

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній ступінь)

на тему: «Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового
двигуна постійного струму малої потужності»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕПА-18мз
галузь знань 14 – Електрична інженерія
спеціальність 141 – Електроенергетика
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод»

Бугайчук В.І

(прізвище та ініціали)

Керівник Кутін В. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітній ступінь магістр
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувача кафедри

д.т.н., проф.
В. М. Кутін
“ ” _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бугайчуку Володимир Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна постійного струму малої потужності

керівник роботи Кутін В. М., д.т.н., проф. каф. ЕМСАПТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “06” березня 2020 року №76

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: BLDC двигун 250 Вт, (в режимі генератора 100 Вт), діаметр вітроколеса 1,5м ,кількість лопатей-3, швидкохідність вітроколеса-4, довжина флюгерної частини 1м

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок потужності вітроколеса 3 Розробка системи автоматичного гальмування генератора. 4 Розробка системи автоматизації вітроелектричної установки для роботи на споживач. 5 Економічна частина. 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1 Мета та задачі дослідження. 2 Структурна схема вітроустановки. 3 Характеристика гвинта. 4 Характеристика генератора 5 Техніко-економічне обґрунтування вибору вітроелектричної установки. 6 Вибір контролера генератора 7 Схема електрична функціональна контролера 8Лістинг програми контролера 9 Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. 10 Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кутін В.М д.т.н., проф. каф. ЕМСАПТ		
Економічна частина	Мельничук Л. М., к.е.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бугайчук В.І. Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна постійного струму малої потужності. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 104 с. Бібліогр. : 31. Іл. : 27. Табл. : 15.

В магістерській кваліфікаційній роботі вирішена наукова задача по підвищенню ефективності малої вітроелектричної станції на базі безщіткового двигуна малої потужності. Здійснено аналіз та розробку вітрогенератора. Визначено заходи безпечної експлуатації малих вітрогенераторних систем.

Ключові слова: вітрогенератор, вітроколесо, контролер, , синхронний генератор.

АННОТАЦИЯ

Бугайчук В.И. Улучшение характеристик ветрогенератора на основе бесщеточного двигателя постоянного тока малой мощности. Магистерская квалификационная работа. - Винница: ВНТУ, 2020. - 104 с. Библиогр. : 31. Рис.: 27. Табл. : 15.

В магистерской квалификационной работе решена научная задача по повышению эффективности малой ветроэлектрической станции на базе бесщеточного двигателя малой мощности. Осуществлен анализ и разработка ветрогенератора. Определены меры безопасной эксплуатации малых ветрогенераторных систем

Ключевые слова: ветрогенератор, ветроколесо, контроллер,, синхронный генератор.

ANNOTATION

Bugaychuk VI Improving the performance of a wind turbine based on a brushless low-power DC motor. Master's qualification work. - Vinnytsia: VNTU, 2020. - 104 p. Bibliogr. : 31. Il. : 27. Table. : 15.

In the master's qualification work the scientific problem on increase of efficiency of a small wind power station on the basis of the brushless engine of small power is solved. The analysis and development of the wind generator is carried out. Measures for safe operation of small wind turbine systems have been identified

Key words: wind generator, wind wheel, controller,, synchronous generator

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.....	8
1.1 Розвиток вітрової енергетики у світі.....	8
1.2 Перспективи розвитку та стан вітроенергетики в Україні.....	10
2 КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК. КЕРУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ	14
2.1 Конструктивні особливості вітрогенераторів, їх види та область застосування	14
2.2 Конструктивні виконання горизонтальних ВЕУ	18
2.3 Типи генераторів для вітроустановок	25
2.4 Математична модель синхронного генератора.....	30
3 ВИБІР КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	37
3.1 Вітрогенератор малої потужності та його основні компоненти.....	37
3.2 Вибір та розрахунок вітроколеса.....	39
3.3 Конструкції і типи синхронного електродвигуна з постійними магнітами	44
4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗЩІТКОВОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ ГЕНЕРАТОРА	49
4.1 Загальні характеристики безщіткового двигуна.....	49
4.2 Зняття характеристик мотор-колеса на лабораторному стенді.....	50
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	54
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
ВИСНОВКИ	82

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83
Додаток А. Технічне завдання.....	86
Додаток Б. Ілюстративні матеріали.....	91
Додаток В. Програма роботи контролера вітрогенераторної установки	3

ВСТУП

Виробництво енергії, що є необхідним засобом для існування і розвитку людства, впливає на природу і навколишнє середовище людини. З одного боку в побут і виробничу діяльність людини настільки твердо увійшла тепло- і електроенергія, що людина навіть і не мислить свого існування без неї і споживає самі собою зрозумілі невичерпні ресурси. З іншого боку, людина все більше і більше загострює свою увагу на економічному аспекті енергетики і вимагає екологічно чистих енергетичних виробництв. Це говорить про необхідність вирішення комплексу питань, серед яких перерозподіл коштів на покриття потреб людства, практичне використання в народному господарстві досягнень, пошук і розробка нових альтернативних технологій для вироблення тепла та електроенергії і т.д.

У другій половині ХХ століття перед людством постала глобальна проблема - це забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння органічного палива. Навіть якщо розглядати окремо кожен галузь цієї проблеми, то картина буде складатися жахлива. Наприклад, наведемо дані статистики за викидами в навколишнє середовище шкідливих речовин автомобілями: з вихлопними газами автомобілів в атмосферу потрапило 14,7 мільйона тонн оксиду вуглецю, 3,4 мільйона тонн вуглеводнів, близько одного мільйона тонн оксидів азоту, більше 5,5 тисячі тонн високотоксичних сполук свинцю. І це дані на далекий 1993 рік. Якщо врахувати, що кожен рік з конвеєрів автомобільних заводів сходять понад 40 мільйонів машин, і темпи виробництва ростуть, то можна сказати, що вже через десять років усі великі міста світу загрузнуть в смогу. До цього ще треба додати продукти згоряння палива на теплових електростанціях, затоплення величезних територій гідроелектростанціями та постійна небезпека в районах АЕС. Але у цієї проблеми є й інший бік медалі: все нині використовувані джерела енергії є вичерпаними ресурсами. Тобто через століття при таких темпах

споживання вугілля, нафти і газу населення Землі загрузне в енергетичній кризі.

