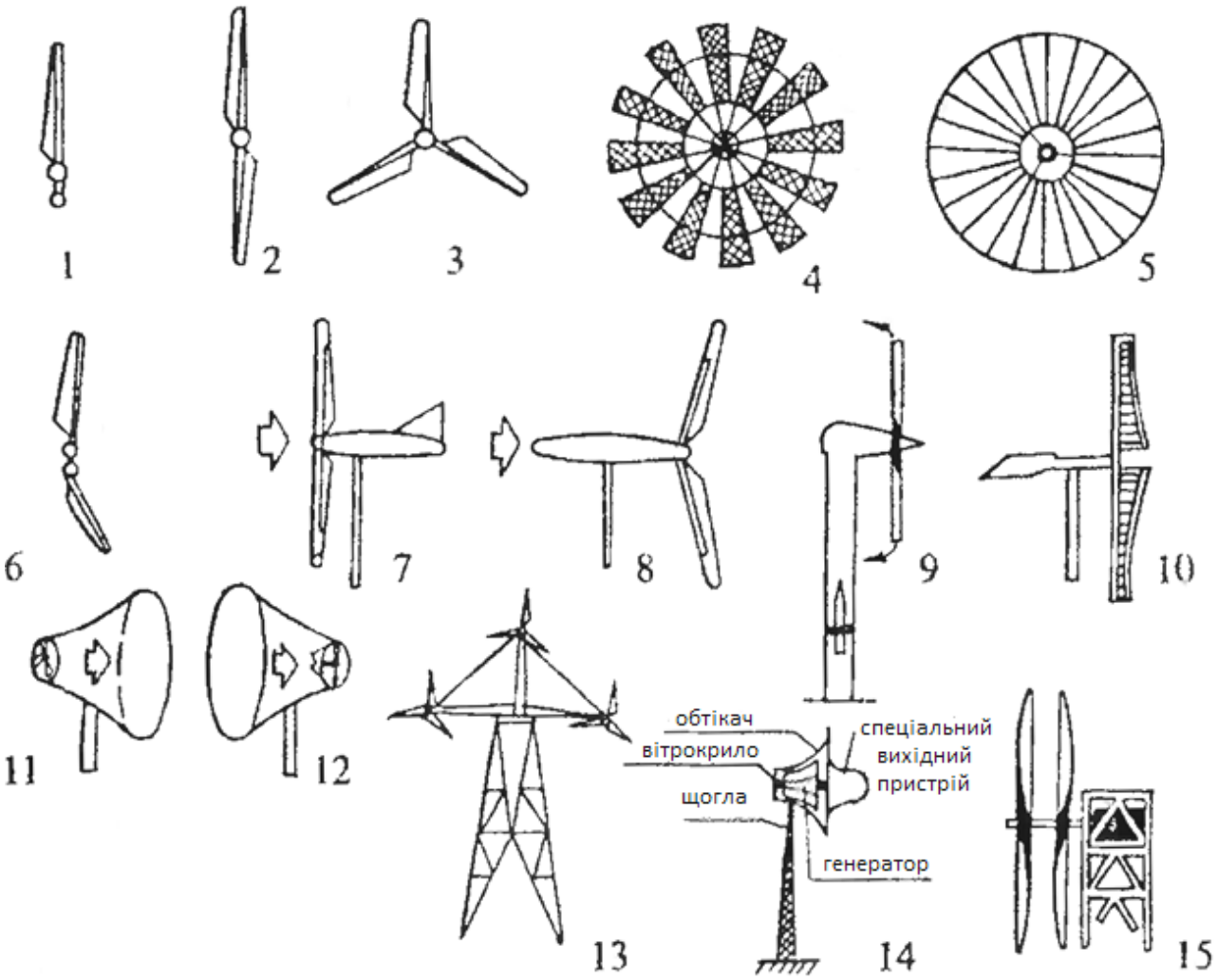


Рис. 2.3 – Вітроприймальні пристрої з горизонтальною віссю обертання: 1 - однолопастне вітроколесо; 2 - двохлопастне; 3 - трьохлопастне; 4 - багатолопастне; 5 - багатолопастні велосипедного типу; 6 - комбіноване вітроколесо з симетричним і несиметричним профілем; 7 - вітроколесо, направлене назустріч потоку; 8 - вітроколесо, розміщене по потоку (за вежою); 9 - вітроколесо з пневматичною передачею потужності; 10 - вітрильне крило; 11 - вітроколесо з дифузором; 12 - вітроколесо з концентратором енергії; 13 – багатовітротурбінне з декількома вітроколесами; 14 - вітроколесо діаметрального типу з дифузором; 15 - вітроколеса зустрічного обертання.

Напрямок вітру може змінюватися досить швидко, і вітроколесо має чітко відслідковувати ці зміни, повертаючись на крилі за рахунок віндрози, серводвигуна або хвоста. У таких ВЕУ зазвичай використовуються дво-,

трилопастні вітроколеса, причому останні відрізняються більш плавним ходом. Електрогенератор і мультиплікатор, що з'єднує його з вітроколесом, розташовані зазвичай нагорі опорної вежі в поворотній головці. З точки зору експлуатації зручніше розміщувати їх внизу, але виникають при цьому труднощі з передачею крутного моменту знижують переваги такого розміщення.

### 2.2.3 Загальна характеристика вертикально-осьових вітроприймачів

Вертикально-осьові вітроприймачі мають деякі переваги перед вітроприймальними пристроями з горизонтальним розташуванням осі. У них відсутні вузли для орієнтації на вітер, що спрощує конструкцію і знижує гіроскопічні навантаження. Розроблено велику кількість різноманітних пристроїв з вертикальною віссю обертання, в яких для створення крутного моменту використовуються сили опору і підйомна сила робочих лопастей.

Це пристрої з пластинчастими, чашоподібними або турбінними елементами, а також роторами Савоніуса з лопатями S-подібної форми. Пристрої такого типу мають великий початковий момент, але меншу швидкохідні і потужність в порівнянні з ротором «Дар'є». В даний час вітродвигун «Дар'є» може розглядатися в якості основного конкурента вітродвигунів крильчатого типу.

Ротор «Дар'є» відноситься до вітроприймальних пристроїв, що використовують підйомну силу, яка виникає на вигнутих лопастях, що мають в поперечному перерізі профіль крила. Його недолік - малий початковий момент, перевага - велика швидкохідність і в силу цього - відносно велика питома потужність, віднесена до його маси. Для усунення головного недоліку і з метою збільшення початкового моменту ротор «Дар'є» комбінують з різними типами стартерів, наприклад з ротором Савоніуса.

У роторі іншого типу з вертикальною віссю обертання використовується ефект Майнуса; до таких роторів з обертовими циліндрами можна віднести конструкції Мадарас і Флеттнера представлені на рис. 2.4. При набіганні вітрового потоку на циліндр, що обертається відповідно з ефектом Магнуса діє сила, перпендикулярна напряму потоку.

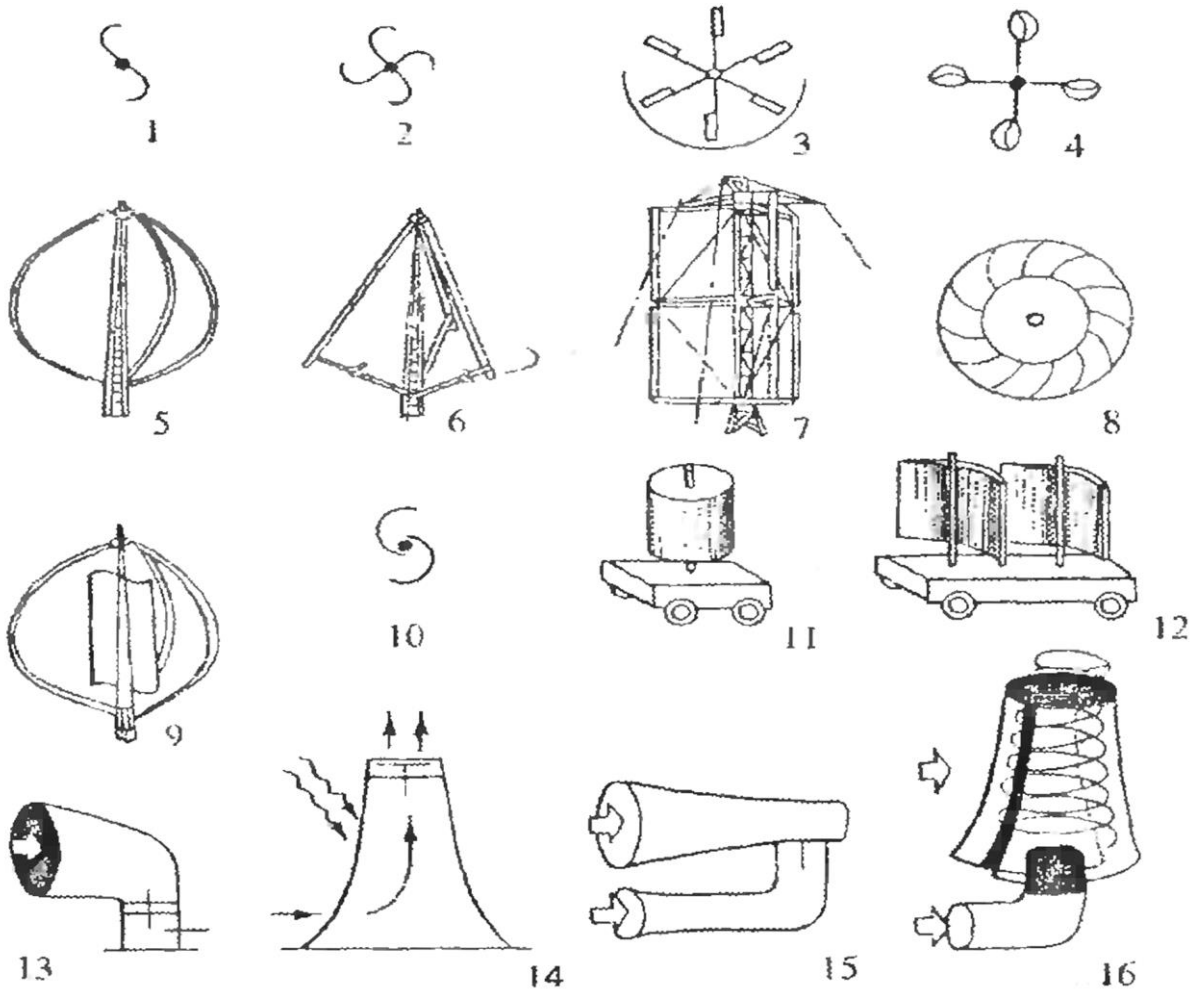


Рис. 2.4 - Вітроприймальні пристрої з вертикальною віссю обертання: 1 - ротор Савоніуса; 2 - ротор Савоніуса багатолопастний; 3 - ротор пластинчастий; 4 - ротор чашковий; 5 - ротор Дар'є Ø-подібний; 6 - ротор Дар'є Δ-подібний; 7 - ротор с прямими крильчастими лопастями (Giromill); 8 – вітротурбіна з криволінійними пластинчастими лопастями; 9 - ротори Дар'є Ø - подібний і Савоніуса; 10 - ротор Савоніуса щілинний; 11 - ротор з використанням ефекту Магнуса; 12 - ротор з несучими вітрильними поверхнями; 13 - вітроколесо з рефлекторним пристроєм; 14 - сонячно-вітровий пристрій; 15 - вітроколесо з трубою Вентури; 16 - вітроколесо з вихровим пристроєм.

У ряді випадків ротор покращує віддачу потужності при наявності направляючого дефлектора і ежектора у вигляді труби Вентури.

Відома також вітроустановка з ротором вертикально-осьового обертання, що розташовується на трубі (або щоглі), всередині якої генеруються висхідні вихори. Одночасно в такий вежі передбачається нагрівання повітря шляхом безпосереднього використання сонячного випромінювання або спалювання палива з подальшим розширенням повітря, внаслідок чого створюється ефект газової турбіни, яка разом з електрогенератором встановлюється на виході щогли. Для підвищення економічності ВЕУ з такими щоглами і вітроприймача, що працюють з використанням підйомної сили у вітровому потоці, останні повинні бути по можливості великої потужності: від 1000 до 20000 кВт. При цьому розміри вітротурбін обмежуються напруженнями, що виникають в конструкції опор, лопастей та інших навантажених елементів. Тому вітроприймачі повинні мати можливо меншу масу, а в якості рушійної сили - підйомну силу, щоб мати більшу швидкохідність при великих значеннях коефіцієнта використання енергії вітру.

Переваги, які дають більш сильні і більш стійкі вітри, можуть бути реалізовані при розміщенні таких ВЕУ на береговій території водойм або в прибережних водах. Вітроустановки щоглового типу, призначені для утворення і використання вихорів з метою збільшення швидкості потоку і градієнта тиску в зоні вітроприймального пристрою можуть використовуватися після вивчення законів швидкостей при вихреутворення.

Схематичне зображення вітроелектричної установки Мадараса показана на рис. 2.5 і використання ефекту Магнуса в вітродвигунах, що мають ротор з вертикальною віссю обертання на рис. 2.6.

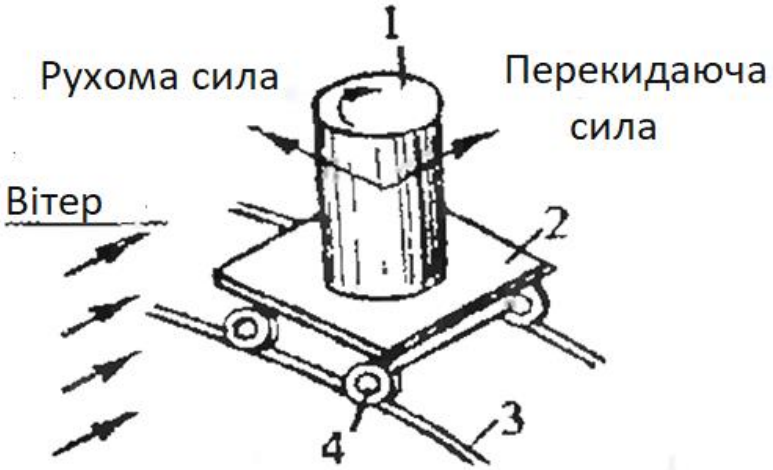


Рис. 2.5 – Схематичне зображення вітроелектричної установки Мадараса: 1 - циліндр, що обертається; 2 – візок; 3 - рейковий шлях; 4 - електричний генератор, що приводиться в рух від колеса візка

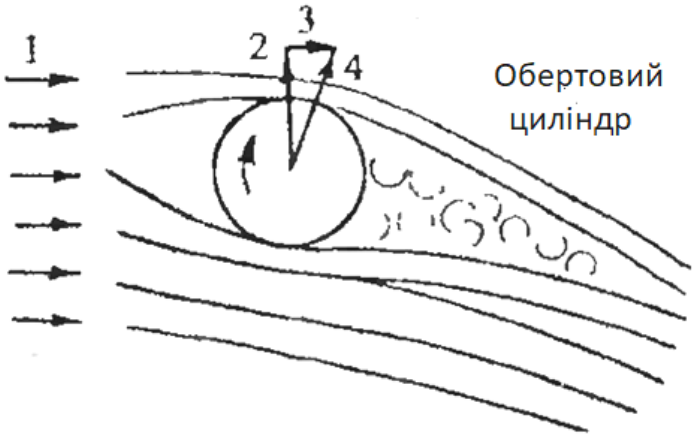


Рис. 2.6 – Використання ефекту Магнуса в вітродвигунах, що мають ротор з вертикальною віссю обертання: 1 - вплив вітру; 2 - підйомна сила (ефект Магнуса); 3 - сила опору; 4 - результуюча сила

## 2.3 Розрахунок і вибір вітрогенератора

При виборі вітрогенератора необхідно враховувати декілька факторів: швидкість вітру, споживану об'єктом потужність, діаметр вітроколеса, висоту установки ВЕУ. Так само для правильної роботи ВЕУ важливу роль відіграє місце установки агрегату. Перешкоди і рельєф можуть створювати завихрення

вітрового потоку, що буде порушувати роботу вітрогенератора і знизить його ефективність. Правильне розташування вітроустановок показано на рис. 2.7.

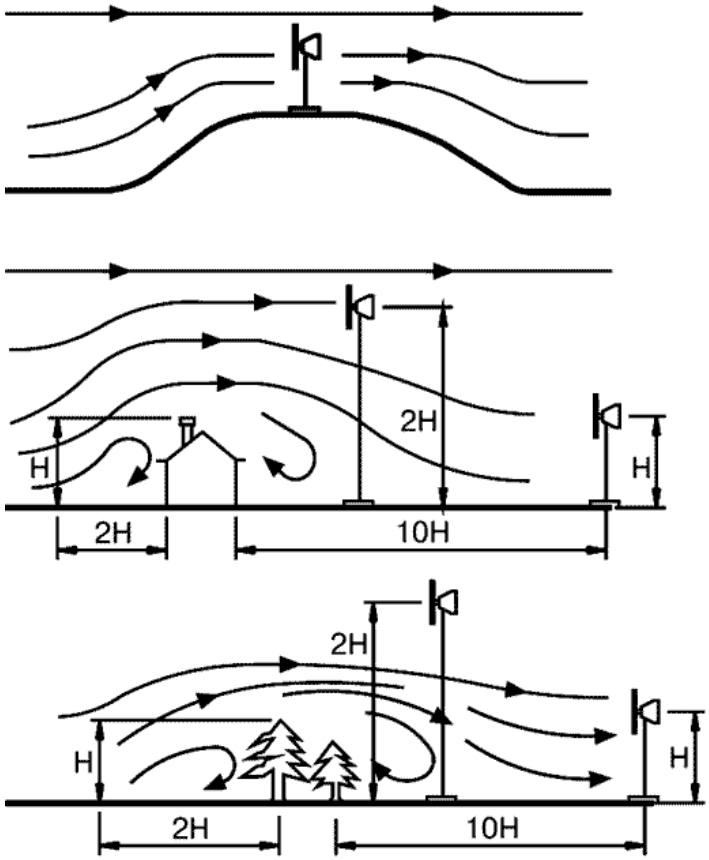


Рис. 2.7 – Правильне розташування ВЕУ.

Виробляєма ВЕУ потужність пропорційна швидкості вітру та діаметру вітроколеса. Середні значення швидкості вітру для місцевості в якій знаходиться ФГ «Плеяда» вказані в таблиці 2.1. Середньорічне значення вітру для даного регіону рівне 6,4 м / с. Дані заміри були зроблені на висоті 10 м. Це також потрібно враховувати, тому що зі збільшенням висоти тертя об поверхню, а також вплив природних і штучних перешкод зменшується, і, як наслідок, швидкість вітрового потоку збільшується.

Середньомісячні значення швидкості вітру для с. Цуцилів Надвірнянського району за 2020 р наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

**Середньомісячні значення швидкості вітра для с. Цуцилів Надвірнянського району на 2020 рік**

| Місяць | Січень | Лютий | Березень | Квітень | Травень | Червень |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Швидкість V м/с | 5,7 | 6,6 | 6,5 | 6,0 | 7,4 | 6,5 |
| Місяць | Липень | Серпень | Вересень | Жовтень | Листопад | Грудень |
| Швидкість V м/с | 5,4 | 6,0 | 7,3 | 6,4 | 6,4 | 6,1 |

Чим більше діаметр ротора вітрогенератора тим більше електроенергії він може виробляти при однакових швидкостях вітру. Тому при виборі з декількох вітроустановок однакової потужності потрібно вибирати ту, яка має найбільший діаметр вітроколеса.

Потужність, яка розвивається ВЕУ при заданій швидкості вітру можна розрахувати за формулою:

$$P = \frac{D^2 V^3}{7000}$$

де P – потужність, що розвивається кВт;

D – діаметр вітроколеса, м;

V – швидкість вітру, м/с.

З цієї формули можна знайти діаметр вітроколеса знаючи яку потужність має розвивати вітрогенератор:

$$D = \sqrt{\frac{P \cdot 7000}{V^3}}.$$

ВЕУ великої потужності встановлюються на щогли висотою від 40 і більше метрів [14]. Значення швидкостей вітру тут будуть більше ніж на висоті 10м. Тому для вибору вітрогенератора необхідно перерахувати швидкість вітру для висоти його щогли за формулою:

$$V = V_0 \cdot (H/H_0)^a,$$

де: $V$ – обумовлена швидкість вітру, м/с;

$V_0$ – відоме значення швидкості вітру, м/с;

$H$ – запланована висота, м;

$H_0$ – відома висота, м;

$a$ – емпіричний показник степені рівний 0,14.