Метою роботи є покращення характеристик та здешевлення малих побутових вітроенергетичних установок, за рахунок впровадження оригінальних конструктивних рішень в механічній і електричній частині ВЕУ.

Об'єктом дослідження процес перетворення вітрового потоку в електроенергію за допомогою вентильного безщіткового двигуна в режимі генератора.

Предмет дослідження: покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна постійного струму малої потужності

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- дослідити актуальність використання вітрової енергії в Україні та світі;
 - проаналізувати існуючі схеми вітроелектричних установок;
 - розробити структурну та функціональну схеми малогабаритного вітрогенератора, на основі готових компонентів;
 - вибрати конструкцію та оптимальне виконання вітрогенератора малої потужності побудувати діючий зразок вітрогенератора;
- експериментально дослідити безщітковий двигуна в режимі генератора

Методи дослідження. Аналіз інженерних рішень, методи активізації пошуку інженерних рішень (мозковий штурм), пошукове, системний аналіз та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів та загального дизайну рішення в цілому та його компонентів спираючись на сучасні системи автоматизованого проектування, моделювання, технологічного підготовки, виробництва, а саме sPlan7.0, Sprint-Layout 6.0, CodeVisionAVR, Arduino IDE

Наукова новизна. Удосконалення технічного рішення вітрогенеруючої системи для вироблення електроенергії для побутових

потреб, з використанням вентильного двигуна в якості синхронного генератора.

Практичне значення одержаних у роботі результатів

1. Розроблено конструкцію вітрогенераторної установки малої потужності яка на відміну від інших дозволяє значно здешевити виробництво такого типу пристроїв за рахунок раціональнішого використання енергії вітру

2. Розроблено спеціальний контролер для систем моніторингу, захисту ВЕУ ,та контролю навантаження

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на XLIX Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2020 р.)

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Розвиток вітрової енергетики у світі

Використання енергії вітру в світовій практиці набуло широкого поширення, особливо в останні десятиліття. Все більше країн вкладаються в цей напрямок, усвідомлюючи доступність і повну безпечність для природи цього альтернативного способу вироблення енергії.

Перспективи і можливості напрямку доведені на практиці, а потенціал досить великий, щоб розробити і вдосконалити техніку виробництва електроенергії за допомогою вітру. Постійна поява нових розробок, все більш ефективних і продуктивних, наочно ілюструє цінність вітроенергетики в очах бізнесменів і техніків.

Світове визнання і розвиток вітроенергетики обумовлене двома причинами:

- джерело енергії невичерпне і абсолютно безкоштовне;
- у випадках, коли варіанти вироблення електрики іншими способами не можливі.

У місцевостях, що не мають великих рік і відповідного рельєфу для будівництва ГЕС, вітрові турбіни стають основним джерелом енергії. Використання АЕС знаходиться під прямою заборонаю в одних країнах і під негласним, але не менш активним тиском в інших.

В Європі беруть участь великі вітроелектростанції, що включають в себе десятки і сотні потужних агрегатів. Найбільша щільність установок знаходяться на березі Атлантики, де є відмінні умови для використання вітроелектростанцій (ВЕС) — стабільні і сильні вітри, що дозволяють прогнозувати метеорологічну обстановку на деякий час вперед.

Створена спеціальна некомерційна організація, що координує і виробляє моніторинг ситуації на ринку вітроенергетичних установок зі штаб-квартирою в Німеччині (World Wind Energy Association). Організація проводить дослідження, консультує і надає інформаційну підтримку різних проектів в області вітроенергетики по всьому світу.

Не менш розвинене цей напрямок і в Китаї. Розвиток почався 10 років тому, але країна впевнено вийшла в лідери з виробництва енергії з допомогою ВЕС. На сьогодні в Китаї існує одна з найбільших груп ВЕС у світі – це Комплекс ВЕС "Ганьсу" (7965 МВт).

Загальна встановлена потужність ВЕС в світі на сьогоднішній день оцінюється в 500 ГВт, і частка Китайська становить 80 ГВт. Відрив від інших країн колосальний, і пояснюється це значними вкладеннями в вітроенергетику, прийняттям державних програм розвитку відновлюваної енергетики.

Крім того, Китай вдало розташований в географічному відношенні — довга берегова лінія дозволяє розмістити велику кількість ВЕС, що функціонують в оптимальному режимі — стабільні рівні і сильні вітри, відсутні періоди безвітря. Велика кількість степових регіонів в Китаї також здатна розвивати вітроенергетику, так як в цьому напрямку там ніяких можливостей не проглядається. Топ-10 лідируючих країн у вітроенергетиці

Наступними за Китаєм слід назвати США. Обсяги вироблення енергії в цій країні досягають 60 ГВт. При цьому, державна політика не демонструє серйозну підтримку вітроенергетики, а має судовий прецедент, коли за позовом індіанців з резервації, що знаходиться неподалік від установки, експлуатація вітряка була заборонена.

Третя країна, що має велику кількість вітростанцій – Німеччина. Кількість виробленої енергії становить 30 ГВт, що немало, враховуючи загальний обсяг генерації електроенергії країн ЕС 100 ГВт. Всупереч

зусиллям вугільних компаній, уряд Німеччини приділяє велику увагу вітроенергетиці і сприяє розвитку галузі.

Четвертим номером є Іспанія. Вітроенергетика Іспанії знаходиться на досить високому рівні. При цьому, потенціал і приховані можливості напрямку ще далеко не вичерпані, енергія вітру планується використовуватися у великих обсягах і надалі, за підтримки державних програм.

Італія по праву забирає п'яте місце. Відмова від використання АЕС, яка була прийнятий в 2011 році, створила необхідність зайнятися вітроенергетикою, що мало чималий успіх.