В даній магістерській роботі необхідно підібрати вітрогенератори, здатні забезпечити електроенергією виробничі об'єкти ФГ «Плеяда». Пікове навантаження всіх виробничих об'єктів 800 кВт, а середньодіюча протягом 2-х робочих змін 763,53 кВт. Так як середньодіюче навантаження майже не відрізняється від пікового, ВЕУ розраховуємо на пікове навантаження.

Через обмеженість території доцільно використовувати ВЕУ великої потужності в кількості від 2 до 4 агрегатів.

Розглянемо кілька варіантів з різною кількістю ВЕУ: 2 агрегати:

Знайдемо швидкість вітру на висоті 65 м:

$$V = 6{,}4 \times (65/10)^{0.14} = 8{,}31 \text{ м/с.}$$

Розрахуємо діаметр вітроколеса необхідний для вироблення 400 кВт при швидкості вітру 8,31 м / с:

$$D = \sqrt{\frac{300 \cdot 7000}{575{,}39}} = 60{,}4 \text{ м.}$$

Вибираємо установку з найближчим діаметром ротора в більшу сторону. Приймаємо вітрогенератор GENERAL ELECTRIC моделі 1,5S номінальною потужністю 1500 кВт, діаметром ротора 70 м і висотою щогли 65 м.

Знайдемо швидкість вітру на висоті 70 м:

$$V = 6{,}4 \times (70/10)^{0.14} = 8{,}4 \text{ м/с.}$$

Вироблена вітрогенератором потужність при швидкості вітру 8,4 м / с:

$$P = \frac{5625 \cdot 592{,}704}{7000} = 476{,}28 \text{ кВт.}$$

Сумарна потужність 2-х установок рівна 952,56 кВт

909 >600 – умова виконується

Процент використання потужності вітрогенератора:

$$n = {476{,}28 \cdot 100}/{1500} = 31{,}75\ \%.$$

Таким чином, дана установка буде працювати тільки на 31,75% від номінальної потужності.

Вартість 2-х вітрогенераторів GENERAL ELECTRIC моделі 1,5S - 30750655 грн.

3 агрегати:

Розрахуємо діаметр вітроколеса необхідний для вироблення 200 кВт при швидкості вітру 8,31 м / с:

$$D = \sqrt{\frac{200 \cdot 7000}{575{,}39}} = 49{,}33\ \text{м.}$$

Вибираємо установку з найближчим діаметром ротора в більшу сторону. Приймаємо вітрогенератор VESTAS моделі V52 номінальною потужністю 850 кВт, діаметром ротора 52 м і висотою щогли 65 м.

Вироблена вітрогенератором потужність при швидкості вітру 8,4 м / с:

$$P = \frac{2704 \cdot 592.704}{7000} = 228{,}95\ \text{кВт.}$$

Сумарна потужність 3-х установок рівна 686,85 кВт.

686,85 > 600 – умова виконується.

Процент використання потужності вітрогенератора:

$$n = {228{,}95 \cdot 100}/{850} = 26{,}97\ \%.$$

Таким чином, дана установка буде працювати тільки на 26,97 % від номінальної потужності.

Вартість 3-х вітрогенераторів VESTAS моделі V52 - 11500000 грн.

4 агрегати:

Розрахуємо діаметр вітроколеса необхідний для вироблення 200 кВт при швидкості вітру 8,31 м / с:

$$D = \sqrt{\frac{150 \cdot 7000}{575{,}39}} = 42{,}72\ \text{м.}$$

Вибираємо установку з найближчим діаметром ротора в більшу сторону. Приймаємо вітрогенератор ENERCON моделі 500 номінальною потужністю 500 кВт, діаметром ротора 45 м і висотою щогли 65 м.

Вироблена вітрогенератором потужність при швидкості вітру 8,4 м / с:

$$P = \frac{2025 \cdot 592.704}{7000} = 171{,}46 \text{ кВт.}$$

Сумарна потужність 4-х установок рівна 685,84 кВт.

685,84 >600 – умова виконується.

Процент використання потужності вітрогенератора:

$$n = {}^{171{,}46 \cdot 100}/_{500} = 34{,}29\ \%.$$

Таким чином, дана установка буде працювати на 34,29% від номінальної потужності.

Вартість 4-х вітрогенераторів ENERCON моделі 500 - 16728000 грн.

Enercon GmbH - один з найбільших в світі виробників вітрогенераторів. Найбільший виробник вітрогенераторів в Німеччині. Enercon виробляє промислові вітрогенератори потужністю від 330 кВт. до 7,58 МВт.

Отже, в роботі приймаємо чотири агрегати ENERCON моделі 500 так як це найбільш ефективний варіант з трьох розглянутих.

## 2.4 Система автоматичного обмеження оборотів вітроколеса

Швидкість вітру в часі нестабільна і змінюється стрибкоподібно. Великі швидкості і пориви вітру можуть привести до вироблення надлишків енергії або до руйнування агрегату. Для запобігання небажаних режимів роботи у ВЕУ передбачена система обмеження оборотів вітроколеса шляхом регулювання кута нахилу лопастей [30].

В системі управління використовується мікро-ЕОМ для всіх послідовних керуючих та інформаційних функцій, в тому числі для включення ВЕУ в роботу, її виключення, управління нормальними робочими режимами і повідомлення про аварійну ситуацію. Електромеханічне управління

використовується для зміни кута установки лопастей і орієнтації вітроколеса щодо напрямку вітру. Вітроколесо має втулку, яка в разі відмови системи управління або при дуже різких поривах вітру автоматично забезпечує поворот лопастей у флюгерне положення, запобігаючи розгону вітроколеса і оберігаючи ВЕУ від пошкоджень.

Регулювання необхідно для управління обертовим моментом і частотою обертання вітроколеса. Така схема дає можливість здійснювати пуск і зупинку вітрогенератора, ефективно управляти обертовим моментом і встановлювати лопасті у флюгерне положення в разі дії вітру з високими швидкостями. Крім того, вітроколесо з поворотними лопастями дозволяє уникнути роботу в потенційно небезпечних резонансних умовах в процесі пуску.

Зміна кута установки лопастей може здійснюватися безпосередньо механічним шляхом в результаті впливу на нижню частину лонжерона лопасті або шляхом використання аеродинамічних сил, що виникають на регулюючих закрилках, розташованих поблизу кінців лопастей.

Центральна частина вітроколеса показана на рис. 2.8, а вид в розрізі, що включає механізм регулювання, - на рис. 2.9. Вона являє собою жорстку безшарнірну конструкцію, посаджену за допомогою конічних роликових підшипників на необертовий головний шпиндель, який сприймає згинальні моменти, що виникають при обертальних рухах лопастей.

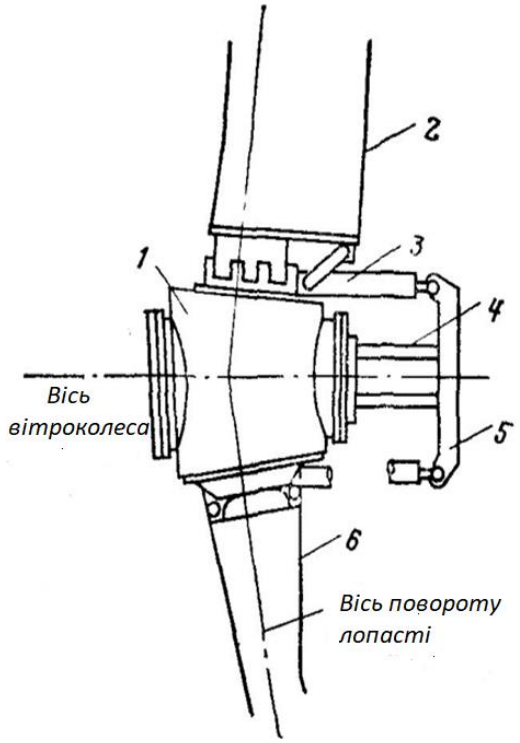


Рис. 2.8 – Центральна частина вітроколеса: 1 - втулка; 2 - лопасть (у флюгерному положенні); 3 - важіль; 4 - тяга; 5 - скоба; 6 - лопасть (в плоскому положенні)

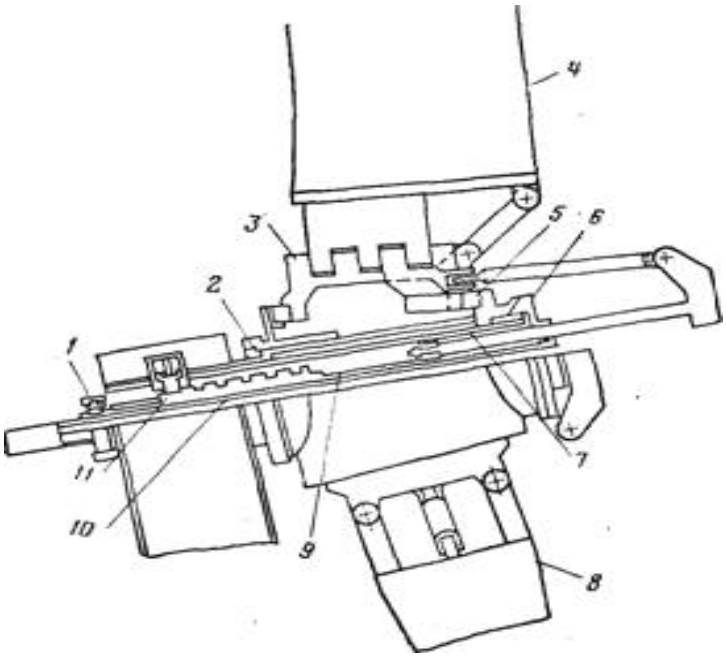


Рис. 2.9 – Центральна частина вітроколеса (вид в розрізі): 1 - коромисло механізму регулювання; 2 - задній підшипник втулки; 3 - затискачі; 4 - лопасть (у флюгерному положенні); 5 - підшипник лопасті; 6 - передній підшипник втулки; 7 - шпиндель; 8 - лопасть в робочому положенні; 9 - тяга механізму регулювання; 10 - головний порожнистий вал; 11 - гвинтовий паз механізму автоматичної зупинки вітроколеса.

Центральний порожнистий вал передає обертовий момент з вітроколеса на редуктор. Механізм зміни кута установки лопастей підтримується обертовим порожнистим валом, що проходить всередині шпинделя. Механізм зміни кута установки лопастей пов'язаний безпосередньо зі скобою, з'єднаної за допомогою важелів з лопастями. Поступальний рух штока механізму зміни кута установки лопастей змушує лопасть повертатися щодо її поздовжньої осі. Переміщення досить для того, щоб змінити становище лопасті в усьому робочому діапазоні, включаючи повне флюгерне положення. Багатоелементний затиск і підшипники лопастей також входять в конструкцію центральної частини вітроколеса.

Затискачі лопастей з'єднують лопасті з втулкою і передають навантаження на підшипники і важелі регулятора. З'єднання затискачів з втулкою здійснено за допомогою конічних роликових підшипників, здатних сприймати великі моменти і ударні навантаження. Лопасті кріпляться до затискачів за допомогою багатоелементного з'єднання з подвійними штифтами, яке охоплює підставу лонжерона. Важіль, з'єднаний із задньою кромкою лопасті, дозволяє впливати на неї з метою повороту.

# РОЗДІЛ 3
# СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

## 3.1 Вибір випрямляча напруги

Випрямляч - перетворювач електричної енергії; механічний, електровакуумний, напівпровідниковий або інший пристрій, призначений для перетворення змінного вхідного електричного струму в постійний вихідний електричний струм.

Випрямлячі зазвичай використовуються там, де потрібно перетворити змінний струм в постійний струм. Застосування випрямлячів для перетворення змінного струму в постійний викликало поняття середнього значення струму по модулю (тобто без врахування знаку ординати) за період. При двопівперіодному випрямлені середнє значення по модулю визначається як середньоарифметичне значення всіх ординат обох напівхвиль за цілий період без врахування їх знаків (тобто вважаючи всі ординати за період позитивними, що і має місце при двопівперіодному ідеальному випрямленні).

Приймачами електроенергії з нелінійними характеристиками є в першу чергу різні перетворюючі установки змінного струму в постійний, що використовують різні вентилі.

Сюди відносяться випрямні установки для:

- залізничної тяги;
- міського електротранспорту;
- електролізу (виробництво алюмінію, хлору, їдкого натру та ін.);
- живлення приводів прокатних верстатів;
- збудження генераторів електростанцій.

Як вентилі до останнього часу використовувалися в основному ртутні випрямлячі (некеровані і керовані). В даний час широке застосування знаходять переважно кремнієві напівпровідникові випрямлячі та тиристорні випрямлячі.

Зазвичай випрямні установки виконуються великої потужності і приєднуються через спеціальні трансформатори до мережі живлення на напрузі

6 - 10 кВ. Випрямні установки невеликої потужності виконуються за трифазною схемою з нульовим виводом. Для даної роботи обраний випрямляч типу ВГ - ТПЕ представлений на рис. 3.1.

Випрямлячі для гальванічних ванн ВГ-ТПЕ і ВГ-ТПВ (трифазні випрямлячі для гальванічних ванн з постійним струмом на виході) призначені для живлення випрямленою однонаправленим або реверсивним струмом гальванічних ванн. Крім того, можуть бути використані для живлення верстатів електрохімічної обробки металів, установок стічних вод та іншого обладнання.

Випрямлячі ВГ-ТПЕ і ВГ-ТПВ мають вбудований силовий трансформатор з природним повітряним охолодженням.

Підвищено надійність роботи випрямлячів для гальванічних ванн нової серії внаслідок спрощення схемотехніки і зменшення кількості органів управління і налаштування. Поліпшено їх масо-габаритні дані. Крім того, з метою підвищення електробезпеки виключена подача напруги мережі живлення на контакти органів управління і сигналізації, розташованих на двері шафи і пульта управління випрямлячів.

Кожен з випрямлячів ВГ-ТПЕ і ВГ-ТПВ комплектується виносним пультом управління, що мають герметичне виконання з підвищеною корозійною стійкістю, який може бути встановлений або на даху шафи випрямляча, або безпосередньо близько гальванічної ванни.

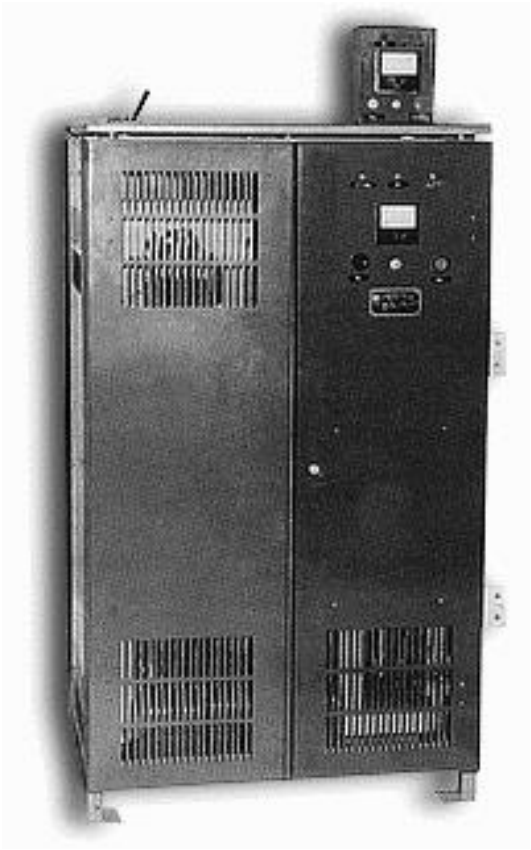

Рис. 3.1 – Випрямляч типу ВГ – ТПЕ

Технічні характеристики випрямляча ВГ-ТПЕ -400-0 УХЛ4:

Вхідні параметри:

- Напруга - 380 ± 38 В;

- Число фаз - 3;

- Частота - 50 Гц.

Вихідні параметри:

- Номінальна напруга - 400В;

- Номінальний струм - 400 А;

- Рід струму - постійний;

- Діапазон регулювання установки стабілізованого струму (при зміні напруги на навантаженні від 0,25 $U_{ном}$ до $U_{ном}$), процентів від 10 до 100;

- Напруги - ±2;

- Струму - ±3;

- Термін служби - 20 років;

- Гарантійний термін експлуатації - 2 роки.

## 3.2 Вибір і розрахунок акумуляторних батарей

Так як в комплект стабілізатора акумулятори не входять, необхідно підібрати потрібну кількість батарей здатних живити електрообладнання під час слабкого вітру або його відсутності. Для цього приймаємо літій-іонні акумулятори (ЛІА), так як вони мають більшу густину струму ніж кислотні. Акумулятори моделі LT-LYP 770, номінальною ємності 770 А·год. Вони будуть служити додатковим джерелом живлення при зменшенні виробленої потужності ВЕУ через зниження швидкості вітру. Розрахунковий час 1 година.

Акумуляторна батарея моделі LT-LYP 770 представлена на рис. 3.2.

Рис. 3.2 – Акумуляторна батарея моделі LT-LYP 770

Принцип роботи ЛІА, заряд і розряд акумулятора представлені на рис. 3.3 і 3.4 відповідно.

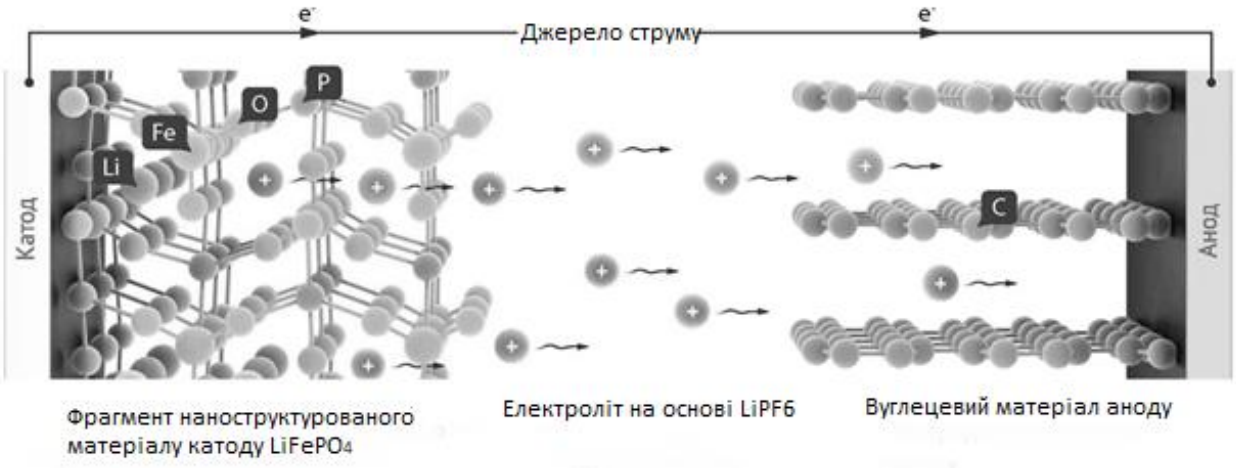


Рис. 3.3 – Зарядка літій-іонного акумулятора.

В процесі зарядки акумулятора катіони літію, які володіють найвищим негативним потенціалом у порівнянні з будь-якими іншими металами (-3,045 В відносно стандартного водневого електрода) і найменшим розміром іона, переміщаються і ефективно зворотно інтеркалірують в матеріал анода.

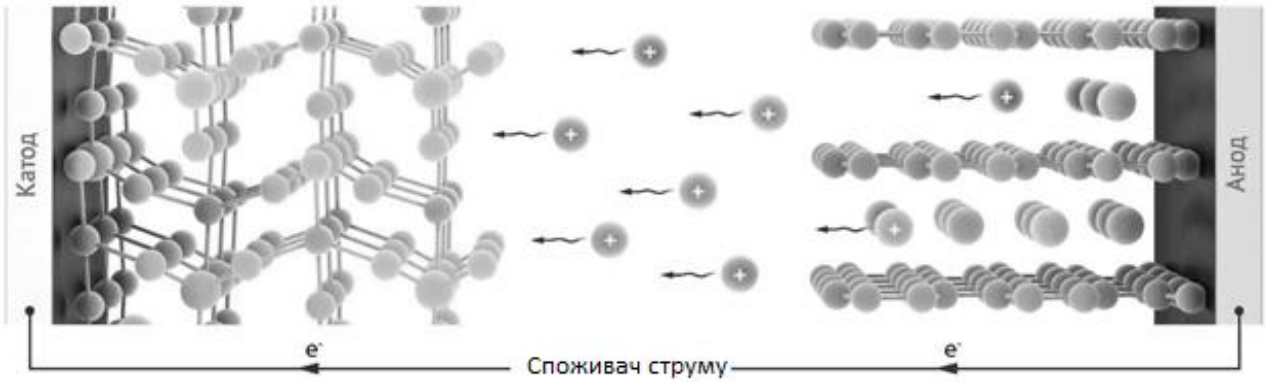


Рис. 3.4 – Розрядка літій-іонного акумулятора

Завдяки наноструктурі матеріалу катода в процесі розрядки акумулятора іони літію здатні оборотно ефективно інтеркалірувати в кристалічну решітку даного діелектрика на глибину до 50 нм. Така структура катода забезпечує високу ефективність акумулятора і більше 3000 циклів зарядки-розрядки.

Розрахуємо активну потужність батарей для одного ДБЖ:

$$P_{\text{бат}} = 600 \text{ кВт}.$$

Розрахуємо необхідну кількість елементів батареї:

$$N = U_{\text{ном}}/U_{\text{ел}},$$

де N – розрахована кількість елементів батареї;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга на вході інвертора, В;

$U_{\text{ел}}$ – номінальну напругу на одному елементі батареї, В.

$$N = 400/3{,}2 = 125$$

Приймаємо 128 елемента, що відповідає 32 ЛІА, підключених послідовно (одна лінійка).

Розрахуємо необхідну потужність на один елемент батареї:

$$P_{\text{ел}} = P_{\text{бат}}/N,$$

де $P_{\text{ел}}$ – потужність одного елементу, Вт.

$$P_{ел} = 600000/128 = 4687{,}5 \text{ Вт.}$$

Таблиця 3.1

**Розряд ЛІА постійної потужності, Вт при $25^0$С**

| час, год | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | 2 | 3 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Навантаження, Вт/ел-т | 3141,6 | 2166,8 | 1667,8 | 1367,5 | 794,6 | 605 | 400,6 |

Для розрядки АКБ протягом години навантаження має бути 1367,5 Вт/елемент.

1367,5 <4687,5– умова не виконана.

Для зниження навантаження на елемент батареї збільшимо число лінійок до 2-х.

$$P_{ел} = 600000/256 = 2343{,}8, \text{ Вт.}$$

1367,5 >2343,8– умова не виконана.

Для зниження навантаження на елемент батареї збільшимо число лінійок до 3-х.

$$P_{ел} = 600000/384 = 1562{,}5, \text{ Вт.}$$

1367,5 >1562,5 – умова не виконана.

Для зниження навантаження на елемент батареї збільшимо число лінійок до 4-х.

$$P_{ел} = 600000/512 = 1171{,}9 \text{ Вт.}$$

1367,5 >1171,9 – умова виконана.

Таким чином, для одного інвертора приймаємо 4 паралельно підключених лінійки по 32 ЛІА кожна, об'єднані в акумуляторний блок (АБ). Всього необхідно 128 ЛІА, вартістю 35500 грн. кожна. Загальна вартість всіх батарей - 4544000 грн.

### 3.3 Контроль заряду-розряду акумуляторів

В роботі акумулятори використовуються як додаткове джерело живлення на час зниження швидкості нижче 8 м/с вітру і, отже, зниження виробленої вітрогенераторами потужності, або на момент короткочасного штилю. Під час

штилю АКБ здатна забезпечувати підприємство електроенергією протягом години [3].

Після заживлення навантаження за допомогою акумуляторів, їх необхідно заряджати. СФГ «Берег» працює у дві зміни. Закінчення виробничих робіт відбувається о 24:00. З 24:00 до 8:00 підприємство практично не використовує електроенергію. Цей часовий проміжок підходить для зарядки акумуляторів.

Струм заряду не повинен перевищувати певне значення. Контроль сили струму заряду здійснюється керуючим контролером.

### 3.4 Інвертори напруги

Інвертори напруги - інвертором напруги (по зарубіжній термінології DC / AC converter) називають пристрій, що перетворює електричну енергію джерела напруги постійного струму в електричну енергію змінного струму.

Інвертори напруги (ІН) можуть застосовуватися у вигляді окремого закінченого пристрою або входити до складу джерел і систем безперебійного живлення апаратури електричної енергії змінного струму. Потреба в таких пристроях пов'язана з широким впровадженням в різних галузях промисловості. При цьому недостатня надійність мереж змінного струму є основним джерелом порушення технологічного циклу виробничих процесів і пов'язана з великими економічними ризиками. Інвертори напруги дозволяють усунути або принаймні послабити залежність роботи інформаційних систем від якості мереж змінного струму. Наприклад, в персональних комп'ютерах, інформаційних центрах на базі ПК при раптовій відмові мережі за допомогою резервної акумуляторної батареї і інвертора можна забезпечити роботу комп'ютерів для коректного завершення вирішуваних завдань.

У більш складних відповідальних системах інверторні пристрої можуть працювати в тривалому контрольованому режимі паралельно з мережею або незалежно від неї. Крім «самостійних» функцій, де інвертор виступає в якості джерела живлення споживачів змінного струму, широкий розвиток отримали

технології перетворення енергії, де інвертор є проміжною ланкою в колі перетворювачів.

Принциповою особливістю інверторів напруги для таких інверторів є висока частота перетворення (десятки-сотні кілогерц). Для ефективного перетворення енергії на високій частоті потрібна більш досконала елементна база (напівпровідникові ключі, магнітні матеріали, спеціалізовані контролери). Як і будь-який інший силовий пристрій, інвертор повинен мати високий ККД, володіти високою надійністю і мати прийнятні масо-габаритні характеристики. Крім того, ІН повинен мати допустимий рівень вищих гармонійних складових у кривої вихідної напруги (допустиме значення коефіцієнтів гармонік) і не створювати при роботі неприпустимий для інших споживачів рівень пульсації на затискачах джерела енергії.

Робота інвертора напруги (ІН) ґрунтується на перемиканні джерела постійної напруги з метою періодичної зміни полярності напруги на затискачах навантаження. Частота перемикання «задається» сигналами управління, які формуються керуючою схемою (контролером). Контролер також може вирішувати додаткові завдання:

- регулювання напруги;
- синхронізація частоти перемикання ключів;
- захистом їх від перевантажень та ін.

### 3.4.1 Методи технічної реалізації інверторів напруги і особливості їх роботи

Ключі інвертора повинні бути керованими (вмикаються і вимикаються по сигналу управління), а також мати властивість двосторонньої провідності струму. Як правило такі ключі отримують шунтуванням транзисторів зворотними діодами. Винятком є польові транзистори, в яких такий діод є внутрішнім елементом його напівпровідникової структури. Регулювання вихідної напруги інверторів досягається зміною площі імпульсу напівхвилі. Найбільш просте регулювання досягається регулюванням тривалості (ширини)

імпульсу напівхвилі. Такий спосіб є найпростішим варіантом методу широтно-імпульсної модуляції сигналів (ШІМ). Порушення симетрії напівхвиль вихідної напруги породжує побічні продукти перетворення з частотою нижче основної, включаючи можливість появи постійної напруги, яка неприпустима для кіл, що містять трансформатори. Для отримання керованих режимів роботи інвертора, ключі інвертора і алгоритм управління ключами повинні забезпечити послідовну зміну структур силового кола, які називаються прямою, короткозамкненою та інверсною.

Миттєва потужність споживача пульсує з подвоєною частотою. Первинне джерело живлення повинно допускати роботу з пульсуючими і навіть змінюючими знак струмами споживання. Змінні складові первинного струму визначають рівень перешкод на затискачах джерела живлення.

### 3.4.2 Типові схеми інверторів напруги

Існує велика кількість варіантів побудови схем інверторів. Історично першими були механічні інвертори, які в епоху розвитку напівпровідникових технологій замінили більш технологічні інвертори на базі напівпровідникових елементів, і цифрові інвертори напруги. Але все ж, як правило, виділяють три основні схеми інверторів напруги [24]:

- Мостовий інвертор без трансформатора, представлений на рис. 3.5;
- Інвертор напруги з нульовим виводом трансформатора, представлений на рис. 3.6;
- Мостовий інвертор напруги з трансформатором, представлений на рис. 3.7.

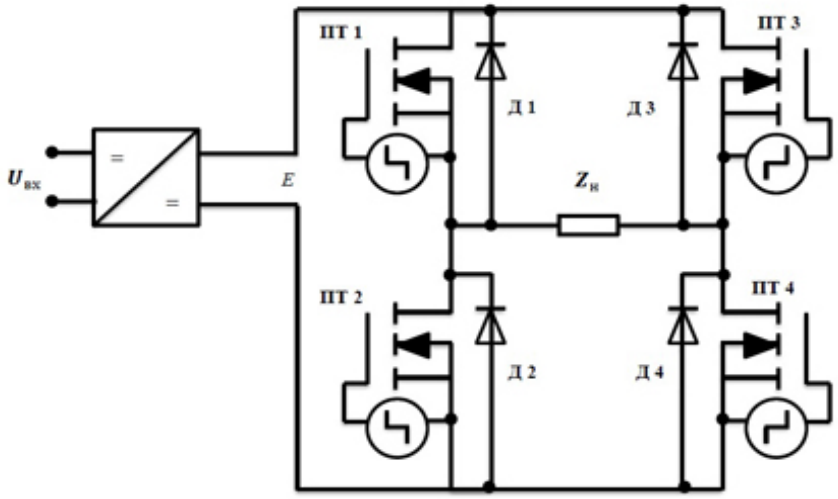


Рис. 3.5 – Мостовий ІН без трансформатора

Область застосування: пристрої безперебійного живлення потужністю понад 500 ВА, установки з високим значенням енергії (220..360 В).

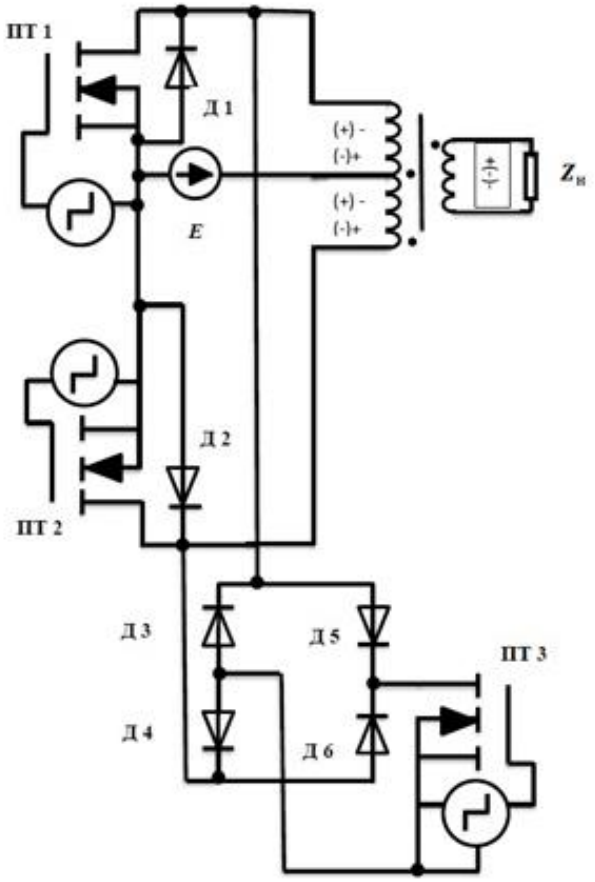


Рис. 3.6 – Інвертор напруги з нульовим виводом трансформатора

Область застосування: Пристрої безперебійного живлення комп'ютерів потужністю (250 .. 500 ВА), при низькому значенні напруги (12..24 В), перетворювачі напруги для мобільних систем радіозв'язку.

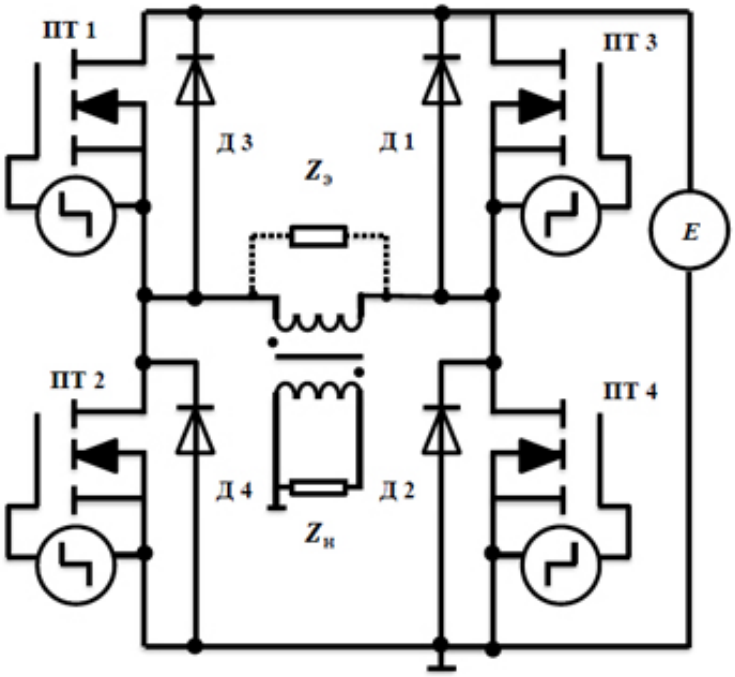


Рис. 3.7 – Мостовий інвертор напруги з трансформатором

### 3.4.3 Принцип побудови інверторів

Інвертори з прямокутною формою вихідної напруги.

Перетворення постійної напруги первинного джерела в змінну досягається за допомогою групи ключів, періодично комутованих таким чином, щоб отримати знакозмінну напруга на затискачах навантаження і забезпечити контрольований режим циркуляції в колі реактивної енергії. В таких режимах гарантується пропорційність вихідної напруги. Залежно від конструктивного виконання модуля перемикання (модуля силових ключів інвертора) і алгоритму формування керуючих впливів, таким фактором можуть бути відносна тривалість імпульсів управління ключами або фазовий зсув сигналів управління протифазних груп ключів. У разі неконтрольованих режимів циркуляції реактивної енергії реакція споживача з реактивними складовими навантаження впливає на форму напруги і його вихідну величину.

Інвертори напруги із ступінчастим формою кривої вихідної напруги

Принцип побудови такого інвертора полягає в тому, що за допомогою попереднього високочастотного перетворення формуються однополярні ступінчасті криві напруги, що наближаються за формою до однополярної синусоїдальної кривої з періодом, рівним половині періоду зміни вихідної напруги інвертора. Потім за допомогою, як правило, мостового інвертора однополярні ступінчасті криві напруги перетворяться в різнополярну криву вихідної напруги інвертора.

Інвертори з синусоїдальною формою вихідної напруги.

Принцип побудови такого інвертора полягає в тому, що за допомогою попереднього високочастотного перетворення отримують напругу постійного струму, значення якої близьке до амплітудного значення синусоїдальної вихідної напруги інвертора. Потім цю напругу постійного струму за допомогою, як правило, мостового інвертора перетворюють в змінну напругу за формою, близькою до синусоїдальної, за рахунок застосування відповідних принципів управління транзисторами цього мостового інвертора (принципи так званої «багаторазової широтно-імпульсної модуляції»). Ідея цієї «багаторазової» ШІМ полягає в тому, що на інтервалі кожного напівперіоду вихідної напруги інвертора відповідна пара транзисторів мостового інвертора комутується на високій частоті (багаторазово) при широтно-імпульсному управлінні. Причому тривалість цих високочастотних імпульсів комутації змінюється за синусоїдальним законом. Потім за допомогою високочастотного фільтра нижніх частот виділяється синусоїдальна складова вихідної напруги інвертора.

Інвертори напруги з самозбудженням

Інвертори з самозбудженням (автогенератори) відносяться до числа найпростіших пристроїв перетворення енергії постійного струму. Відносна простота технічних рішень або досить висока енергетична ефективність призвела до їх широкого застосуванню в малопотужних джерелах живлення в системах промислової автоматики і генеруванні сигналів прямокутної форми, особливо в тих випадках, де відсутня необхідність в управлінні процесом

передачі енергії. У цих інверторах використовується позитивний зворотний зв'язок, що забезпечує їх роботу в режимі стійких автоколивань, а перемикання транзисторів здійснюється за рахунок насичення матеріалу магнітопроводу трансформатора. У зв'язку зі способом перемикання транзисторів, за допомогою насичення матеріалу магнітопроводу трансформатора, виділяють недолік схем інверторів, а саме низький ККД, що пояснюється великими втратами в транзисторах. Тому такі інвертори застосовуються при частотах не більше 10 кГц і вихідний потужності до 10 Вт. При істотних перевантаженнях і коротких замиканнях в навантаженні в будь-якому з інверторів з самозбудженням відбувається зрив автоколивань (всі транзистори переходять в закритий стан).

Автономний інвертор напруги

Автономним (незалежним) інвертором є перетворювач, вихідні параметри якого (форма, амплітуда, частота вихідної напруги) визначаються схемою перетворювача, системою управління і режимом його роботи на відміну від інвертора, веденого мережею, вихідні параметри якого визначаються параметрами мережі.

Для даної системи потрібно автономний інвертор напругою не менше 380 В. Вибір автономного інвертора VW3A7258 є найкращим варіантом.

Технічні характеристики VW3A7258:

- Номінальна потужність – 675 кВт;

Вхідні характеристики:

- Номінальна напруга – 400 В;
- Частота - 50Гц;
- Вхідний коефіцієнт потужності - 0,99;

Вихідні характеристики:

- Номінальна напруга - 380 В;
- Вихідний коефіцієнт потужності - 0,9;
- Частота - 50 Гц;

# РОЗДІЛ 4
# ВИБІР ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО ВВОДУ РЕЗЕРВУ

Вибираємо пристрій АВР-0,4 кВ типу Е20.

Технічні характеристики:

- номінальну напругу (лінійна / фазна) - 380/220 В;
- номінальний струм ввідний - 2000 А;
- частота - 50 Гц;
- номінальна напруга ізоляції - 660 В;
- струм електродинамічної стійкості (не більше) - 65 кА;
- вид системи заземлення - TN;
- клас захисту від ураження електричним струмом - 1.

Ступінь захисту:

- з фасадної і бічних сторін - 40 IP;
- з інших сторін - 00 IP;
- маса (не більше) - 500 кг.

Габаритні розміри:

- ширина - 500 мм;
- глибина - 400 мм;
- висота - 1800 мм.

Нормальна робота шафи забезпечується за таких умов:

- температура навколишнього середовища - -25 ... + 40 ° С;
- висота над рівнем моря не більше - 1000 м;
- відносна вологість всередині приміщення, не більше (при температурі 20ºС) - 90%.

Пристрій АВР-0,4 кВ типу Е-32, Е-25, Е20, Е-16 призначений для здійснення автоматичного взаємного резервування живлення секцій РУНН двосекційної (двопроменевої) комплектної трансформаторної підстанції потужністю: 2х1600, 2х1250, 2х1000 і 2х630 кВА відповідно.

Комплект АВР складається з двох стійок, в одній з яких розміщені ввідний та секційний роз'єднувач, а в другій - ввідний вимикач і секційний роз'єднувач. Крім того, в обох стійках розміщені: апаратура вторинної комутації, сигнальна апаратура і органи управління пристроєм.

В якості ввідних / секційних використовуються автоматичні вимикачі SACE Emax типу:

- E3N (3150A) / E2N (2000A) - для ТП до 1600 кВА;
- E3N (2500A) / E2N (1600A) - для ТП до 1250 кВА;
- E2B (2000A) / E1B (1600A) - для ТП до 1000 кВА;
- E1B (1600A) / E1B (1000A) - для ТП до 630 кВА.

Вимикачі мають моторний привід, електромагніт включення, незалежний розчіплювач для відключення і електронний розчіплювач максимального струму, що має обернено залежну від струму витримку часу.

У нормальному режимі живлення ввідні автомати включені і живлять кожен свою секцію РУНН від відповідного силового трансформатора (незалежні джерела живлення). Секційний автомат в нормальному режимі - відключений. При порушенні електропостачання з боку будь-якого з живильних променів (зниженні фазної напруги до величини $0,77U_{ф.ном.}$, зниженні напруги на будь-який з трьох фаз до величини $0,6U_{ф.ном.}$, обриві однієї, двох або трьох фаз, порушенні чергування фаз) схема АВР з витримкою часу відключає відповідний ввідний автомат і включає секційний, подаючи тим самим живлення на РУНН від неушкодженого джерела.