1.2 Перспективи розвитку та стан вітроенергетики в Україні

Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць у світі з використання енергії вітру.

Основний вплив на клімат і, як наслідок, на вітровий режим території України надають Атлантичний і Північний Льодовитий океани. Істотно впливають на формування клімату окремих регіонів країни також висота і напрямок розташування Карпат, Подільської, Волинської та Придніпровської височин, Донецького кряжу, близькість інших регіонів до Чорного і Азовського морів і цілий ряд інших факторів.

Аналіз багаторічних спостережень метеостанцій свідчить про те, що на Україні переважають вітрові потоки з середньорічними швидкостями вітру від 6 м/с (на висоті флюгера, що дорівнює 10 м/с). Такі вітрові потоки при сучасному рівні розвитку вітроенергетичних технологій дозволяють економічно обґрунтовано використовувати вище зазначені регіони для будівництва потужних ВЕС. Крім того, науковими дослідженнями, проведеними метеорологами Центральної геофізичної обсерваторії України,

встановлено, що в найближчі 30...40 років на території України слід очікувати поступове збільшення середньої швидкості вітру на 1...2 м/с, що буде впливати на збільшення прогнозного потенціалу ВЕС.

Енергія вітру розподілена по території України вкрай нерівномірно, причому вітропотенціал на півдні країни значно вище, ніж на півночі. З точки зору використання енергії вітру на суші, найбільш сприятливими регіонами є Карпати (Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська, західна частина Чернівецької області), узбережжя Чорного та Азовського морів (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька та Донецька області), а також Луганська область. Площі територій, придатних для спорудження ВЕС, оцінюються в 8...9 тис.км². На цих територіях при використанні 20...30% площ і при щільності будівництва ВЕС 5...8 МВт / км² можна побудувати ВЕС загальною потужністю 8...24 тис. МВт і генерувати 16...48 млрд. кВт/год електроенергії на рік.

Набагато більші площі для будівництва потужних ВЕС є на прибережних і внутрішніх акваторіях України. Так, хороший вітропотенціал мають акваторії на Азовському морі (площа-60 тис. км²), на Чорному морі (Одеська банка, площа 10 тис.км²), на приморських лиманах і на ряді інших водосховищ. В цілому по площах мілководних акваторій, придатних для будівництва ВЕС водного базування, Україна знаходиться на другому місці в світі (після Норвегії).

З урахуванням можливих обсягів інвестицій сумарну потужність ВЕС, які можуть бути побудовані протягом найближчих 10 років в перспективних регіонах України, за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, можна оцінити в 16 ТВт з можливим річним обсягом виробництва енергії близько 32 млрд.кВт·год /рік.

Щоб використовувати незаперечні переваги ВЕС, необхідно активно розвивати новітні технології виробництва обладнання для таких електростанцій. Однак, на жаль, ця галузь на Україні недостатньо розвинена,

навіть незважаючи на те, що плани з її розвитку були найамбітніші, ще в середині 1990-х років, коли почала здійснюватися, але незабаром провалилася програма конверсії підприємств ВПК. В даний час на Україні вітроенергетичне обладнання виготовляють тільки кілька виробників, серед них завод "Південмаш", компанія Windelectric та ін. Всі вони в різному ступені використовують зарубіжні комплектуючі для складання свого обладнання.

В даний час на Україні спостерігається бурхливий розвиток вітроенергетичної галузі, обумовлений, в основному, прийняттям Верховною Радою України в 2009 р. одного з найвищих в Європі зеленого тарифу на електроенергію, отриману на ВЕС потужністю понад 2 МВт. Цей тариф становить близько 11,3 євроцента за 1 кВт·год і діятиме аж до 2030 р.

В Україні існує вітчизняний виробник електричних машин: Інженерний центр СКБ "Укрелектромаш", що входить до Індустріальної групи УПЕК, - провідний в Україні розробник загальнопромислових і спеціальних електродвигунів для малих і середніх висот. Спеціалізується на розробці нових конструкцій електродвигунів, насосів, агрегатних пристроїв, генераторів, теплотехніки. Одним із варіантів їхньої продукції являться синхронний генератор на постійних магнітах для вітроелектричних станцій-СГПМ-750-48М1 потужністю до 12кВт малим стартовим моментом всього 2,5м/сек.

Зараз в країні працює 16 ВЕС, включаючи ті, які були побудовані в рамках виконання Державної комплексної програми з будівництва ВЕС (1997-2010 рр.). При цьому майже третина (90 МВт) введених в експлуатацію ВЕС припадає на Запорізьку область.

Висновок:

Підводячи підсумок розгляду бурхливого розвитку вітроенергетики на Україні, зазначимо, що встановлена потужність вітчизняних ВЕС зросла за

2019 р. майже вдвічі – до 301,8 МВт проти 151,1 МВт на кінець 2011 р. Згідно з розрахунками Української вітроенергетичної асоціації (УВЕА), встановлена потужність національної вітроенергетики до кінця 2020 р. може досягти 4000 МВт, а до кінця 2020 р. – 5600 МВт.

2 КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК. КЕРУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

2.1 Конструктивні особливості вітрогенераторів, їх види та область застосування

Вітрогенератор являє собою пристрій, який шляхом перетворення вітрового потоку виробляє електричну або механічну енергію, для її подальшого використання споживачами [1, с.12].

На даний момент відомі два основних типи вітрогенераторів, конструктивні відмінності, яких полягають в розташування осі обертання елемента, що вловлює енергію вітру. Вітряні генератори бувають:

- з горизонтальною віссю обертання (рисунок 2.1, а);
- з вертикальною віссю обертання (рисунок 2.1, б).