Таким чином, здійснюється взаємне резервування двох незалежних джерел живлення кожної зі зборок підстанції. При відновленні нормального живлення схема з витримкою часу повертається в початковий стан (відключається секційний автомат, після чого без витримки часу включається ввідний).

Можливо в якості ввідних і секційних застосування автоматичних вимикачів Masterpact типу:

- NW32H1 (3200A) / NW20H1 (2000A) - для ТП до 1600 кВА;
- NW25H1 (2500A) / NW16H1 (1600A) - для ТП до 1250 кВА;

- NW20H1 (2000A) / NW16H1 (1600A) - для ТП до 1000 кВА;
- NW16H1 (1600A) / NW10H1 (1000A) - для ТП до 630 кВА.

Таблиця 4.1

**Специфікація обладнання**

| Найменування | Кількість, шт. | Вартість одиниці, тис. грн. | Загальна вартість, тис. грн. |
|---|---|---|---|
| ENERCON моделі 500 | 4 | 4182 | 16728 |
| ВГ-ТПВ-600-0 УХЛ4 | 1 | 180 | 180 |
| VW3A7258 | 1 | 700 | 700 |
| LT-LYP770 | 128 | 35,5 | 4544 |
| АВР-0,4 кВ типу Е-20 | 1 | 120 | 120 |

# РОЗДІЛ 5
# РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОНТРОЛЕРА ВЕУ

## 5.1 Розробка імітаційної моделі вітроенергетичної установки

Використання методів імітаційного моделювання систем керування дозволяє не тільки істотно скоротити витрати на дослідження, розробку і випробування, але і істотно зменшити час розробки пристрою.

Домогтися підвищення ефективності процесу розробки систем керування можна за рахунок застосування імітаційного моделювання. При цьому модель системи керування повинна підтримувати програмування на мові високого рівня, щоб забезпечити переносимість програми управління на цільову систему. Як середовище розробки і дослідження обрано пакет прикладних програм для математичних розрахунків MATLAB, широко поширений як в науковому середовищі, так і в різних проектних організаціях [22].

Програмний продукт Matlab (скор. від англ. «Matrix Laboratory”) розроблений фірмою Math Works Inc., який широко застосовується при розробці моделюванні характеристик в електроприводі:

- Matlab – ядро комплексу, реалізує широкий спектр математичних методів та засобів візуалізації даних.
- Simulink – професійний тулбокс ( Toolbox (англ.) – набір інструментів призначений для моделювання ).
- Power System Blockset – професійний тулбокс, призначений для моделювання енергетичних і електромеханічних систем.
- Набір тулбоксів, які спеціалізують Matlab для виконання спеціальних функцій: оптимізація, синтез систем, нечітка логіка, нейронні мережі та ін.

Працюють пакети під управлінням Matlab і використовують увесь спектр його можливостей.

Метою імітаційного моделювання є дослідження ефективності ВЕУ при використанні різних стратегій і алгоритмів управління.

Модель вітроенергетичної установки складається з наступних компонентів:

Вітродвигун - перетворювач енергії вітру в механічну енергію обертання. Вітродвигун включає в себе вітроколесо - елемент конструкції ВЕУ, що складається з лопастей, крил або інших частин, який сприймає набігаючий потік повітря і перетворює енергію цього потоку в обертальний рух, що передається на вал генератора або іншого пристрою використання механічної енергії.

Електричний генератор - електрична машина, що перетворює механічну енергію обертання валу в електричну енергію.

Генератори вітроенергетичних установок бувають різних типів, наприклад генератори постійного струму, асинхронні генератори, вентильні (синхронні) та інші. Тип генератора визначається розробником вітроенергетичної установки і вибирається з умов експлуатації, вимог до потужність і якості електричної енергії, яка генерується.

Контролер заряду акумуляторної батареї - пристрій, призначений для підтримки струму і напруги, необхідної для заряду акумуляторних батарей. Контролер заряду акумуляторної батареї регулює значення струму і напруги на вході і на виході, забезпечуючи оптимальний режим заряду акумуляторів.

Інвертор - пристрій, що перетворює напругу постійного струму в напругу змінного струму. Акумуляторні батареї є джерелом напруги постійного струму, а більшість споживачів електроенергії навпаки розраховані на змінну напругу 220 або 380В при частоті 50Гц. Часто інвертори об'єднують кілька функцій: перетворюють постійний струм в змінний, є контролерами заряду; забезпечують захист акумуляторної батареї від перезаряду і перерозряду; виконують роль баластного навантаження для генератора.

Існують 2 типу інверторів, що відрізняються за якістю змінного струму: з синусоїдальною вихідною напругою і, так званою «модифікованою синусоїдою». Перші відрізняються більш високою вартістю, але дозволяють живити будь-які навантаження, чутливі до якості електроенергії. Другі

відрізняються меншою вартістю, але не призначені для живлення індуктивного навантаження: пристрої з електродвигунами і трансформаторами.

Акумуляторні батареї - пристрої, призначені для накопичення електроенергії.

Для формування вимог до універсальної комп'ютерної моделі вітроенергетичної установки потрібно визначити граничні умови застосовності моделі [7].

Основною характеристикою, що впливає на ефективність вітроенергетичної установки, є коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ) - відношення механічної потужності вітроколеса до повної потужності енергії вітру, що проходить через площу вітроколеса ВЕУ [22].

Комп'ютерна модель вітроенергетичної установки була розроблена з наперед заданим коефіцієнтом використання енергії вітру вітродвигуна і універсальним контролером для забезпечення можливості зміни алгоритму управління, функціональна схема моделі приведена на рис. 5.1.

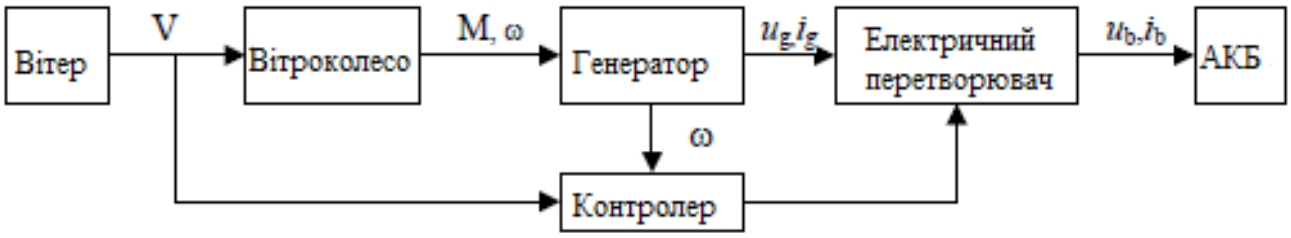


Рис. 5.1 – Функціональна схема імітаційної моделі вітроенергетичної установки

## 5.2 Розробка моделі керуючого контролера ВЕУ

Для забезпечення якісної зарядки акумуляторної батареї в складі вітроенергетичної установки і забезпечення функціонування вітроенергетичної установки згідно із заданими алгоритмами необхідно застосовувати контролер вітроенергетичної установки. Основні функції, що покладаються на контролер:

- регулювання струму генератора в умовах постійно змінної швидкості вітру для забезпечення необхідної частоти обертання;

- обмеження струму заряду акумуляторної батареї;

- забезпечення умов безпечної роботи обладнання вітроенергетичної установки в робочих і аварійних режимах.

На даний момент існує ряд різних способів і режимів зарядки акумуляторних батарей. Всі зарядні пристрої (ЗП) повинні забезпечувати найбільш оптимальний режим заряду від початку до кінця процесу зарядки. Таким чином, ЗП забезпечують і автоматично змінюють величини напруги і струму в залежності від стадії самого процесу зарядки. При зарядці акумуляторної батареї постійним струмом протягом усього часу заряду величина зарядного струму залишається постійною. Перевагою такого способу зарядки є відносно мала тривалість заряду, проте в даному випадку відбувається прискорене «старіння» АКБ через високі струмові навантаження на останній стадії зарядки і, отже, знижується термін служби АКБ. Якщо ж процес зарядки проводити при постійній напрузі, то на останній стадії процес істотно сповільнюється і зростає час зарядки АКБ. Третій спосіб - комбінований або ж суміщений режим, що поєднує два раніше описаних способи. У початковій стадії процесу проходить заряд постійним струмом, а на завершальному етапі відбувається стабілізація напруги.

Можна стверджувати, що більшість усіх сучасних ЗП працює за комбінованим методом, що дозволяє оптимізувати такі параметри зарядки АКБ, як тривалість процесу і температура акумуляторної батареї. Додатковою перевагою такого підходу є можливість оптимізації параметрів зарядки для збільшення ресурсу акумуляторної батареї. Вплив параметрів заряду акумуляторної батареї на її ресурс можна пояснити тим, що струм заряду акумуляторної батареї призводить до її нагрівання, а температура електроліту впливає на швидкість протікання хімічної реакції в АКБ. З одного боку, це прискорює процеси накопичення і віддачі електричної енергії, що дозволяє збільшити електричні струми розряду / заряду і скоротити час заряду АКБ, з іншого боку це призводить до прискорення процесів деградації властивостей акумуляторної батареї.

Дане протиріччя може бути вирішено розв’язанням задачі створення оптимального алгоритму зарядки.

Simulink дозволяє користувачеві створювати власні блоки і об'єднувати їх в бібліотеки для подальшого використання. Для цього існують два способи: графічний і програмний. Графічний спосіб являє собою створення моделі зі стандартних блоків Simulink для реалізації функцій системи керування. Цей спосіб не є універсальним в силу того, що для перенесення результатів розробки на цільову систему керування потрібні трудомісткі операції по адаптації властивостей розроблюваного керуючого пристрою до результатів отриманої комп'ютерної моделі. Програмний спосіб є більш універсальним в силу того, що дозволяє створити комп'ютерну модель керуючого пристрою, в основі якої покладені властивості і алгоритми роботи керуючого пристрою. При цьому робота цього пристрою буде здійснюватися на базі програмного забезпечення, написаного на мові високого рівня, і придатного для управління комп'ютерною моделлю.

При цьому завдання полягає в тому, щоб створити блок, що моделює роботу керуючої системи відповідно до заданого алгоритму, який міг би використовувати програмний код системи з мікропроцесорним керуванням.

Для реалізації можливості створення блоків користувачів з різними властивостями, що задаються за допомогою програми, в Simulink існує блок S-Function. Цей блок повинен бути пов'язаний з програмою, написаною на мові високого рівня і описуючої роботу цього блоку. У цій програмі зазвичай задаються такі параметри, як число входів і виходів цього пристрою, параметри ініціалізації блоку, а також взаємозв'язок між входами і виходами. При цьому опис роботи цього блоку може бути виконано на мові С, що дозволяє зручно перенести цю програму на розроблений пристрій.

Для перевірки працездатності математичної моделі вона була реалізована за допомогою блоку S-Function в пакеті для математичних розрахунків MATLAB / Simulink, загальний вигляд моделі представлений на рис. 5.2.

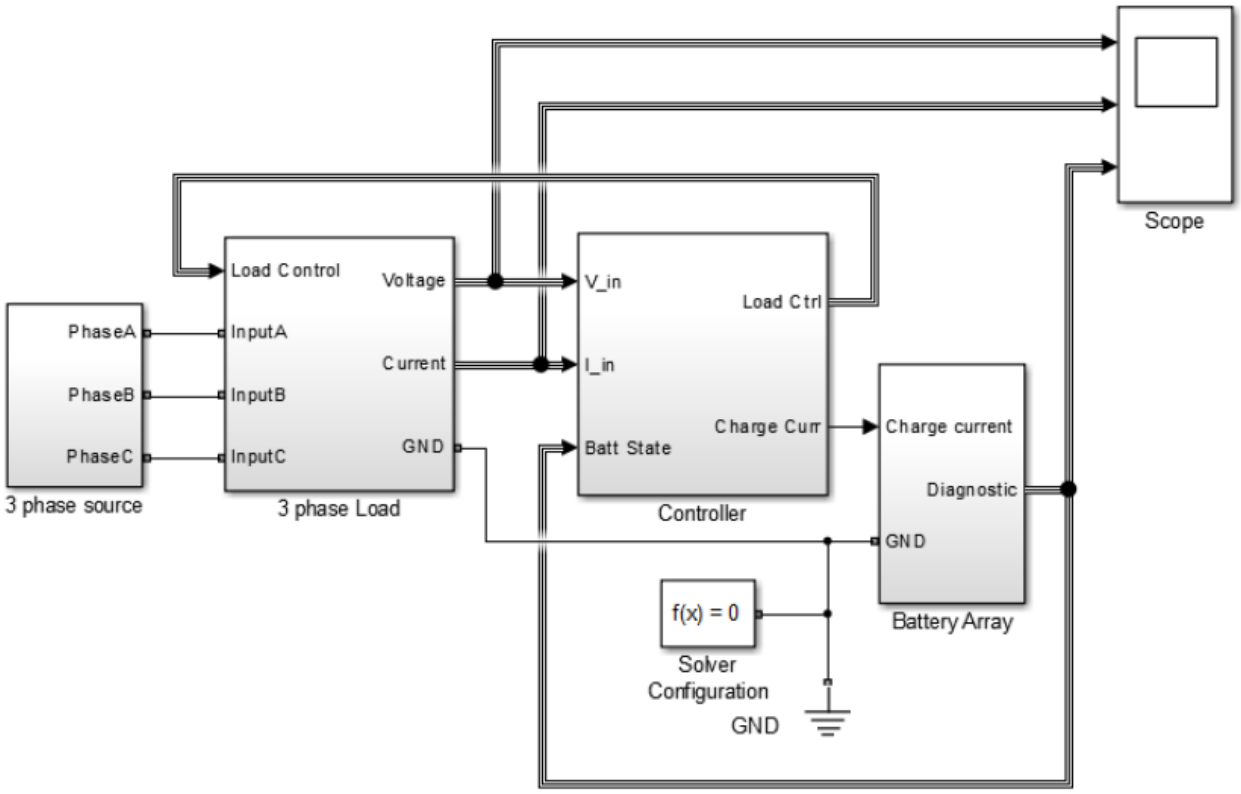


Рис. 5.2 – Загальний вигляд моделі в MATLAB/Simulink

Модель містить наступні основні блоки [2]:

3 phase source - трифазне джерело електричної енергії для зарядного пристрою;

3 phase load - блок, що імітує навантаження електричної мережі і містить датчики струмів і напруг для кожної фази, а також керовані резистори для імітації навантаження;

Controller - блок, що виконує функції керуючого контролера зарядного пристрою, містить в собі блок S-Function, який здійснює зв'язок з керуючою програмою на мові високого рівня;

Battery array - масив комірок акумуляторної батареї, що імітує поведінку реальної акумуляторної батареї і формує сигнали, що несуть інформацію про стан батареї для контролера заряду;

Scope - програмний осцилограф, що дозволяє проконтролювати різні сигнали в процесі проведення чисельного експерименту;

Solver Configuration - блок налаштувань параметрів чисельного експерименту, необхідний для коректної роботи моделей.

Таким чином, основу керуючого пристрою становить блок «Controller», який приймає данні вимірювань системи від датчиків і формує керуючі сигнали. Структурна схема цього блоку приведена на 5.3.

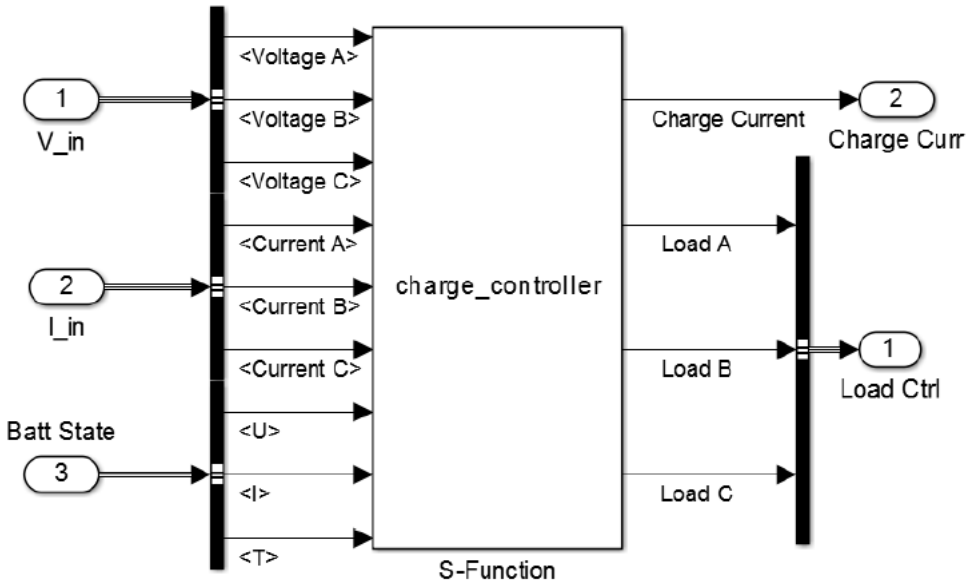


Рис. 5.3 – Структурна схема керуючого пристрою.

З структурної схеми видно, що керуючий пристрій побудовано на блоці S-Function, який реалізований за допомогою програми, написаної на мові високого рівня.

Програмне середовище MATLAB має власний редактор файлів, що дозволяє проводити роботу над вихідним текстом програмного забезпечення без використання сторонніх програм. Вікно редактора представлено на 5.4.

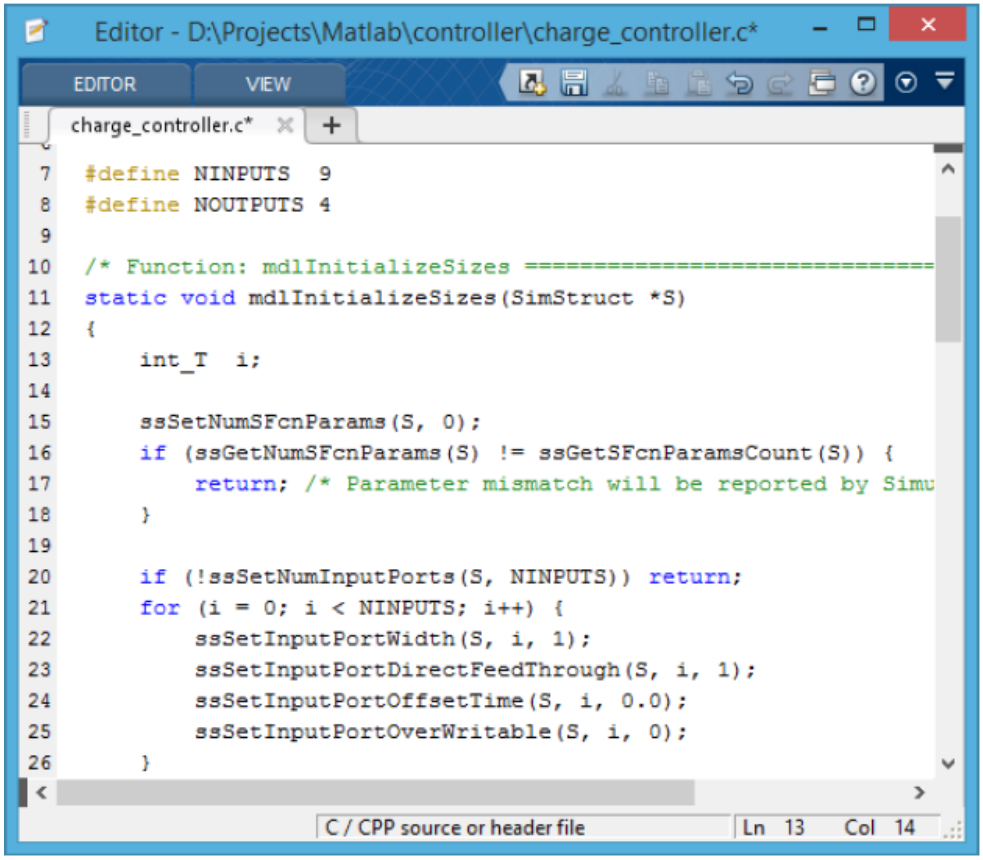


Рис. 5.4 – Загальний вигляд моделі в пакеті MATLAB/Simulink

Текст програми є С-код, в якому можуть бути як оператори і функції мови С, так і callback-функції з макрокомандами, що дозволяють цьому блоку взаємодіяти з типами даних Simulink, виконуючи команди і функції цього пакета. Дані callback-функції викликаються не самим С-файлом, а середовищем Simulink. Макрокоманди, що входять в callback-функції, мають префікс ss - вони спрямовані на роботу зі структурою SimStruct, що містить всю інформацію, яка використовується при моделюванні. Ці макрокоманди дозволяють організувати взаємодію програми з комп'ютерною моделлю в процесі проведення чисельного експерименту. Крім callback-функцій і макрокоманд, С-файл може містити інструкції, що викликають інтерфейсні функції, які є в пакеті Matlab. Для цих операцій призначені функції з префіксом mex.

Callback-функції і макрокоманди являють собою необхідний мінімум для написання файлу на мові С для створення власного S-Function блоку для Simulink.

З допомогою такого файлу користувач пакета Simulink може створити будь-який необхідний йому блок, який буде працювати за заданим алгоритмом. Даний спосіб створення S-Function блоку є найбільш універсальним, оскільки не обмежений вибором бібліотечних елементів і не потребує вивчення користування різних нових інструментів, таких як S-Function Builder.

Таким чином, використання блоку S-Function дозволяє створити будь-який необхідний блок, логіка і алгоритм роботи якого можуть бути описані на мові високого рівня. При цьому частина коду, яка описує роботу цього блоку, може бути легко перенесена на реальну систему, що полегшує розробку програмного забезпечення системи керування, що працює під управлінням мікропроцесора.

Також варто відзначити, що даний спосіб використання блоку S-Function блоку є універсальним, що дозволяє створювати будь-які блоки для комп'ютерної моделі, не обмежуючи кінцевим набором бібліотеки Simulink. Все це призводить до підвищення ефективності процесу розробки систем керування об'єктами за рахунок застосування математичного моделювання, чисельних методів і пакетів прикладних програм.

## 5.3 Розробка схеми універсального керуючого контролера ВЕУ

Наведемо вимоги до керуючого контролера вітроенергетичної установки:

- контролер повинен забезпечувати розподіл генерованої електричної енергії для заряду акумулятора і живлення навантаження;
- контролер має регулювати струм в якірних обмотках генератора для формування оптимального електромагнітного моменту на валу електричної машини, ґрунтуючись на визначенні зовнішніх параметрів ВЕУ (швидкості вітру, частоти обертання вітроколеса, стану акумуляторної батареї та ін.);
- контролер повинен виявляти вихід робочих параметрів за межі безпечних режимів і забезпечувати захист конструкції ВЕУ;
- контролер має по можливості здійснювати зарядку акумуляторної батареї постійним струмом з обмеженням напруги при наявності достатньої потужності.

- контролер повинен запобігати надмірному розряду акумуляторної батареї.
- схема управління контролера повинна бути побудована на основі перепрограмувального мікроконтролера для забезпечення можливості зміни алгоритму управління. Для налаштування, діагностики і програмування контролер повинен мати інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером (PC).

Структурна схема контролера ВЕУ представлена на рис. 5.5.

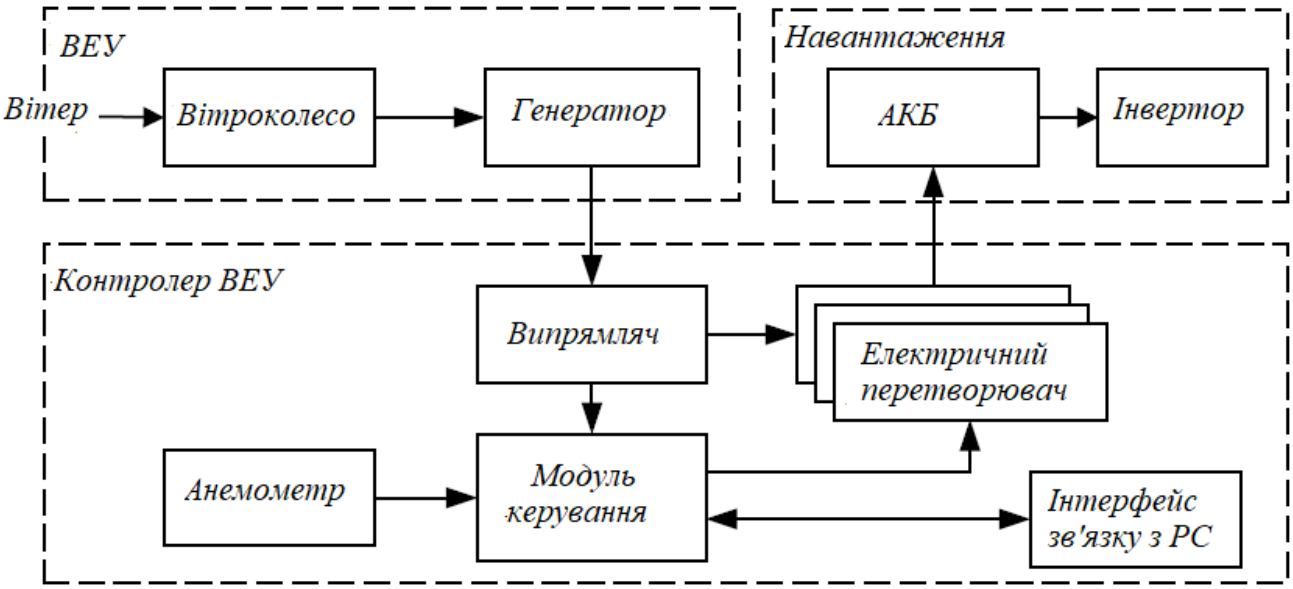


Рис. 5.5 – Структурна схема керуючого контролера ВЕУ

На основі структурній схеми 5.5. розроблена схема електрична принципова керування універсальним контролером.

Напруга електричного генератора вітроенергетичної установки надходить на вхід універсального контролера, де змінний струм випрямляється за допомогою трифазного випрямляча (D2, D3, D4) і передається на роз'єми «PWR_IN» і «PGND1», призначені для підключення регуляторів струму. Так само на схемі зображені перетворювачі рівнів вхідної напруги для узгодження їх з датчиками вхідної напруги і частоти обертання валу генератора, в якості яких виступає АЦП керуючого мікроконтролера.

Випрямлена напруга від генератора надходить на трифазний випрямний міст, побудований за схемою Ларіонова. Після чого випрямлена напруга подається на силові модулі для перетворення в струм зарядки акумуляторних батарей відповідно до закону, який задається мікроконтролером плати

керування. На операційному підсилювачі U6B побудована схема детектора, яка працює в широкому діапазоні вхідних напруг. Це дозволяє визначати частоту обертання ротора в широкому діапазоні за допомогою детектування частоти змінного струму в обмотках генератора. На операційному підсилювачі U6A побудований подільник напруги і фільтр НЧ другого порядку для визначення величини випрямленої напруги генератора.

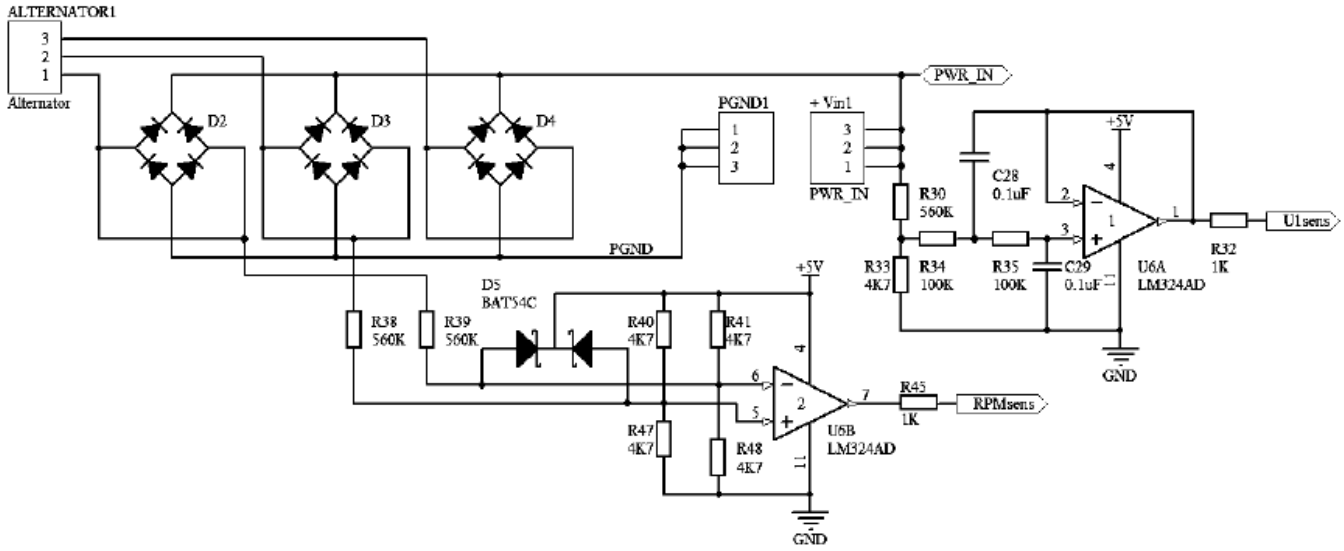


Рис. 5.6 – Схема електрична принципова трифазного випрямляча і перетворювача рівнів для АЦП.

На рис. 5.7 показано перетворювач рівня напруги акумуляторної батареї, виконаний на операційному підсилювачі U6C, і датчик струму U8, призначений для вимірювання струму заряду акумуляторної батареї.

Схема вимірювання струму заряду акумуляторної батареї реалізована за допомогою датчика струму на ефекті Холла ACS754. Датчики струму цієї серії представляють собою інтегральну мікросхему з наступними параметрами:

– максимальний робочий струм ±50 $A$, ±75 $A$, ±100 $A$;

– напруга живлення $U_ж$ = 5...16 В;

– споживаний струм 7 мА (макс. 10 мА);

– вихід по напрузі;

– вихідна напруга пропорційна вхідному струмові: $I_{роб}$ =0 А,

– $U_{вих}$ = 0,5 $U_ж$;

– внутрішній прохідний опір 130 мкОм;

– діапазон робочих частот до 13 кГц;

– напруга ізоляції 3 кВ;

– температурний діапазон –20...+85 ∘С;

На операційному підсилювачі U6C побудована схема подільника напруги і перетворювача рівня для вимірювання напруги на акумуляторній батареї в діапазоні 30..60 В постійного струму за допомогою аналогово-цифрового перетворювача, вбудованого в керуючий мікроконтролер.

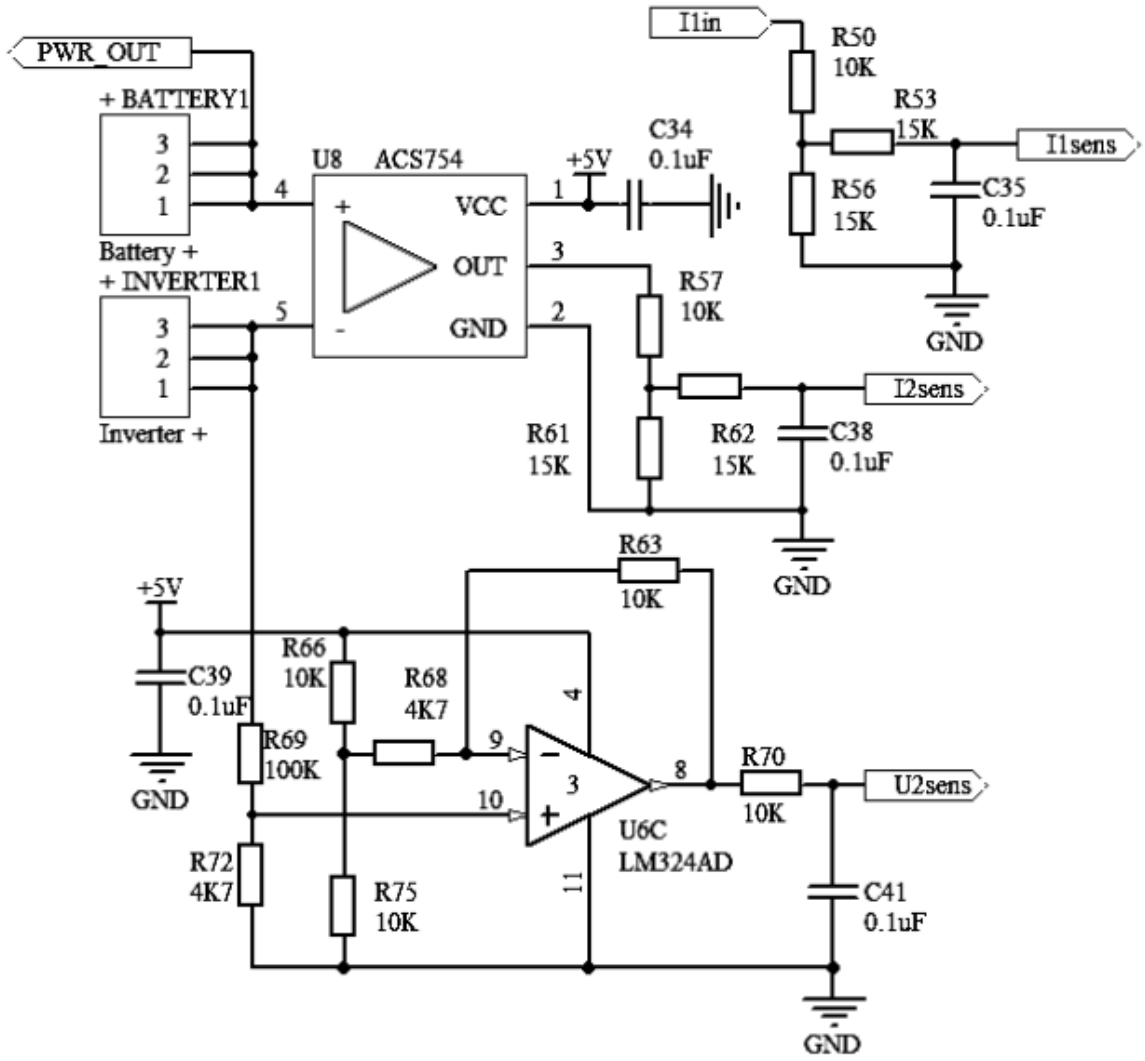


Рис. 5.7 – Схема підключення датчиків струму і напруги АКБ

На рис. 5.8 показано показує схему керування транзисторними ключами, призначеними для управління навантаженням. Ключ відкривається за сигналом управління від мікроконтролера і призначений для включення і відключення

напруги живлення регуляторів струму, що потрібно для забезпечення енергозберігаючих режимів роботи універсального контролера.

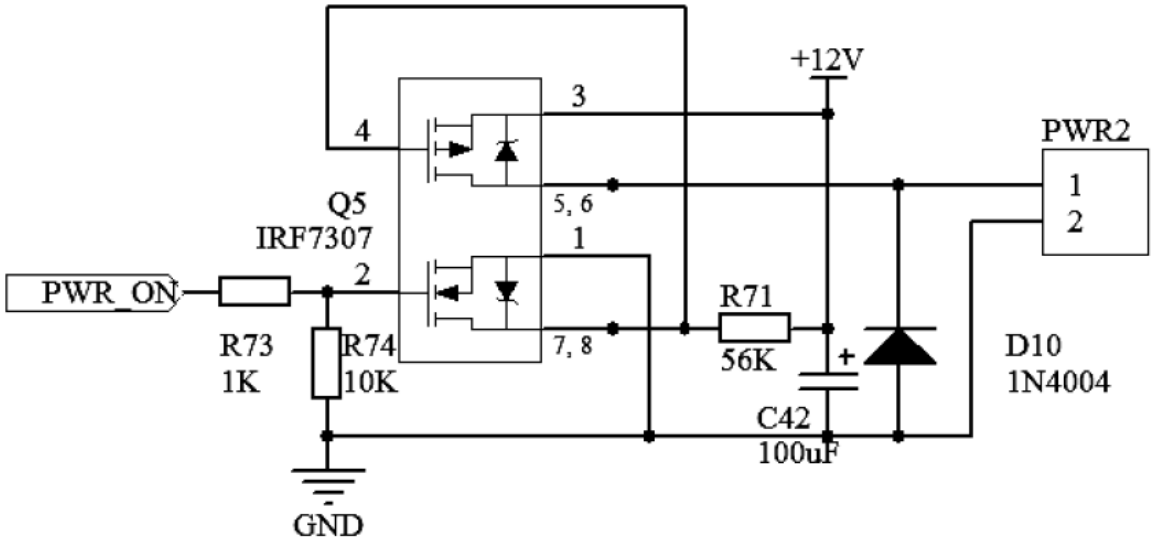


Рис. 5.8 – Схема управління навантаженням за допомогою транзисторних ключів.

Для забезпечення функції обміну даними і командами управління через альтернативний інтерфейс з персональним комп'ютером в конструкцію включений інтерфейс RS-232, електрична схема якого представлена на рис. 5.9. RS232 - широко поширений протокол, застосовуваний для зв'язку засобів обчислювальної техніки з периферійними пристроями та призначений для обміну даними між двома пристроями на відстань до 20 м за допомогою проводового зв'язку рівнями сигналів від +/- 3 до +/- 12 В. Інтерфейс підтримує синхронний і асинхронні режими передачі даних.

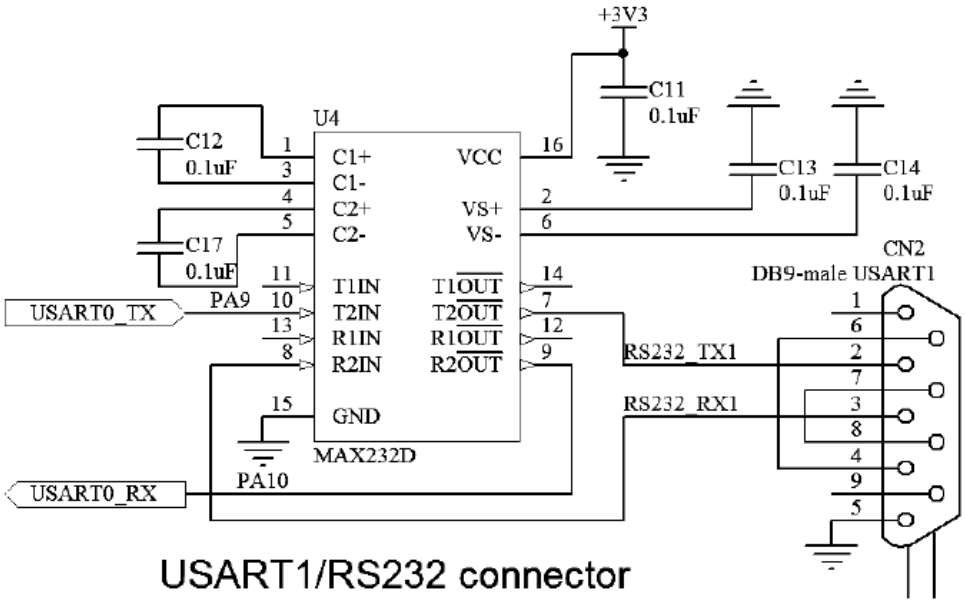


Рис. 5.9 – Схема перетворювач RS-232 інтерфейсу.

Універсальний контролер вітроенергетичної установки має функцію обміну даними і командами управління з персональним комп'ютером через інтерфейс USB. Для забезпечення можливості підключення переносних реєструючих пристроїв, не обладнаних інтерфейсом RS-232, але мають порт USB (ноутбуки, комунікатори) на платі управління був реалізований USB інтерфейс за допомогою вбудованого в керуючий мікроконтролер контролера шини USB-FS, схема інтерфейсу представлена на рис. 5.10.

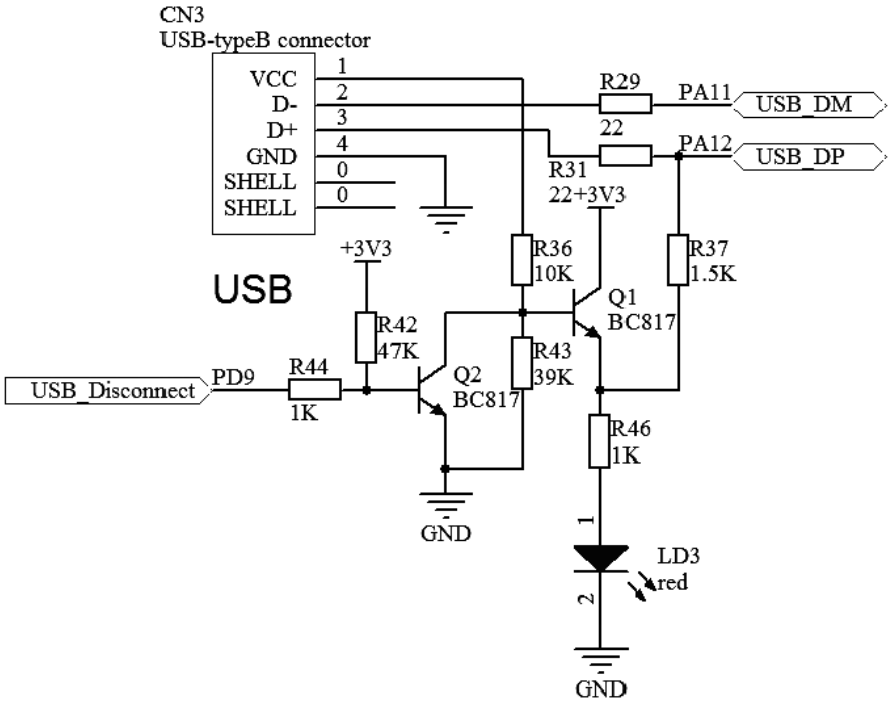


Рис. 5.10 – Схема USB інтерфейсу.