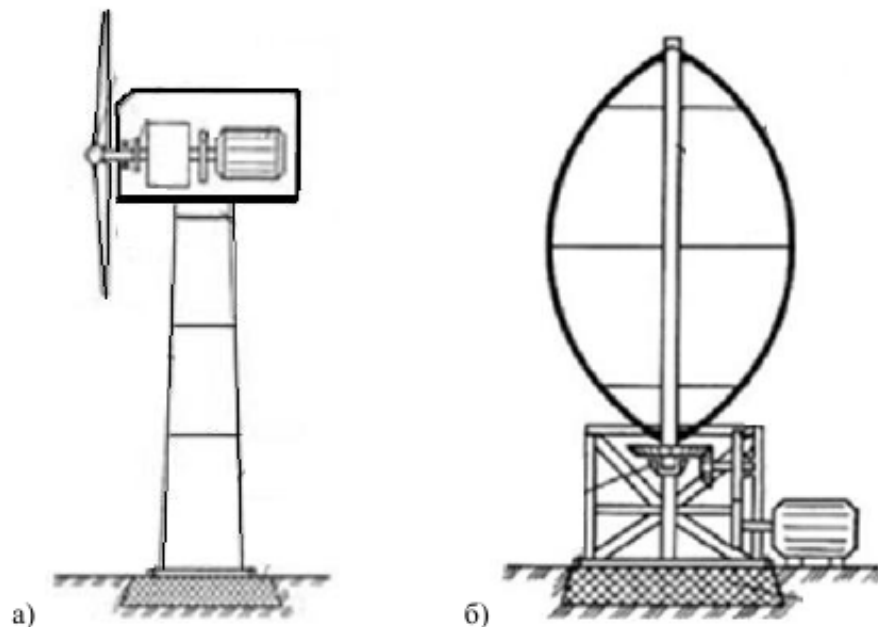


Рисунок 2.1 – Вітроустановки з горизонтальною віссю обертання (а)
та з вертикальною віссю (б)

Конструктивна схема електроустановки, яка дає повне уявлення про її влаштування, приведена на рисунку 2.2. На схемі використовуються наступні позиційні позначення:

1. Ротор вітроколеса, що бере участь в процесі перетворення тиску вітру в механічну енергію.
2. Низькошвидкісний вал, що приводиться в рух ротором вітроколеса і задіяний в передачі механічної енергії.
3. Редуктор, що підвищує частоту обертання вітроколеса (ротора).
4. Генератор, що виробляє електроенергію і має в своєму складі високошвидкісний вал.
5. Контролер, що відповідає за управління всієї установки. З його допомогою в автоматичному режимі запускаються вітряні турбіни або здійснюється їх зупинка.
6. Анемометр, призначений для визначення швидкості вітру з подальшою передачею даних до контролера.
7. Флюгер, що визначає напрямки вітру і повертає вітроколесо в потрібному напрямку.
8. Високошвидкісний вал, що обертає ротор електрогенератора.
9. Гондола, розташована у верхній частині вітряної турбіни і є несучою частиною конструкції. Усередині неї знаходяться вали, редуктор, генератор, контролер і гальмо.
10. Щогла, що представляє собою порожнисту конструкцію з металу або бетону, що служить для розміщення всіх основних елементів на висоті.
11. Гальмо, що запобігає поломки установки і використовується для зупинки ротора в критичних ситуаціях (наприклад, в ураган).
12. Лопаті, що є ключовим елементом вітроустановки, призначеним для уловлювання енергії вітру. За допомогою лопатей здійснюється функціонування даного пристрою. Потік вітру, потрапляючи на лопаті,

приводить їх у рух, і забезпечує обертання ротора і надалі вироблення енергії генератором.

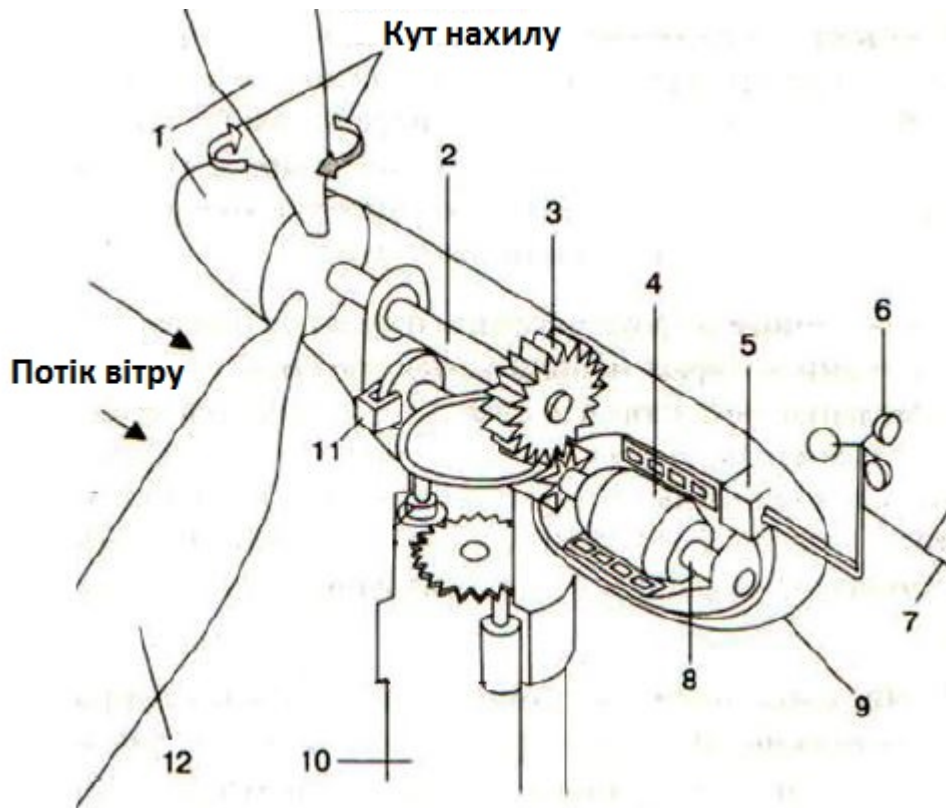


Рисунок 2.2-Конструктивна схема вітроустановки

Принцип роботи вітрогенератора дуже простий. Потік вітру чинить тиск на лопаті (позиція 12) вітрового колеса. Ротор (позиція 1) вітрового колеса закріплений на низько швидкісному валу (позиція 2). Під впливом вітру вітряне колесо (ротор з лопатями і низько швидкісний вал) починає обертатися, здійснюючи перетворення вітряної енергії в механічну. Від низько швидкісного валу через редуктор (позиція 3) механічний рух передається на вал (позиція 8) електричного генератора (позиція 4). При обертанні ротора електрогенератора здійснюється перетворення механічної енергії в електричну.