Для передачі команд управління від плати управління до плат силових перетворювачів використовується набір команд, що передаються по протоколу MODBUS за допомогою інтерфейсу RS-485. Інтерфейс RS-485 зазвичай використовується для організації локальних мереж промислового призначення.

Відмінними рисами інтерфейсу є:

- широка доступність і невисока вартість мікросхем драйверів, що спрощує апаратну реалізацію взаємозв’язаних пристроїв;

- для організації зв'язку на базі інтерфейсу RS-485 достатньо двохпроводового кабелю, що знижує собівартість системи;

- малі габаритні розміри мікросхем драйверів. Часто застосовуються мікросхеми в корпусі DIP-8 або SO-8 зі стандартним розташуванням виводів, що економить площу друкованої плати і знижує вартість пристрою;

- мікросхеми драйверів мають низьке споживання, деякі моделі драйверів мають режимами економії енергії;

- сучасні мікросхеми драйверів мають високу навантажувальну здатність, що підвищує надійність;

- сучасні мікросхеми драйверів забезпечують високу швидкість передачі даних, це дозволяє скоротити час передачі керуючих сигналів.

Для передачі команд керування від універсального контролера до регуляторів струму і зчитування їх стану в схему доданий інтерфейс RS-485, показаний на рис. 5.11.

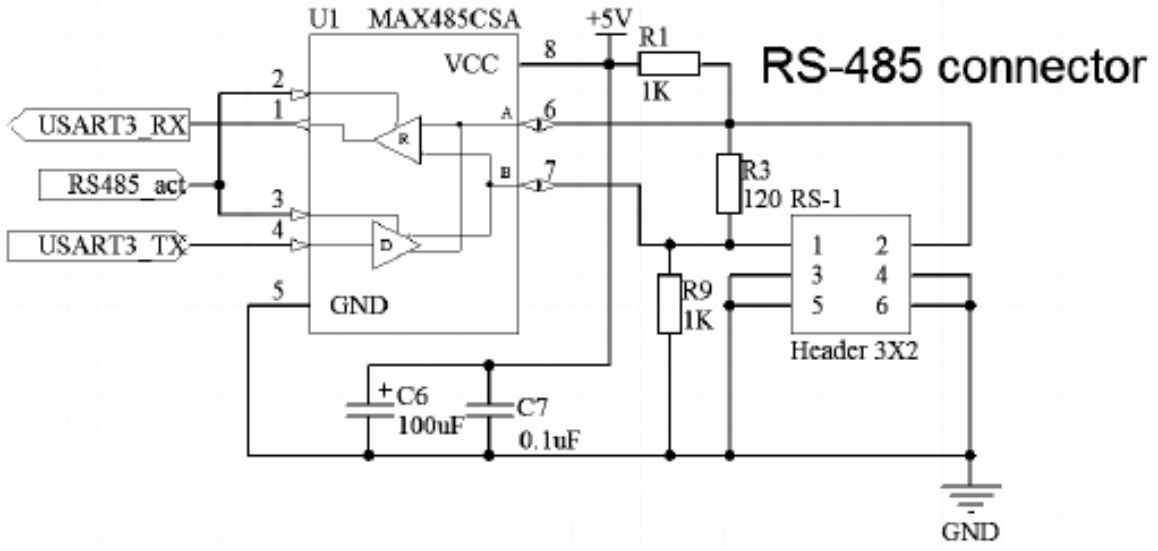


Рис. 5.11 – Схема перетворювача RS-485 інтерфейсу.

Основою схеми керування є мікроконтролер STM32F103RCT, розроблений компанією ST Microelectronics, сімейство STM32 якої стало першим її сімейством мікроконтролерів, виконаних на основі нового ЦПУ ARM Cortex-M3. Ці мікроконтролери стали новим еталоном за рівнем робочих характеристик і вартості. Вони можуть використовуватися в системах з малим енергоспоживанням і жорсткими вимогами до характеристик управління в масштабі реального часу. STM32F103RCT - це 32-бітний мікроконтролер на ядрі Cortex-M3, с широким набором периферії.

STM32F103RCT є представником сімейства мікроконтролерів STM32, яке включає в себе більше 180 варіантів, в тому числі варіанти з вбудованим Zigbee каналом, з вбудованими інтерфейсами Ethernet і USB HS OTG, з продуктивністю 150 DMIPS, зі споживанням 500нА в сплячому режимі зі збереженням пам'яті SRAM та інші варіанти.

Мікроконтролери сімейства STM32F103RCT призначені для різних вкрай чутливих до вартості пристосувань, де можливостей 16-бітного мікроконтролера вже недостатньо, а функціональність звичайних 32-бітних мікроконтролерів надлишкова. Основні характеристики мікроконтролера STM32F103RCT:

- максимальна тактова частота 72 МГц;
- 48 Кб ОЗП, 256 Кб флеш-пам'яті;
- 16-канальний 12-бітний АЦП (1.2 мкс) з датчиком температури;
- два 12-бітових ЦАП;
- 7-канальний DMA контролер;
- I2C (SMBus / PMBus), 2x USART, SPI (2 Мбіт / с), HDMI;
- 51 GPIO (для деяких сумісність з 5 В);
- два сторожових таймера (IWDG і WWDG);
- 5 таймерів загального і 1 розширеного призначень;
- два вбудованих і еталонних тактових генератора на 40 КГц і 8 МГц;
- 96-бітний унікальний ідентифікатор (ID);
- керування живленням і скиданням (3 режими низького споживання,

PVD, BOR);

- апаратний розрахунок CRC;
- напруга живлення 2.0 - 3.6 В;
- корпус LQFP64.

Також схема управління містить елементи інтерфейсу користувача, такі, як РКІ індикатор WH1602D, призначений для відображення алфавітно-цифрової інформації в 2 рядки по 16 символів. Технічні характеристики індикатора наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

**Технічні характеристики індикатора WH1602D**

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Тип дисплея | Символьний |
| Напруга живлення постійна, В | 3…5 В |
| Символів в рядку, шт | 16 |
| Рядків, шт | 2 |
| Набір символів | латинський |
| Температура експлуатації, ºС | -20…+70 |
| Відносна вологість експлуатації, % | до 35 |
| Габаритні розміри | 84х44х6 мм |

Іншим елементом інтерфейсу користувача є енкодер РЕС-16 з вбудованою кнопкою, який дозволяє організувати взаємодію з користувачем за допомогою багаторядкового меню.

Схема підключення мікроконтролера з відповідними стабілізаторами напруги, кварцовим генератором, джерелом опорного напруги, світлодіодними індикаторами, перетворювачем сигналу від анемометра, інтерфейсом підключення рідкокристалічного індикатора і пристрою вводу (енкодера) представлена на рис. 5.12.

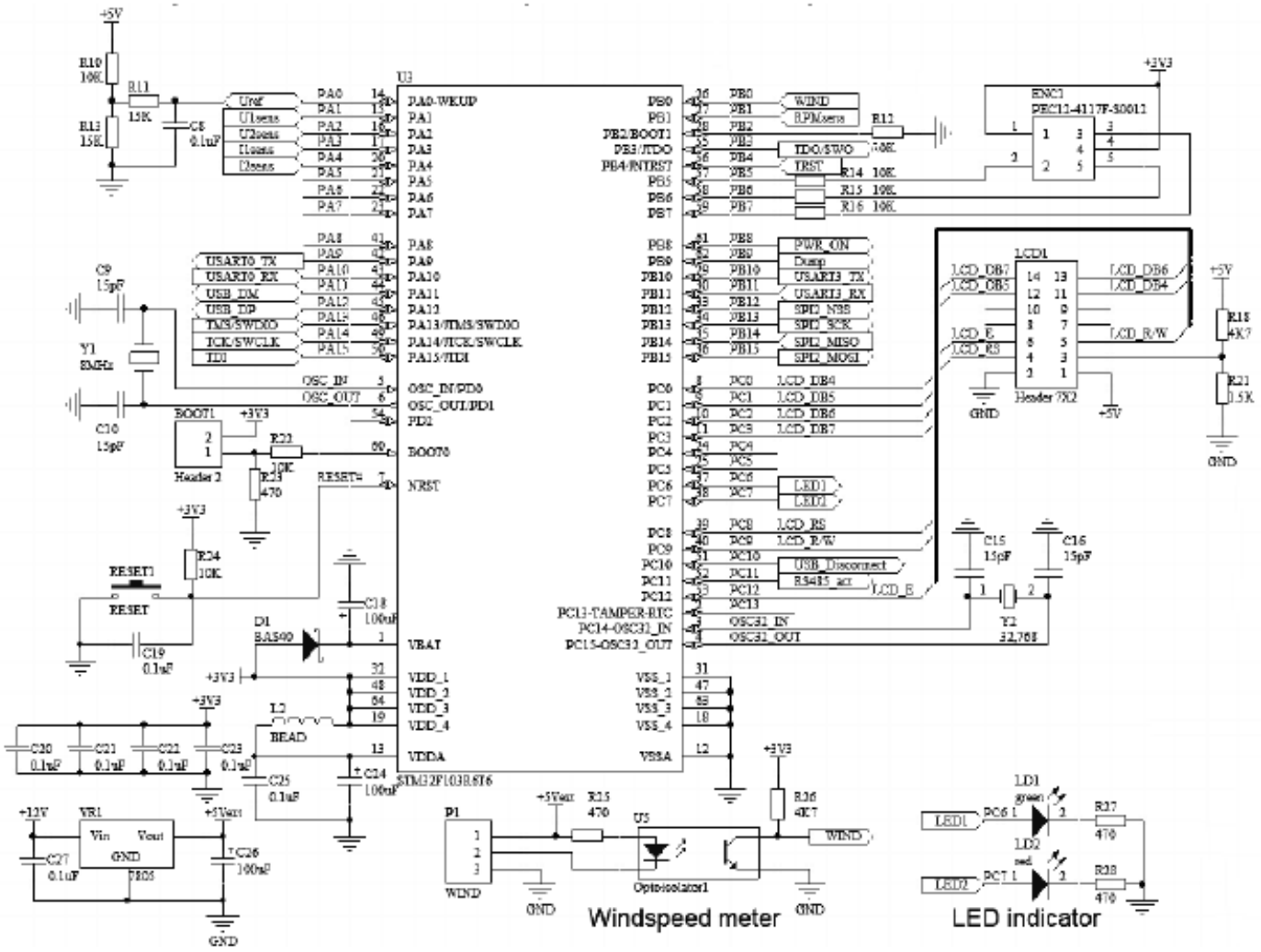


Рис. 5.12 – Схема електрична принципова керуючого контролера ВЕУ.

Для забезпечення працездатності схеми, як контролера управління, так і регуляторів струму, необхідне джерело вторинного живлення. Схема джерела живлення, що перетворює постійний струм напругою 48 В від акумуляторної батареї в постійний струм напругою 12 В, призначений для живлення стабілізаторів напруги мікроконтролера і регуляторів струму представлена на рис. 5.13. Протягом часу коли ключ знаходиться в провідному стані енергія запасається в первинній обмотці трансформатора Т1, і передається у вторинну обмотку коли ключ знаходиться у вимкненому стані.

Автономні зворотньоходові перетворювачі зазвичай використовуються в діапазоні вихідних потужностей від 30 Вт до 250 Вт. Зворотньоходова топологія в основному використовується для створення недорогих

багатовиводних імпульсних джерел живлення, оскільки не використовується додатковий індуктивний фільтр на виході.

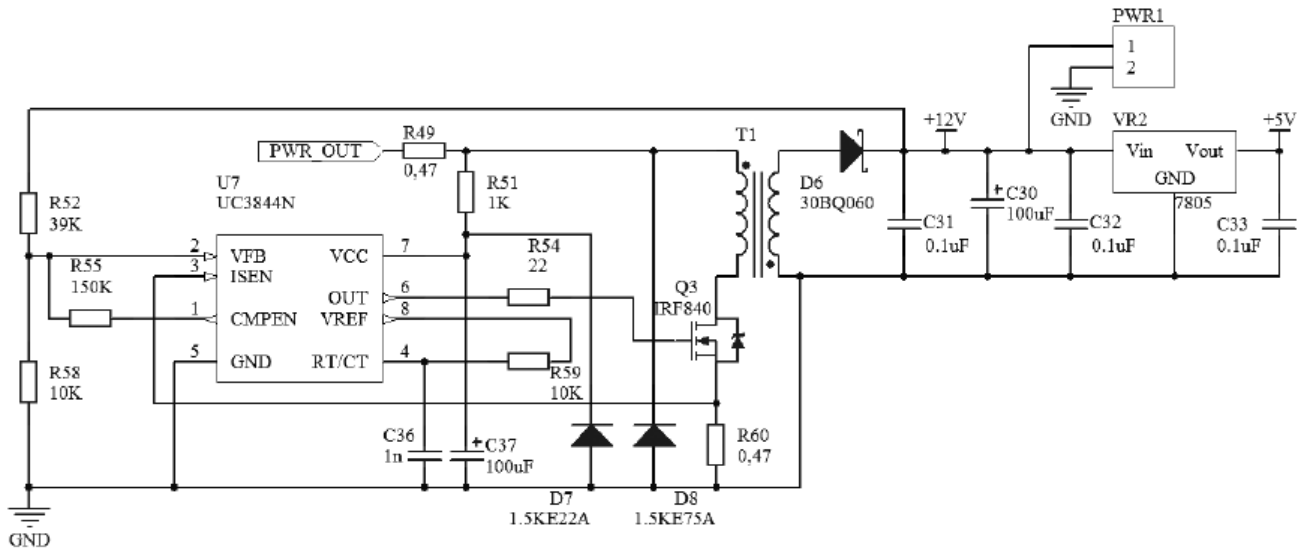


Рис. 5.13 – Схема електрична принципова вторинного джерела живлення

Регулятор струму, виконаний за схемою імпульсного понижуючого перетворювача показаний на рис. 5.14.

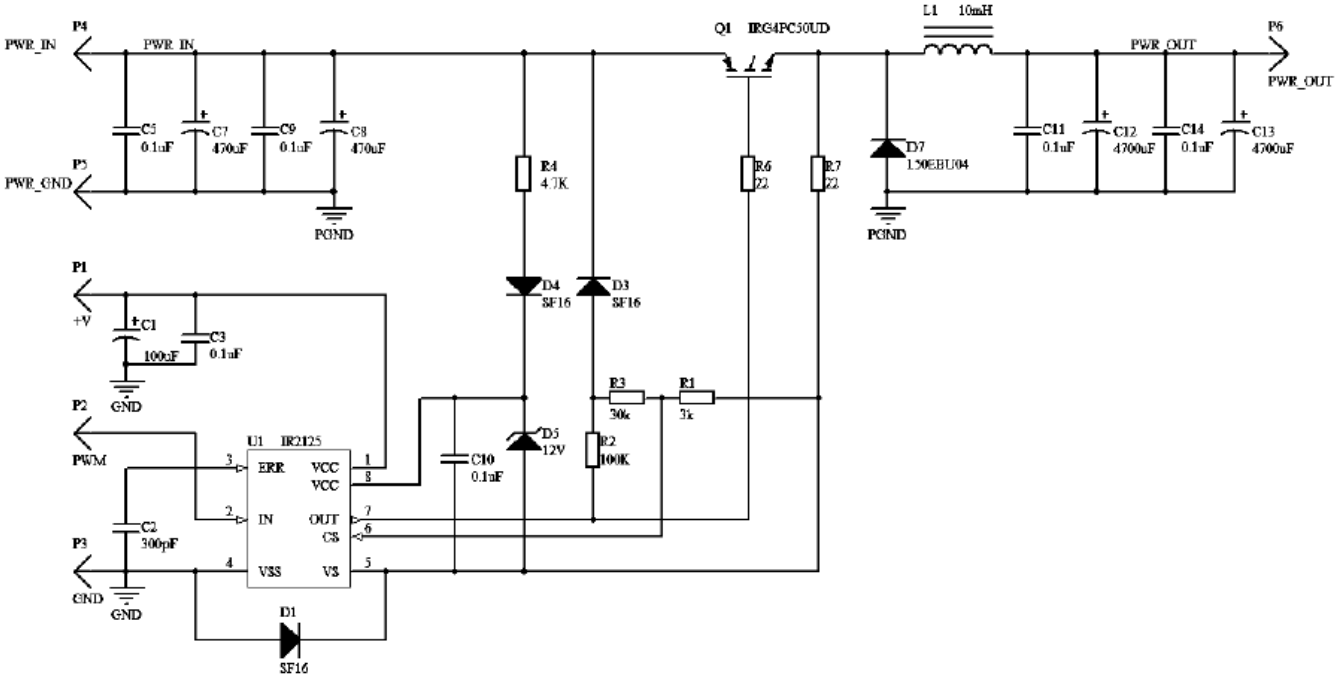


Рис. 5.14 – Схема електрична принципова регулятора струму

Універсальний контролер згідно структурної схеми реалізований у вигляді декількох модулів, розміщених на монтажній панелі шита ЩМП 2-0 500x400x220 і з'єднаних монтажними проводами. Також на монтажній панелі

розміщені роз'єми і клеми для підключення таких зовнішніх пристроїв як електричний генератор і акумуляторна батарея, а також анемометр для вимірювання швидкості вітру. Розроблений універсальний контролер містить три однакових силових модуля по 1кВт кожен, підключених до модулю управління і які працюють паралельно. Це дозволяє істотно полегшити розробку і виготовлення пристрою, тому що це спрощує вимоги до характеристик модулів. Контролер управління реалізований на базі 32-розрядного мікроконтролера STM32F103, який має великий набір периферійних пристроїв. Зовнішній вигляд контролера ВЕУ наведено на рис. 5.15.

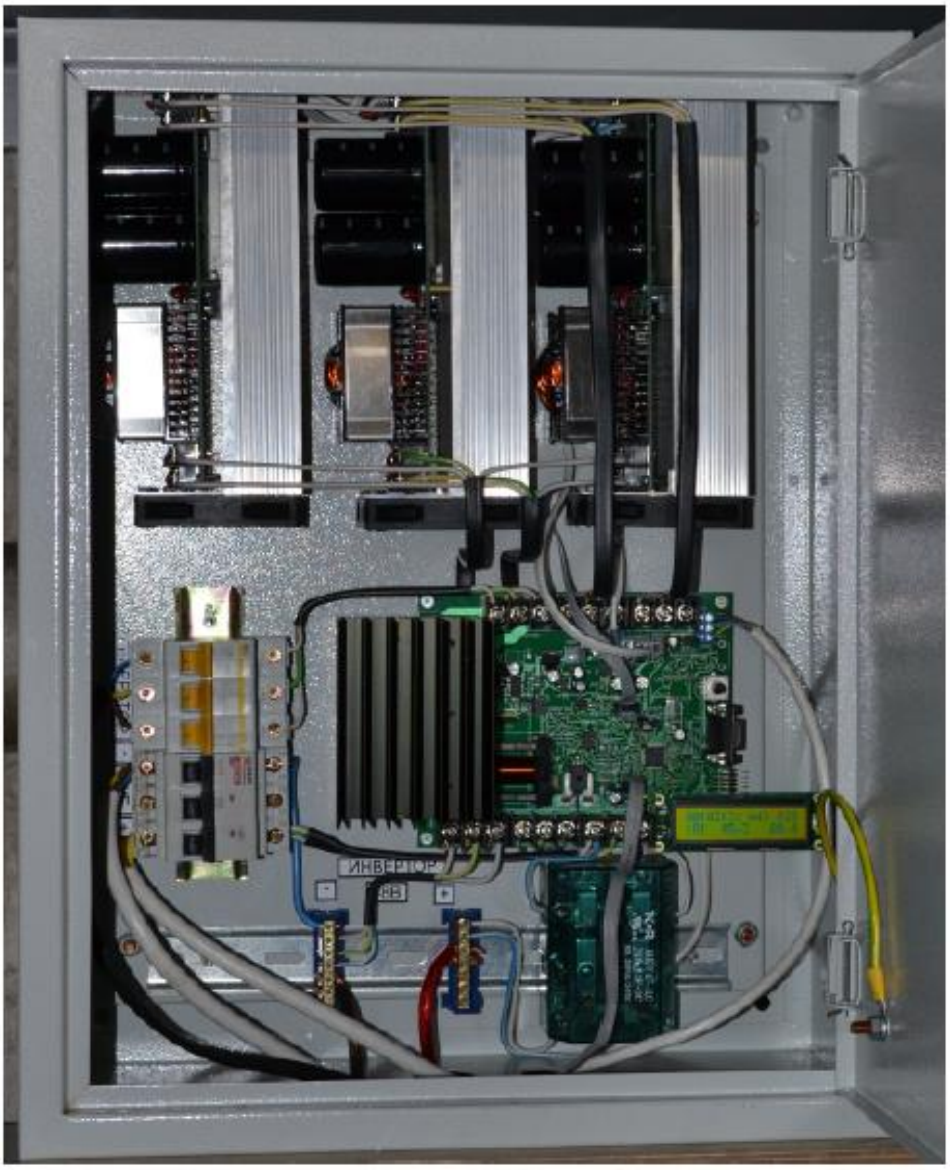

Рис. 5.15 – Зовнішній вигляд керуючого контролера ВЕУ.

# РОЗДІЛ 6
# ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

На ВЕУ, які вводяться в експлуатацію, повинні бути забезпечені:
- максимальна автономність, а для обслуговуваних ВЕУ – необхідні умови для персоналу, в тому числі дотримання санітарних норм;
- надійний зв'язок з диспетчерським пунктом вищого рівня, службами пожежогасіння і швидкої медичної допомоги;
- повний обсяг нормативної та експлуатаційної документації, в тому числі сертифікатів відповідності ВЕУ вимогам щодо шуму та електромагнітного випромінювання;
- наявність засобів безпечної експлуатації.

Під час експлуатації ВЕУ повинні бути забезпечені:
- надійна, безпечна й ефективна робота всього устаткування ВЕУ;
- максимальний виробіток електроенергії;
- оперативно-диспетчерська дисципліна.

Для кожної системи з вітроенергетичними установками наказом її власника чи вищої організації, у складі якої вона споруджується, повинен бути призначений керівник, на якого покладається відповідальність за організацію експлуатації всього комплексу устаткування і споруд.

Оперативне керування роботою системою з вітроенергетичними установками здійснює начальник зміни (диспетчер).

Оперативне обслуговування устаткування здійснює персонал підрозділів відповідно до затвердженого положення.

На розсуд власника в структурі системи з ВЕУ можуть бути оперативні, ремонтні або інші спеціалізовані підрозділи, які забезпечують енерговиробництво.

Технічне обслуговування ВЕУ повинно здійснюватися виїзними бригадами, кожна з яких складається не менш ніж із двох осіб. Такі бригади створюються залежно від кількості і потужності ВЕУ і повинні забезпечуватися

спеціальним транспортом, комплектом спеціальних інструментів і приладів, а також комплектом запасних частин до приладів серійного виробництва. Робота бригад з обслуговування ВЕУ ведеться в денний час доби.

В системах оснащених ВЕУ з асинхронними генераторами, повинна здійснюватися компенсація реактивної потужності, споживаної генераторами.

Залежно від економічних показників конденсаторні установки повинні бути встановлені або на окремих ВЕУ, або згруповані для усієї системи.

Експлуатація системи з ВЕУ без необхідної компенсації реактивної потужності не допускається.

Організація експлуатації ВЕУ повинна забезпечувати їхню безперебійну роботу в допустимих режимах, надійне функціонування пристроїв контролю, захисту й автоматики, у синхронних генераторів систем збудження. У цьому разі повинні дотримуватися вимоги інструкції з експлуатації заводу-виробника.

Під час експлуатації ВЕУ повинні дотримуватися такі умови:
- виконання заходів безпеки під час роботи з даним типом ВЕУ;
- технічне обслуговування ВЕУ повинно здійснюватися тільки персоналом, який пройшов спеціальну підготовку;
- для кожної ВЕУ повинні бути заведені формуляри чи журнали результатів профілактичних оглядів і технічного обслуговування;
- зняття пломб з устаткування, опломбованого заводом-виробником, дозволяється тільки з його згоди й у присутності його представника;
- у період гарантійного терміну експлуатації у випадку виходу з ладу елементів складових частин повинні надсилатися рекламації заводу-виробника.

Під час експлуатації ВЕУ повинні суворо дотримуватися всі її режимні параметри, задані заводом-виробником, і виконуватися умови її безпосереднього підключення до промислової мережі через трансформаторний пункт у складі системи електрозабезпечення.

Вітроелектроустановки потужністю менше ніж 20 кВт підключаються до електричної мережі споживача й експлуатуються відповідно до інструкції заводу-виробника.

Система автоматичного керування ВЕУ повинна забезпечувати роботу як у режимі керування власною автоматикою, так і в режимі роботи в складі автоматизованої системи керування.

Система автоматичного керування і контролю ВЕУ повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- пуск ВЕУ і включення її в мережу;
- контроль і діагностику пристроїв і устаткування;
- стійке підтримання номінального навантаження при швидкостях вітру, які перевищують номінальні;
- програмна та аварійна зупинка ВЕУ;
- обмеження закидань частоти обертання ротора в допустимих межах при скидах навантаження, пов'язаних з відключенням ВЕУ від мережі;
- орієнтацію ротора (контроль орієнтації) за напрямком вітру;
- представлення інформації на верхній рівень АСК.

Перевірка систем керування ВЕУ миттєвим скиданням навантаження повинна проводитися шляхом відключення її від мережі в таких випадках:

- під час приймання ВЕУ в експлуатацію після монтажу чи капітального ремонту;
- після ремонту чи модернізації системи керування вітроколесом.

Пуск ВЕУ забороняється:

- у разі несправностей у системі діагностики, технологічних і електричних захистів;
- у випадку сейсмічних та інших природних впливів (обледеніння, град, снігопад), які перевищують допустимі показники, наведені в заводській документації.

Вітрова електроустановка повинна бути негайно відключена і зупинена дією захистів або черговим персоналом у таких випадках:

- підвищення рівня вібрації окремих вузлів понад допустимі межі;
- підвищення температури контрольованих вузлів понад допустиму;
- витікання оливи;
- підвищення частоти обертання ротора ВЕУ понад допустиму величину;
- швидкості вітру, яка перевищує значення швидкості вимикання, установлене заводом-виробником;
- виникнення коротких замикань у системі генерування;
- перевантаження генератора за потужністю понад допустимі значення;
- виникнення пожежі;
- виникнення ситуації, небезпечної для обслуговуючого персоналу;
- виникнення зовнішніх умов.

Вітрова електроустановка повинна бути відключена від мережі і зупинена за рішенням першого технічного керівника у випадках:
- виявлення несправностей у її механізмах і системах;
- виходу з ладу окремих каналів захисту і діагностики;
- одержання повідомлення про прогнозований сейсмічний вплив;
- виникнення зовнішніх умов, небезпечних для експлуатації ВЕУ.

У процесі експлуатації, на підставі спостережень і показів засобів вимірювальної техніки, повинна проводитися параметрична діагностика ВЕУ, яка передбачає:
- визначення відповідності потужності швидкості вітру;
- контроль параметрів роботи генератора;
- контроль температурного режиму вузлів, а також повітря в гондолі ВЕУ, якщо це передбачено її конструкцією.

В системах енергозабезпечення з ВЕУ повинен бути встановлений регламент технічного обслуговування ВЕУ та іншого устаткування, технологія і періодичність регламентних робіт.

Технічне обслуговування загальностанційного електричного і допоміжного устаткування системи, як правило, повинно поєднуватися з технічним обслуговуванням ВЕУ.

Регламент технічного обслуговування повинен передбачати:

- візуальний огляд устаткування;
- контроль кріплення-устаткування і вузлів;
- перевірку справності систем автоматики, захистів і діагностики (у тому числі тестування), стану засобів вимірювальної техніки;
- проведення спеціальних вимірів, перевірок, регулювання і змащення вузлів, облік окремих деталей, які вичерпали ресурс;
- заміну оливи, деталей чи вузлів, зношених у процесі експлуатації;
- відновлення лакофарбових покрить у разі їхнього пошкодження;
- перевірку й випробування електричного устаткування.

Основним елементом ВЕУ є вітрогенератори. В процесі експлуатації можуть виникати несправності в роботі вітрогенераторів. Основні несправності вітрогенераторів подані в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

**Основні несправності вітрогенераторів та способи їх усунення**

| Несправності | Причини виникнення | Способи усунення |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Вітрогенератор не вмикається | Не достатній вітер | - |
| | Натиснута кнопка «гальма» або вимикача | Відпустити кнопку «гальма» або вимикача |
| Ротор обертається занадто повільно | Лопасті ротора неправильно встановлені | Правильно встановити лопасті |
| | Лопасті не збалансовані | Збалансувати лопасті |
| | Підшипник для вирівнювання тугий | Замінити підшипник |
| | Генератор зачіпає при обертанні | Відправити генератор виробнику |
| | Невідповідне розташування або висота | Змінити місце розташування<br>Збільшити висоту |
| | Низька швидкість вітру | - |

Продовження таблиці 6.1.

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Вітрогенератор вібрує на мачті | Ротор не збалансований | Збалансувати ротор |
| | Мачта не вертикальна | Установите мачту вертикально |
| | Мачта згинається під вітром | Встановити більш стійку мачту |
| | Фундамент мачти має занадто великий зазор | Зменшити зазор |
| Вітроенергетична система виробляє занадто мало електроенергії | Вітрогенератор або контролер заряду несправні | Відправити виробнику |
| | Батарея несправна | Замінити батарею |
| | Замала ємність батареї | Використати батарею більшої ємності |
| | Спрацював запобіжник батарей | Замініть запобіжник Перевірити електричні контакти |
| | Переріз кабелю не відповідає довжині кабелю | Привести у відповідність переріз кабелю |

# РОЗДІЛ 7
# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 7.1 Аналіз системи управління охороною праці в ФГ «Плеяда»

У виробничому процесі ФГ «Плеяда» налічується 83 працівника, тому служба охорони праці представлена окремим структурним підрозділом - відділом, який очолює інженер з охорони праці.

Основними завданнями відділу охорони праці є:

- здійснення контролю за станом охорони праці на підприємстві;
- підготовка пропозицій, планів, заходів, розпорядчих документів по забезпеченню охорони праці на підприємстві і контролю за їх реалізацією;
- розробка заходів щодо попередження виробничого травматизму і професійної захворюваності;
- надання методичної допомоги структурним підрозділам підприємства в налагодженні роботи з охорони праці.

Відповідно до вказаних завдань відділ охорони праці:

- проводить аналіз стану і причин виробничого травматизму і професійної захворюваності, розробляє заходи щодо їх попередження;
- організовує роботу по проведенню паспортизації санітарно-технічного стану цехів і інших структурних підрозділів;
- проводить вступний інструктаж з охорони праці;
- надає методичну допомогу підрозділам у розробці інструкцій з охорони праці;
- керує роботою кабінету з охорони праці, організовує пропаганду охорони праці на підприємстві та інформацію з питань охорони праці;
- бере участь у роботі комісій з розслідування нещасних випадків на виробництві;
- надає допомогу в організації навчання працівників з охорони праці;
- бере участь у роботі комісій з перевірки знань керівників і фахівців з охорони праці;

- бере участь у роботі комісій з приймання в експлуатацію закінчених збудованих і реконструйованих об'єктів виробничого призначення;
- бере участь у перевірці стану безпеки і гігієни праці на робочих місцях у складі комісії адміністративно-суспільного контролю;
- розглядає пропозиції, заяви і скарги працівників з питань охорони праці;
- складає звітність з охороні праці.

Також у господарстві створена комісія з охорони праці. До їх складу на паритетній основі входять представники роботодавців та професійних спілок.

Комісія з охорони праці організовує розробку розділу колективного договору з охорони праці, спільні дії роботодавця і працівників щодо забезпечення вимог охорони праці, попередження виробничого травматизму та професійних захворювань, а також проведення перевірок умов і охорони праці на робочих місцях та інформування працівників про результати зазначених перевірок [ ].

На сьогоднішній день система управління охороною праці ФГ «Плеяда» є застарілою та недальновидною. Головним критерієм виробництва є прибуток без додаткових капіталовкладень в охорону праці, але це бачення є помилковим, оскільки при правильній постановці задачі та чіткому виконанні норм та правил є можливість створити систему управління охороною праці підприємства, яка дозволить зменшити травматизм робітників та підвищити якість виробництва, оскільки перехід на ринкові відносини потребує реконструкції не тільки виробничих технологій, але й реструктуризації системи управління, оновлення технології управління, його функції. Традиційні лінійно-функціональні структури управління підприємством будуть трансформуватися в матричні структури, зокрема з програмно-цільовим управлінням охороною праці [20].

Інструментами працеохоронної політики є: економічні важелі (страховий тариф, штрафи, премії, пільги, компенсації, доплати відшкодування та ін.), правова відповідальність (дисциплінарна, адміністративна, матеріальна,

кримінальна), соціально-психологічні методи (навчання, виховання, системні вимоги до управлінського персоналу). Одержання максимального прибутку за рахунок ігнорування охорони праці веде до банкрутства підприємства і юридичної відповідальності.

## 7.2 Техніка безпеки при монтажі ВЕУ

### 7.2.1 Механічні джерела небезпеки

Обертові лопасті є найбільшим механічним джерелом небезпеки. Лопасті ротора вітрогенератора виготовлені з дуже міцного склопластику. Швидкість руху кінцевих точок лопастей перевершує 400 км/год. При такій швидкості кінці лопастей майже невидимі і можуть завдати серйозних травм. Ні в якому разі не слід встановлювати турбіну в таких місцях, де можливий контакт людини з рухомими лопастями ротора.

Не можна встановлювати турбіну в місцях проживання рідкісних птахів або на шляху їх імміграції.

При установці вітрогенератора потрібно враховувати шумові вібрації. Не можна встановлювати ВЕС в безпосередній близькості житлових будинків. При установці на відкритих територіях низькочастотний шум може змусити тварин і птахів покинути місця свого проживання. Це може привести до розмноження комах, в тому числі і шкідників.

### 7.2.2 Електричні джерела небезпеки

Вітрогенератор обладнаний складними електронними пристроями, при розробці яких забезпечувався захист від електричних джерел небезпеки, пов'язаних з надмірними струмами. При підключенні цих та будь-яких інших електротехнічних пристроїв потрібно пам'ятати, що неминучі ризики, створювані для людей протіканням електричного струму.

Виділення тепла в системах електротехнічного монтажу часто є результатом протіканням надмірного струму по проводах з недостатнім перерізом або через погані контакти.

Акумулятори можуть викидати струми небезпечної величини. У разі короткого замикання в проводах, що йдуть від акумулятора, може виникнути пожежа. Щоб усунути цей ризик, необхідно встановити в колах, що підключаються до акумулятора, плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу.

Операції по установці слід виконувати на рівні землі. Протягом всього процесу установки акумулятори повинні бути від'єднані.

В процесі установки повинні бути дотримані наступні вимоги техніки безпеки:

- для роботи потрібно вибрати безвітряний день (швидкість вітру 0 ... 4 м/с);
- необхідно, щоб хтось був готовий надати допомогу в процесі установки;
- від'єднати від акумулятора проводи, що йдуть від турбіни.

Перш, ніж підключати проводи до акумулятора, потрібно з'єднати між собою вихідні проводи вітротурбіни, щоб виключити можливість розгону ротора в ході установки.

Підйом вітроагрегату проводити тільки в загальмованому стані, вітроколесо має бути прив'язане до вежі. Майданчик під вітроагрегат повинен бути не менше 15х15м і звільнений від сторонніх предметів. Не дозволяється, перебувати під вітроагрегатом під час його підйому або опускання.

## 7.3 Заходи з безпеки праці під час експлуатації вітроенергетичної установки

Необхідно регулярно перевіряти опорні конструкції, лопасті і електричні системи.

Лопасті ротора дуже міцні, проте, якщо вони увійдуть в контакт з твердим предметом, вони можуть зламатися. Щоб забезпечити безпечну роботу, при виборі місця для турбіни необхідно виключити подібні контакти.

При виконанні періодичних перевірок або в будь-який час, коли доведеться опинитися на шляху руху лопастей, проводи електроживлення від акумуляторів потрібно від'єднати і з'єднати один з одним вихідні проводи вітротурбіни, щоб зупинити (загальмувати) обертання лопастей.

Для нових турбін потрібний короткочасний період обкатки. Підшипникам, які встановлені як в осі поворотного пристрою турбіни, так і в роторі турбіни, потрібно 60-100 годин експлуатації при нормальній швидкості вітру (приблизно 8-9 м/с), і лише після цього вони досягнуть повної ефективності.

Під час експлуатації необхідно вживати заходів, що захищають вітрогенератор від природних явищ. Правильна установка фундаменту. Якщо фундамент вежі неправильно розрахований, або неправильно влаштований дренаж фундаменту, щогла від сильного пориву вітру може впасти.

При низьких температурах необхідно вжити заходів проти обмерзання. Обледеніння здатне збільшити масу лопастей і знизити ефективність роботи вітрогенератора. Для експлуатації при низьких температурах частини вітрогенератора повинні бути виготовлені зі спеціальних морозостійких матеріалів. Рідини, що використовуються в генераторі, не повинні замерзати. Може замерзнути обладнання, яким заміряють швидкість вітру. В цьому випадку ефективність вітрогенератора може серйозно знизитися. Через обледеніння прилади можуть показувати низьку швидкість вітру, і ротор залишиться нерухомим.

Удари блискавок: в вітрогенераторі передбачено грозовий захист. На гондолі вітрогенератора встановлений спеціальний загострений штир-блискавковідвід, а також влаштовано відповідне стандартам і нормативам заземлення. Необхідно стежити за станом заземлення. При порушеному заземлені удари блискавок можуть призвести до пожежі.

Пожежі: пожежа може виникнути через удар блискавки, тертя обертових частин всередині гондоли, витоку масла з гідравлічних систем, обриву кабелів і т.д. Пожежі вітрогенераторів рідкісні, але їх важко гасити через віддаленості

вітряних електростанцій і великої висоти, на якій відбувається пожежа. На сучасних вітрогенераторах встановлюються системи пожежогасіння.

### 7.4 Техніка безпеки при монтажі і експлуатації системи стабілізації

В електротехнічних установках за правилами повинні використовуватися: ізоляція струмоведучих частин, елементи для здійснення захисного заземлення металевих неструмоведучих частин установки, які можуть опинитися під напругою (при порушенні ізоляції, режиму роботи устаткування і т.п.), елементи, що відключають установку від мережі, коли доступні для дотику частини установки виявляються під напругою, в тому числі і грозових розрядів, оболонки для запобігання можливості випадкового дотику до струмоведучих, рухомих, нагрівних частин установки. При необхідності установки повинні бути обладнані оглядовими вікнами, люками і засобами місцевого освітлення.

До додаткових електрозахисних засобів в електроустановках до 1000 В відносяться:

- діелектричні калоші;
- діелектричні килими;
- ізолюючі підставки і накладки;
- ізолюючі ковпаки.

Працівники, які виконують роботи в електроустановках, повинні мати професійну підготовку, що відповідає характеру роботи.

Перевірка стану здоров'я працівника проводиться до прийому його на роботу, а також періодично, в порядку, передбаченому законодавством.

Електротехнічний персонал до допуску до самостійної роботи повинен бути навчений прийомам звільнення потерпілого від дії електричного струму, надання першої допомоги при нещасних випадках.

Якщо потерпілий торкається струмоведучих частин, необхідно, перш за все, звільнити його від дії електричного струму. При цьому слід мати на увазі, що торкатися до людини, що знаходиться під струмом, без застосування належних запобіжних заходів небезпечно для життя, який надає допомогу.

Тому першою дією надаючого допомогу має бути швидке відключення тієї частини електроустановки, до якої торкається потерпілий.

### 7.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Пожежа завдає величезної матеріальної шкоди. Всі працюючі повинні проходити спеціальну протипожежну підготовку:

- протипожежний інструктаж (первинний і вторинний);

- заняття з пожежно-технічного мінімуму за спеціальною програмою.