Незважаючи на наявну схожість, є істотні відмінності в характеристиках вітрогенераторів з горизонтальною і вертикальною осями обертання.

На даному етапі горизонтальні вітрогенератори мають найбільшу популярність [1, с.5]. У них вісь обертання вітряного колеса, лопаті якого обертаються проти вітру, розташована паралельно землі. Такий варіант виконання отримав назву "вітряний млин". Конструкція горизонтальних вітрогенераторів виконана так, що передня частина вітряного колеса, здійснюючи пошук вітру, повертається автоматично. Крім того, кут повороту лопатей може змінюватися теж, щоб вловити навіть невеликий вітер. Вважається, що цей тип вітрогенераторів підходить для виробництва великого обсягу електроенергії [6, с.8]. Горизонтальні вітрові установки характеризуються високим ККД (40-50%). Тож саме цей різновид зазвичай використовується при створенні систем вітряних електростанцій.

У вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання вітроколесо може бути виконано з різною кількістю лопатей. В залежності від цього розрізняють одно-, дво-, трьох- і багатолопатеві модифікації.

До складу вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання в обов'язковому порядку входять додаткові конструктивні елементи, які забезпечують орієнтацію ротора вітроколеса за вітром, що ускладнює конструкцію і є недоліком даного різновиду вітроенергетичної установки (ВЕУ).

Перевагою вітрогенераторів з горизонтальним обертанням валу є їх велика ефективність в порівнянні з моделями, де вісь обертання розташовується вертикально. Це пояснюється тим, що кути атаки в робочих режимах тут менше. Тому вітрогенератори з горизонтальним обертанням вала відрізняються меншими масогабаритними показниками по відношенню до вертикальних ВЕУ, що генерують однакову потужність.

2.2 Конструктивні виконання горизонтальних ВЕУ

1) Однолопатеві вітрогенератори.

Головна перевага однолопатевих вітрогенераторів – велика кількість обертів. У них замість другої лопаті встановлено противагу, яка мало впливає на опірність руху повітря, що дає можливість використовувати їх для генераторів з високими оборотами, в тому числі асинхронними.

Однолопатеві вітрогенератори можуть працювати при дуже слабких вітрах.

Недоліки однолопатевого вітряка:

- через високу швидкість обертання великий гіроскопічний ефект, що уповільнює поворот ротора при зміні вітру і створює додаткове навантаження на лопаті, ступиця і вузол повороту;

- підвищена небезпека при функціонуванні установки, пояснюється тим, що сила удару швидкохідної лопаті вища, ніж тихохідної;

- необхідність точного балансування лопаті.

На рисунку 2.3 приведено приклад однолопатевого вітрогенератора.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд однолопатевого вітрогенератора

2) Дволопатеві вітрогенератори.

Вітрогенератори дволопатевого типу - по влаштуванню схожі з однолопатевиими, тільки відрізняються кількістю лопатей. У порівнянні з однолопатевою конструкцією вони мають перевагу. Оскільки тут кількість лопатей-парне, то ротор вітроколеса залишається врівноваженим при будь-якому кутовому положенні його лопатей. Тож тут немає додаткових конструктивних елементів, що забезпечують врівноваженість конструкції. Спрощення конструкції веде до зниження вартості даної модифікації в порівнянні з аналогічною моделлю однолопатевої ВЕУ.

Недоліком даної конструкції є те, що вона більш шумна і схильна до вібрації [1,с.15]

Прикладом самопідйомної дволопатевої вітроустановки є Gev MP, номінальною потужністю 275 кВт, французької фірми Vergnet S. A (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4-зовнішній вигляд дволопатевого вітрогенератора

3) Трилопатові вітрогенератори.

Це-найпоширеніша модифікація вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання вала вітроколеса. Дослідження, проведені данськими вченими ще в 70-х роках минулого століття, показали, що оптимальна кількість лопатей горизонтальних вітрогенераторів рівна трьом. Цей висновок був добре засвоєний великими виробниками вітрогенераторів [1, с.15]. Тому саме ці вітряки найбільш широко представлені на ринку. Вітрогенератори з трьома лопатями випускаються з потужностями від декількох ват до декількох мегават [6]. Як приклад, на рисунку 2.5 представлена одна з найпотужніших на сьогоднішній день трилопатових вітроенергетичних установок марки Enercon E-126 (номінальна потужність 7 МВт).



Рисунок 2.5-зовнішній вигляд трилопатового вітрогенератора

3) Багатолопатеві вітрогенератори (рисунок 2.6).

До багатолопатевих відносяться горизонтальні вітрогенератори з кількістю лопатей, що знаходяться в інтервалі 4÷50. Ротори вітроколів з великою кількістю лопатей здатні розвинути значний обертальний момент, що, безсумнівно, є їхньою перевагою. Однак такі вітроколеса відрізняються великим моментом інерції, тому вони – тихохідні.

Зазначені тут конструктивні особливості і технічні характеристики багатолопатевих вітрогенераторів відповідають вимогам енергоживлення водяних насосів. Тому їх зазвичай застосовують в якості альтернативних джерел електричної енергії в водонасосних системах [7].



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд багатолопатевої ВЕУ

Вертикальні вітрогенератори є менш ефективними в порівнянні з горизонтальними. Їх ККД в 3 рази менше, ніж у горизонтальних модифікацій [4, с. 18] лопаті вертикального вітрогенератора крутяться перпендикулярно поверхні Землі при будь-якому напрямку і силі вітру. Тому 1/2 від загальної кількості лопатей вітроколеса завжди обертається проти вітру. Через це у

вітрогенератора з вертикальним обертанням вітроколеса половина потужності потоку вітру не використовується, що сильно знижує їх енергоефективність. Це-головний недолік. Крім цього є недоліки наступного типу:

- немає можливості в самостійній розкрутки лопатей;
- значне навантаження на елементи конструкції;
- лопаті повинні бути ідентичні і відповідати заданому профілю;
- підвищений рівень шуму в процесі роботи.

Однак вітрогенератори з вертикальним обертанням вітроколеса мають певні переваги. Наприклад, у цих моделей спрощується монтаж і експлуатація. Це пояснюється тим, що в конструкції з вертикальним вітроколесом редуктор і електрогенератор розміщуються на Землі. Конструктивною перевагою є також те, що для них не потрібно флюгера. Вони характеризуються самостійною орієнтацією по відношенню до повітряних потоків.

Конструкції вертикальних вітрогенераторів мають суттєві відмінності через різні модифікації вітряних коліс. Далі представлені найбільш поширені варіанти конструкцій:

Ротор Савоніуса. Являє собою конструкцію, в якій лопаті ротора виконані у вигляді циліндричних поверхонь (рисунок 2.7).

Переваги ротора Савоніуса:

- здатність запускатися при малих значеннях вітру, рух
- починається при значеннях від 3м/сек;
- швидкий набір високих показників крутного моменту;
- висока надійність конструкції;
- порівняно невисока вартість виробництва.

Вітряки з ротором Савоніуса мають такий же недолік, як і всі вертикальні вітрогенератори. Це-неповне використання вітрової енергії і, як наслідок, низька ефективність перетворення повітряного потоку. Тому

промисловий випуск даних пристроїв здійснюється з потужністю, що не перевищує 4-6кВт.

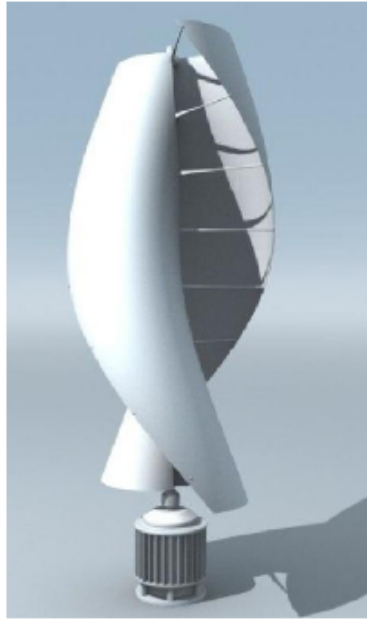


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд ротора Савоніуса

Ротор Дарьє. Вертикальний вітряк з ротором Дарьє був винайдений на кілька десятиків років пізніше звичайного. Зовні, такий вітрогенератор виконаний з двома або трьома лопатями, вигнутими у формі овалу (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 –Зовнішній вигляд ротора

Вітрогенератори з ротором Дар'є прості у виготовленні і легкі в монтажі. Так само їх перевагою є самостійна орієнтація на напрямок повітряного потоку. Основний вал приводу розташовується поблизу рівня землі, що створює зручність в його обслуговуванні.

Конструкцію вітряка з ротором Дар'є вирізняє проста кінематична схема. Головним недоліком такого вітрогенератора є те, що ротор потрібно запускати вручну. Його вирізняє також високе навантаження на опорні вузли, викликане динамічним впливом від повітряних потоків. Задля нормальної роботи вітряка необхідно строго дотримуватися заданого профілю лопаті по всій її довжині. Вітряк з ротором Дар'є досить шумний в роботі.

Гелікоїдний ротор є розвитком вертикально-осьового вітроколеса. Лопаті останнього виконані у формі гелікоїдної кривої, що надає конструкції більш рівномірне обертання і знижує навантаження на опорну частину. Вигин лопатей ротора по діагоналі сприяє швидкому набору швидкості. Ефективність використання вітрового потоку близька до горизонтальних пристроїв. У той же час, це викликає підвищення шуму при роботі і виробляє звукові хвилі, розташовані у короткохвильовій частині звукового спектра.

Гелікоїдний ротор дороговартісний у виробництві через складну конфігурацію профілю лопатей (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд гелікоїдного ротора

Багатолопатовий ротор – це модифікація вертикально-осьової конструкції вітроколеса, доповнена зовнішнім кільцем нерухомих лопатей. Така схема сприяє збільшенню корисної площі захоплення повітряного потоку, його стисненню і прискоренню, що призводить до підвищення ефективності вітрогенератора в цілому. Крім цього, конструкція чутлива до слабкого впливу вітру.

Багатолопатовий ротор характеризується підвищеною матеріаломісткістю, що збільшує вартість вітрогенератора в цілому. В процесі експлуатації конструкцію вітрогенератора з багатолопатовим ротором супроводжує збільшений звуковий фон (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд багатолопатевого ротора

2.3 Типи генераторів для вітроустановок

Асинхронні генератори. Трифазні асинхронні машини як генератори використовуються значно рідше, ніж синхронні, так як мають гірші експлуатаційні характеристики. Частота ЕРС асинхронних генераторів змінна (залежить від навантаження), вони мають низький коефіцієнт потужності і

завантажують мережу реактивним струмом. Крім того, напругу генератора можна регулювати лише зміною частоти обертання, що також впливає на частоту струму (рисунок .2.11)