Причинами пожежі в електроустановках є:

- іскріння в електричних машинах і апаратах;

- струми короткого замикання і перевантаження, що приводять до займання ізоляції;

- іскріння від електростатичних розрядів і ударів блискавки;

- погані контакти в з'єднаннях проводів;

- електродуги між контактами комутаційних апаратів;

- електродуги під час зварювальних робіт;

- перевантаження або замикання в обмотках трансформатора при несправності релейного захисту;

- аварії з багатооб'ємними масляними вимикачами, що супроводжуються викидом продуктів розкладання масла і сумішей їх з повітрям.

Причинами пожеж неелектричних характеру можуть бути:

- необережне поводження з вогнем при газозварювальних роботах або роботах з паяльною лампою;

- несправності печей і опалювальних приладів;

- несправності виробничого обладнання (нагрів підшипників, механічне іскріння);

- самозаймання деяких матеріалів.

Якщо палаюча електроустановка не відключена і знаходиться під напругою, то гасіння її становить небезпеку ураження електричним струмом. Як правило, гасити ручними засобами пожежу електроустаткування слід при

знятій з нього напрузі. Якщо зняти напругу неможливо, то допускається гасіння установки, що знаходиться під напругою, але з дотримання особливих заходів.

Порошковий вогнегасник типу ОПС-10 наповнений в якості вогнегасного засобу сухим порошком (кальцинована або двовуглекисла сода, поташ та ін.). Вогнегасник складається з балона місткістю 10 л, заповненого вогнегасним порошком. До корпусу прикріплений балон з інертним газом (азот), що знаходяться під тиском близько 15 МПа. При відкриванні вентиля порошок з балона напором газу виштовхується в шланг, а потім через розтруб подається до вогнища загоряння.

Усі працюючі проходять спеціальну протипожежну підготовку:

- протипожежний інструктаж (первинний і вторинний);

- заняття з пожежно-технічного мінімуму за спеціальною програмою.

На підприємствах для працюючих навколишнім середовищем є повітря робочих зон і прилеглих до них територій. Дуже важливу роль відіграє мікроклімат виробничих приміщень, який характеризується діючим на організм людини поєднанням температури, вологості, швидкості руху повітря, а також тепловим і електромагнітними випромінюванням, вмістом в повітрі шкідливих речовин і наявністю певного рівня шуму і вібрацій.

Найважливішою складовою частиною повітря є кисень, необхідний для існування всієї живої природи. Основний виробник кисню рослинність. Тому для підтримки необхідної кількості кисню в атмосфері слід вживати заходів до збереження і розширення рослинного світу, в першу чергу лісів, необхідно збільшувати площі зелених насаджень в населених пунктах, а також на території захисних зон навколо виробничих будівель і промислових підприємств в цілому. З метою запобігання та обмеження негативного впливу вітроенергетичних установок необхідно проводити наступні заходи:

- враховувати характер ландшафту при розміщенні вітрогенераторів;

- при виборі місця розміщення вітрогенератора враховувати його вплив сприйняття під усіма відповідними кутами спостереження;

- підтримувати однаковий розмір і конструкцію вітрогенератора (наприклад, напрямок обертання, висоту);

- рівень шуму можна обмежити за рахунок використання турбін зі змінною швидкістю або лопастей із змінним кутом нахилу, що дозволяє знизити швидкість обертання.

# РОЗДІЛ 8
# ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

В магістерській роботі розглянуто систему автономного електропостачання з використанням вітроенергетичних установок в умовах фермерського господарства «Плеяда». Даний вид отримання електроенергії є екологічно чистим і менш витратним, тому що її перетворення йде з невичерпного ресурсу - енергії вітру.

Для зменшення витрат на виплати по електроенергії на території фермерського господарства буде розміщений вітропарк з чотирма вітроенергетичними установками загальною потужністю 600 кВт які будуть основним джерелом енергії. Також буде підключена основна мережа для її вводу як резервного живлення.

Послідовність розрахунку:

- розрахунок капітальних вкладень (інвестицій);
- розрахунок експлуатаційних витрат;
- розрахунок економічної ефективності прийнятих рішень.

Для оцінки економічної ефективності проекту використовують такі показники: чистий дисконтований прибуток ($П_{чДП}$), індекс прибутковості ($I_п$), термін окупності інвестицій ($T_{ок}$).

Розрахунок економічної ефективності застосування вітроустановки (ВЕУ) для електропостачання підприємства проводиться на підставі діючих методик, стандартів і нормативних документів з урахуванням середньорічного рівня інфляції. Основним показником економічної оцінки застосування запропонованої вітроустановки (ВЕУ) є собівартість одержуваної електричної енергії.

Відповідно до прийнятих положень критерієм ефективності має бути:

$$C_E = \frac{Z_{CE}}{W},$$

де $C_E$ – собівартість електроенергії, що виробляється, грн/кВт.год.;

$Z_{CE}$ – витрати на створення і експлуатацію системи електропостачання, грн.;

W – кількість спожитої електроенергії за весь термін служби системи електропостачання, кВт.

Якщо термін служби альтернативних систем електропостачання прирівняти (а це можливо шляхом врахування експлуатаційних витрат), то споживана енергія буде одна і та ж при будь-якій системі, так як визначається споживачем, а не постачальником енергії. Це дозволяє замість вартості споживаної електроенергії в якості критерію ефективності використовувати витрати на створення і експлуатацію системи електропостачання.

Таким чином, вітроустановки будуть ефективні в тому випадку, коли витрати на її створення та експлуатацію не будуть перевищувати аналогічних витрат для конкуруючої системи. Це може статися не тільки через економію коштів на покупку електроенергії або палива, але і за рахунок економії капітальних вкладень. Тобто, в деяких випадках, наприклад, коли альтернативою виступає мережева система електропостачання, можуть бути потрібні великі кошти вже на стадії будівництва конкуруючої системи.

Для електропостачання фермерського господарства на основі вітроенергетичних установок передбачаються витрати на придбання енергетичних установок і експлуатаційні витрати. У нашому випадку порівнюються собівартість виробленої електроенергії при різних варіантах електропостачання.

Собівартість виробленої електроенергії при будь-якому варіанті електропостачання пропонується визначати наступним чином:

$$C_E = \frac{Z_A + З_E t_{сл}}{W},$$

де $З_E$ – експлуатаційні затрати при автономному електропостачанні, грн.;

$t_{СЛ}$ – термін служби автономної системи електропостачання, год.

Початкові капітальні вкладення визначаються вартістю обладнання автономної системи електропостачання з урахуванням монтажу.

Експлуатаційні витрати при автономному електропостачанні є прямі поточні витрати, які обчислюються за формулою:

$$З_Е = С_{ТО} + С_Р,$$

де $С_{ТО}$ – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт автономної системи електропостачання, грн.;

$С_Р$ – вартість ресурсів, необхідних для функціонування системи, грн.

Витрати на експлуатаційне обслуговування визначаються наступним чином:

$$С_{ТО}=k_{ТО}\cdot m_{ТО}\cdot c_{ТО}+k_{ТР}\cdot m_{ПР}\cdot c_{ПР}$$

де $k_{ТО}$, $k_{ТР}$ – коефіцієнти переведення фізичних ремонтів в умовні одиниці ремонту, у.о.р./шт;

$m_{ТО}$, $m_{ПР}$ – річна кількість технічних обслуговувань і поточних ремонтів відповідно, шт.;

$c_{ТО}$, $c_{ПР}$ – вартість одного технічного обслуговування і поточного ремонту відповідно, грн/у.о.р.

При порівнянні собівартості електроенергії необхідно мати базовий варіант електропостачання. Тому порівнюється собівартість електроенергії за спрощеним варіантом базової вітроустановки і за запропонованим варіантом.

Розрахунок інвестицій зведений в таблиці 8.1, 8.2 і 8.3. При розрахунку прийнятий коефіцієнт монтажу при базовому і запропонованому варіанті $k_м$ = 1,5. Ціни на обладнання прийняті за даними рекламних проспектів, прайс-листів заводів виробників, періодичних комерційних видань.

Таблиця 8.1

**Вартість додаткового обладнання**

| Найменування елементів | Од. вим. | Кількість | Вартість одиниці, тис. грн. | Загальна вартість, тис. грн. |
|---|---|---|---|---|
| Керований випрямляч напруги | шт | 1 | 180 | 180 |
| Інвертор напруги | шт | 1 | 700 | 700 |
| ЛІА | шт | 128 | 35,5 | 4544 |
| АВР | шт | 1 | 120 | 120 |
| Всього | | | | 5544 |

Таблиця 8.2

**Розрахунок початкових інвестицій**

| Показники | Варіанти | |
|---|---|---|
| | базовий | розроблений |
| Вартість обладнання, грн. | 14100000 | 22272 |
| Коефіцієнт монтажу | 1,5 | 1,5 |
| Капіталовкладення, грн. | 21150000 | 38124000 |

Таблиця 8.3

**Послідовність розрахунку експлуатаційних витрат і сумарні витрати**

| Показники | Варіанти | |
|---|---|---|
| | базовий | розроблений |
| Капіталовкладення, грн. | 21150000 | 33408000 |
| Експлуатаційні затрати, грн. | 549535 | 1070080 |
| Річне споживання електроенергії, кВт.год. | 3153600 | 3153600 |
| Собівартість виробленої електроенергії, грн. кВт-год. | 3,15 | 0,87 |

Таким чином, запропонована система електропостачання забезпечує зниження собівартості електроенергії на 72,38%, з 3,15 грн / кВт.год. до 0,78 грн / кВт.год. відповідно, що підвищує її конкурентоспроможність.

Отримання додаткової продукції:

$$E_{заг} = (C_{E.вих} - C_{E.пр}) \cdot Q_{пр},$$

$$E_{заг} = (3{,}15 - 0{,}87) \cdot 3153600 = 7190208 \text{ грн},$$

Чиста дисконтований прибуток використовується при оцінці інвестиційних проектів, в зв'язку з не рівноцінністю сьогоднішніх і майбутніх прибутків (зміною «цінності» грошей з плином часу). Для цього використовується коефіцієнт дисконтування (m).

$$m = \frac{1}{(1+E)^t}$$

де m – коефіцієнт дисконтування;

E – норма дисконтування, %;

t – порядковий номер часового інтервалу отримання прибутку.

Норма дисконтування (E) являє собою норму прибутку на вкладений капітал. Якщо інвестором є саме підприємство, то норма дисконтування приймається на рівні середньої норми прибутку даного підприємства. Якщо інше підприємство або особа вкладає в проект, то норма дисконтування прирівнюється до ставки банківського кредиту.

Розрахунок дисконтованого прибутку ($П_{ЧДП}$) можна представити в наступному вигляді:

$$П_{ЧДП} = \sum_{t=1}^{T} E_{річ} \cdot m_t - \sum_{t=1}^{T} K_t \cdot m_t$$

де T – термін реалізації проекту, років;

$E_{річ}$ – економія, що отримується від впровадження проекту, тис. грн.;

$m_t$ – коефіцієнт дисконтування;

$K_t$ – капітальні вкладення в проект, тис. грн.;

t – номер часового інтервалу.

Критерії ефективності інвестиційного проекту наступні:

$П_{ЧДП} > 0$,додатне значення чистого дисконтованого прибутку говорить про те, що проект приносить прибуток. Негативне значення показує, що при заданій нормі прибутку проект приносить збиток

$I_п > 1$, тобто сума прибутків повинна перевищувати капітальні вкладення.

Техніко - економічні показники впровадження вітроенергетичної установки представлені в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4

**Техніко – економічні показники**

| Найменування показника | Варіант | |
|---|---|---|
| | Базовий | Розроблений |
| Тип електропостачання | Центральне | Автономне |
| Термін експлуатації до капітального ремонту, років | 16 | 20 |
| Коливання напруги, % | -5,+10 | ±2 |
| Граничне відхилення частоти, Гц | 0,4 | 0,2 |
| Капітальні вкладення, тис. грн. | 21900 | 33408000 |
| Споживання електроенергії за весь термін служби, тис. кВт·год | 86432 | 86432 |
| Річні експлуатаційні витрати, тис. грн. | 741,6 | 1070,1 |
| Собівартість виробництва електроенергії, грн/ кВт·год | 3,15 | 0,87 |
| Ступінь зниження собівартості виробництва електроенергії, % | - | 72,38 |
| Річна економія від зниження собівартості 1 кВт·год, тис. грн. | - | 7190,2 |
| Чистий дисконтований прибуток, тис. грн. | - | 36221,9 |
| Індекс прибутковості | - | 2,08 |

Впровадження вітроенергетичної установки призводить до скорочення собівартості електроенергії на 72,38%, до 0,87грн / кВт·год, за рахунок цього загальна річна економія буде отримана в розмірі 7190,2 тис. грн, за весь термін експлуатації вітроустановки буде отриманий чистий прибуток в розмірі 36221,9 тис. грн.

# ВИСНОВКИ

Споживання енергії - важливий показник життєвого рівня. Паралельно з інтенсивним розвитком енергетики широкого поширення набувають джерела енергії з високим ККД, екологічно чисті, зручні у використанні, а саме вітроенергетика, сонячна енергія і воднева енергетика.

Прикладом для багатьох підприємств є можливість використовувати один з невичерпних видів енергії - енергію вітру, тим самим максимально знизити вплив на навколишнє середовище.

В магістерській роботі на основі аналізу стану виробничо-економічної діяльності фермерського господарства «Плеяда» с. Цуцилів Надвірнянського району Івано-Франківської області обґрунтовано доцільність впровадження в систему електропостачання вітроенергетичної установки.

Параметри електричної енергії, що виробляється ВЕУ, залежать від швидкості вітру. Так як вітровий потік не стабільний, то і параметри електроенергії будуть постійно змінюватися. Така низька якість енергії неприйнятна для господарства. До того ж виникає проблема синхронізації електричних потоків від декількох установок. Для вирішення цих проблем розроблена система стабілізації з подвійним перетворенням.

Проведено аналіз особливостей застосування вітроенергетичних установок різних типів. Виконано розрахунок і вибір вітрогенератора. Як найбільш ефективний варіант з трьох розглянутих в роботі вибрано варіант із застосуванням чотирьох агрегатів ENERCON моделі 500.

Швидкість вітру в часі нестабільна і змінюється стрибкоподібно. Великі швидкості і пориви вітру можуть привести до вироблення надлишків енергії або до руйнування агрегату. Для запобігання небажаних режимів роботи в системі передбачена система обмеження оборотів вітроколеса шляхом регулювання кута нахилу лопастей.

Проведено вибір основних функціональних вузлів системи електропостачання з вітроенергетичною установкою, зокрема випрямляча напруги, АКБ, інвертора напруги.

Розроблено імітаційну модель вітроенергетичної установки. Як середовище розробки і дослідження застосовано пакет прикладних програм MATLAB з вбудованим інструментальним пакетом для імітаційного моделювання Simulink.

Комп'ютерна модель вітроенергетичної установки була розроблена з наперед заданим коефіцієнтом використання енергії вітру вітродвигуна і універсальним контролером для забезпечення можливості зміни алгоритму управління.

Для забезпечення якісної зарядки акумуляторної батареї в складі вітроенергетичної установки і забезпечення функціонування ВЕУ згідно із заданими алгоритмами запропоновано застосовувати контролер вітроенергетичної установки.

Розроблений керуючий контролер ВЕУ виконує наступні функції: забезпечує розподіл генерованої електричної енергії для заряду акумулятора і живлення навантаження; регулює струм в якірних обмотках генератора для формування оптимального електромагнітного моменту на валу електричної машини, на основі визначення зовнішніх параметрів ВЕУ (швидкості вітру, частоти обертання вітроколеса, стану акумуляторної батареї та ін.); встановлює відхилення робочих параметрів за межі безпечних режимів і забезпечує захист конструкції ВЕУ; забезпечує зарядку акумуляторної батареї постійним струмом з обмеженням напруги; запобігає надмірному розряду акумуляторної батареї; забезпечує можливості зміни алгоритму керування.

Розроблені структурна та електрична принципова схеми керування універсальним контролером.

Розглянуто питання організація технічної експлуатації вітроенергетичних установок, визначено основні несправності вітрогенераторів та способи їх усунення.

Проведено аналіз системи управління охороною праці в фермерського господарства «Плеяда», розроблені заходи з безпеки праці під час монтажу та експлуатації вітроенергетичної установки, безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Доцільність прийнятих технічних рішень підтверджена техніко-економічними розрахунками. Впровадження вітроенергетичної установки в ФГ «Плеяда» призводить до скорочення собівартості електроенергії за рахунок цього загальна річна економія буде отримана в розмірі 7190,2 тис. грн.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ


1. Безруких П. П. Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие. М.: ИД «Энергия». 2010. 320 с.
2. Богатирєв Н. І., Креймер А. С. Імітаційне моделювання вітроенергетичної установки. Київ: Основа, 2000. 416 с.
3. Васько В.П. Управління параметрами електроенергії автономних вітроелектричних станцій. Вінниця: ВНТУ, 2002. 246 с.
4. Ветроэнергетика Украины. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.uwea. com.ua /ukraine_wind.php
5. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование систем в MATLAB – 6.0: учеб. пособие. СПб.: КОРОНА принт, 2001. 320 с.
6. Германович В.Н., Турилин А.А. Альтернативные источники энергии. СПб.: Наука и Техника, 2011. 318 с.
7. Гліненко Л.К., Сухоносов О.Г. Основи моделювання технічних систем. Львів: Видавництво “Бескид Біт”. 2003. 176 с.
8. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. М.: Наука, 2004. 157 с.
9. Гультяев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс. СПб: Питер, 2000. 432 с.
10. Денисенко О.Г., Козловский Г.А. Преобразование и использование ветровой энергии. К.: Техника, 1992. 176 с.
11. Деркачєв С.В. Актуальність і проблеми розвитку вітроенергетики в Україні. К.: Урожай, 2006. 272 с.
12. Дзензерский В.А, Тарасов С.В., Костюков И.Ю. Ветроустановки малой мощности. К.: Наук. думка, 2011. 592 с.
13. Єрмолаєв С.О., Яковлєв В.Ф., Мунтян В.О. та ін. Проектування систем електропостачання в АПК. Мелітополь: Люкс, 2009. 568 с.
14. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. М.: ДМК Прес, 2011. 144 с.

15. Кириленко О.В. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. К.: "Текст", 2006. 488 с.
16. Ковальов І. О., Ратушний О.В. Альтернативні джерела енергії України: навч. посіб. Суми: Вид-во СумДУ, 2015. 201 с.
17. Коробко Б. С. Енергетика та сталий розвиток. Київ : Основа, 2006. 285 с.
18. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.
19. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия «Ветроэнергетика». Харьков «ХАИ», 2004. 45 с.
20. Кучерявий В. Охорона праці: Навчальний посібник. Львів: Оріяна-Нова, 2007. 368 с.
21. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. 512 с.
22. Михальчук В.Б., Потапенко М.В. Розробка імітаційної моделі вітроенергетичної установки. *Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення»*. ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», 5 листопада 2020 року м. Бережани, С.
23. Михальчук В.Б., Потапенко М.В. Розробка керуючого контролера вітроенергетичної установки. *Матеріали науково-практичної студентської конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»* (2-3 квітня, 2020 р.) Випуск 12, ХНТУСГ ім. Петра Василенка, м. Харків. С. 94.
24. Полуянович Н.К. Силовая электроника: учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. 204 с.
25. Притака І.П., Козирський В.В. Електропостачання сільського господарства. К.: Урожай, 1995. 214 с.

26. Сєріков Я.О., Пархоменко О.М. Вітроенергетика. Перспективи та проблеми розвитку. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2010. № 1. С. 66–70.
27. Сосков А.Г., Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка: Підручник. К.: Каравела, 2017. 536 с.
28. Толмачев В. Н., Орлов А.В., Булат В.А. Эффективное использование энергии ветра в системах автономного энергообеспечения. СПб: ВИТУ, 2002. 203 с.
29. Трегуб М.І., Козирський В.В. Підвищення енергоефективності автономних сільськогосподарських вітроенергетичних систем. *Нова тема*. 2010. №2. С. 47 – 50.
30. Фатеев Е.М. Ветродвигатели и ветроустановки. М.: Сельхозгиз, 1988. 546 с.
31. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Sim Power Systems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.:
32. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. М.: Энергоатомиздат, 1983. 199 с.
33. Шидловський А.К. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії. К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. 560 с.
34. Янсон Р.А. Ветроустановки. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумена, 2007. 14 с.
35. Яхно О. М., Таурит Т. Г., Грабар І. Г. Вітроенергетика: конструювання та розрахунок ВЕУ. Житомир: ЖДТУ, 2003. 248 с.