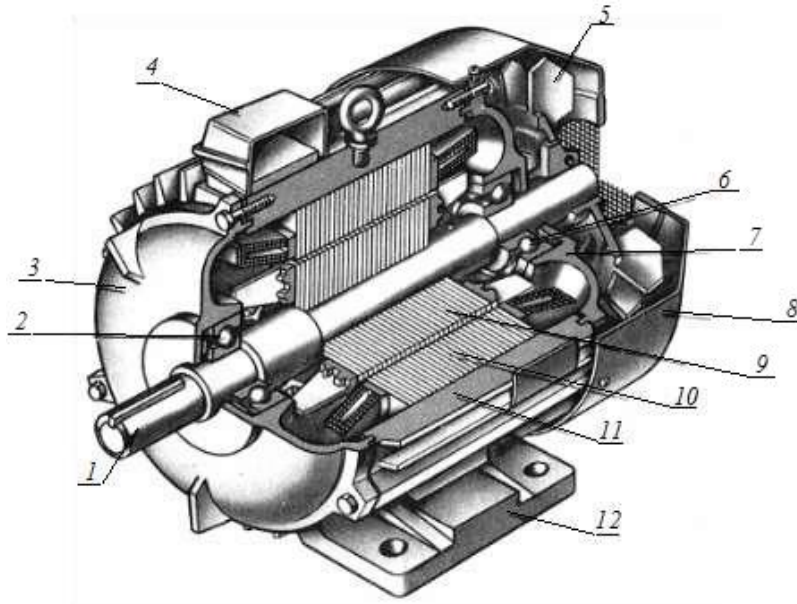


Рисунок 2.11 – Будова трифазного асинхронного генератора з короткозамкненим ротором

На рисунку 2.11: 1 – вал; 2, 6 – підшипники; 3, 7 – підшипникові щити; 4 – коробка виводів; 5 – вентилятор; 8 – кожух вентилятора; 9 – осереддя ротора з короткозамкненою обмоткою; 10 – осереддя статора з обмоткою; 11 – корпус; 12 – лапи.

Як і всі електричні машини загальнопромислового застосування, асинхронна машина оборотна, т. ч. може працювати як в режимі двигуна, так і в режимі генератора.

Якщо $S < 0$, то машина буде працювати в режимі генератора. Негативне ковзання забезпечується, коли ротор обертається швидше, ніж поле. Електромагнітна сила (електромагнітний момент) протидіє обертанню ротора. Для забезпечення роботи генератора необхідно передавати на ротор потужність від зовнішнього джерела енергії.

Асинхронні генератори використовують на транспорті (кораблях, літаках, тепловозах та ін.). Вони генерують ЕРС непостійної частоти, проте мають надійну конструкцію і працюють зі швидкісними двигунами, що мають частоту обертання до 12 000 об/хв. Такі енергетичні установки мають гарні масово-габаритні характеристики.

При автономній роботі асинхронні генератори споживають індуктивну потужність. Для компенсації паралельно до обмоток статора включають конденсатори.

Асинхронні двигуни також використовуються в генераторному режимі. Його використовують для обмеження швидкості обертання валу. Коли виконавчий механізм прискорює рух, двигун потрібно перевести в режим генератора, таким чином можна здійснити рекуперативне гальмування, тобто відбувається повернення енергії в мережу. Такий режим забезпечується, наприклад, при русі поїзда на схилі.

Синхронні генератори. Синхронним генератором (СГ) називають пристрій, що виконує функцію трансформації механічної енергії в електричну. Принцип роботи і пристрій синхронного генератора досить прості і надійні. Таке енергетичне обладнання затребуване для використання в мобільних авторемонтних майстернях, для ремонту і обслуговування верстатів-качалок, спецмашин нафтогазової галузі, на ГЕС, ТЕС, АЕС, в транспортних системах.

Основні частини синхронного генератора(СГ):

- нерухома частина – статор;
- рухома частина – ротор, що представляє собою електромагніт, і дві основні обмотки.

Обмотка збудження живиться від джерела постійного струму, функцію якого виконує електронний регулятор напруги. Регулятор використовується в генераторах з самозбудженням. Принцип самозбудження заснований на тому, що початкове збудження здійснюється з використанням залишкового

магнетизму магнітопровода СГ. При цьому енергія змінного струму надходить з обмотки статора СГ. Комплекс з понижуючого трансформатора і напівпровідникового випрямляча-перетворювача трансформує її в енергію постійного струму.

Струм, що протікає в обмотці збудження статора, наводить ЕРС на обмотці збудження якоря генератора. Статор збудника, як конструкційний елемент може бути відсутнім, і тоді його функції виконують постійні магніти. Обмотка ротора, в якій наводиться ЕРС, називається обмоткою збудження якоря. Змінна напруга, що виникає на обмотці якоря збудника, випрямляється в "діодному мосту" і перетворює силову обмотку ротора в обертовий електромагніт, який наводить ЕРС в силовій обмотці статора СГ. Силові обмотки і обмотки збудження монтуються в пази якоря і ротора.

Генератори за типом вихідної напруги діляться на одно-, або трифазні. Найбільш поширені в промисловості трифазні синхронні генератори, а в побуті – однофазні. У конструкцію статора входить корпус, всередині якого розташований осереддя, або пакет, що збирається з листів електротехнічної сталі особливої форми.

На якість електричного струму впливають такі чинники як: цілісність листів в пакеті (бувають цільними або складовими), якість і матеріал обмотки. Для обмотки застосовується мідний емаль-провід, а в дешевих пристроях можлива заміна міді на алюміній. Ротори виготовляються явнополюсними або неявнополюсними. Явнополюсні ротори призначені для синхронних генераторів, що працюють з двигунами внутрішнього згоряння з низькою частотою обертання - 1500 і 3000 об/хв.

Неявнополюсні ротори затребувані в високошвидкісних (більше 3000 об/хв) механізмах змінного електричного струму високої потужності. Зазвичай їх розміщують на одному валу з паровими турбінами. Такі СГ називають "турбогенератори".

Поняття "синхронний" означає, що число обертів знаходиться в прямій математичній залежності від частоти струму. Ця залежність визначається за формулою:

$$\eta = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (2.1)$$

де η – швидкість обертання, об/хв;

f – частота, в побутової електричної мережі вона дорівнює 50 Гц;

p – кількість пар полюсів.

Принцип роботи синхронного генератора зображено на рисунку 2.12 нижче, та містить наступні складові:

1. При пропущенні через обмотку збудження постійного струму утворюється стабільне в часі магнітне поле, яке чергується полярністю.

2. При обертанні магнітного поля щодо провідників обмотки якоря порушуються змінні ЕРС.

3. Змінні ЕРС додаються, утворюючи ЕРС фази. Трифазна система утворюється трьома однаковими обмотками, розміщеними на якорі під електричним кутом один до одного, рівним 120° .

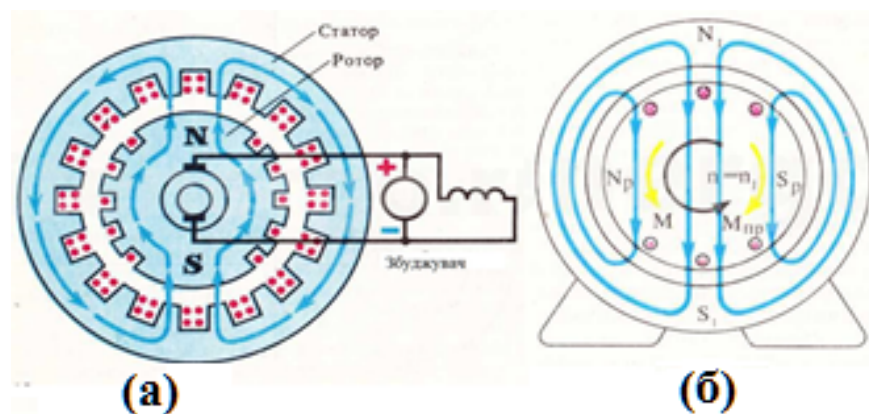


Рисунок 2.12 – Схема роботи синхронних машин:

а) двигун;

б) генератор

У випадках, якщо централізоване електропостачання має недостатню потужність або відсутнє, як, наприклад, на віддалених будмайданчиках, нафтогазовидобувних об'єктах, морських і повітряних суднах, СГ в складі з двигуном внутрішнього згорання функціонують в автономному режимі.

При необхідності створення потужних джерел живлення синхронні двигуни включають на паралельну роботу. Такий спосіб включення дозволяє більш повно використовувати потужність кожної машини і при необхідності виводити окремі СГ в ремонт без припинення ефективного електропостачання споживачів.

Другий режим роботи синхронної машини – функція електродвигуна. Зазвичай СГ затребуваний в якості двигуна в надпотужних установках понад 50 кВт. Для роботи в режимі електродвигуна обмотку статора підключають до електромережі, а обмотку ротора – до джерела постійного струму. Обертальний момент виникає при взаємодії обертового магнітного поля СГ з постійним струмом обмотки збудження.

2.4 Математична модель синхронного генератора

Сучасні комп'ютерні технології, в основі яких лежать прикладні пакети, дають можливість більш глибокого вивчення питань, пов'язаних з процесами в електричних системах. Інструментом дослідження перехідних процесів в електричних системах може слугувати програма Matlab. Для дослідження процесів в електричній системі за допомогою цієї програми необхідно в середовищі Matlab створити комп'ютерну модель елементів електричної системи на базі їх математичних моделей.

Рівняння балансу напруг записується як :

$$\begin{cases} u_s = -\frac{d\psi_s}{dt} - r_s i_s, s = \{A, B, C\} \\ u_f = -\frac{d\psi_f}{\omega_0 dt} + r_f i_f \\ 0 = \frac{d\psi_{1k}}{\omega_0 dt} - r_{1k} i_k, \{d, q\} \end{cases} \quad (2.2)$$

де r_A, r_B, r_C – активний опір обмоток статора rst фази А, В, С відповідно;

r_f – активний опір обмотки збудження;

r_{1d}, r_{1q} – активний опір обмоток ротора по продольній та поперечній осям відповідно;

$\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_{1d}, \psi_{1q}, \psi_f$ – потокозчеплення статорних обмоток, роторних обмоток по відповідним осям та обмотки збудження;

$i_A, i_B, i_C, i_{1d}, i_{1q}, i_f$ – струми в статорних обмотках фаз А, В, С відповідно, роторних обмотках по відповідним осям та в обмотці збудження;

u_A, u_B, u_C, u_f – напруга в статорних обмотках фаз А, В, С відповідно та напруга, що підведена до обмотки збудження.

Потокозчеплення кожної обмотки записується як добуток струмів на відповідні індуктивності та взаємоіндуктивності

$$\begin{cases} \psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f + M_{A1d} i_{1d} + M_{A1q} i_{1q} \\ \psi_B = M_{BA} i_A + L_B i_B + M_{BC} i_C + M_{Bf} i_f + M_{B1d} i_{1d} + M_{B1q} i_{1q} \\ \psi_C = M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + L_C i_C + M_{Cf} i_f + M_{C1d} i_{1d} + M_{C1q} i_{1q} \\ \psi_f = M_{fA} i_A + M_{fB} i_B + M_{fC} i_C + L_f i_f + M_{f1d} i_{1d} \\ \psi_{1d} = M_{1dA} i_A + M_{1dB} i_B + M_{1dC} i_C + L_{1d} i_{1d} \\ \psi_{1q} = M_{1qA} i_A + M_{1qB} i_B + M_{1qC} i_C + L_{1q} i_{1q} \end{cases} \quad (2.3)$$

В машині, що обертається тільки індуктивності L_f, L_{1d}, L_{1q} можна вважати незмінними. Всі інші L та M залежать від положення ротора відносно обмоток статора, а, отже, є функціями часу

$$\left\{ \begin{array}{l} L_S = l_0 + l_2 \cos 2(\gamma + \alpha), s = \{A, B, C\}, \alpha = \left\{0, -\frac{2\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right\} \\ M_{SS} = m_0 + m_2 \cos 2(\gamma + \alpha), s = \{BA, AB, AC\}, \alpha = \left\{0, -\frac{2\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right\} \\ M_{Sf} = M_d \cos(\gamma + \alpha), s = \{A, B, C\}, \alpha = \left\{0, -\frac{2\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right\} \\ M_{1dS} \cong M_d \cos(\gamma + \alpha), s = \{A, B, C\}, \alpha = \left\{0, -\frac{2\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right\} \\ M_{1qS} = M_q \cos(\gamma + \alpha), s = \{A, B, C\}, \alpha = \left\{0, -\frac{2\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right\} \end{array} \right. \quad (2.4)$$

де l_0, m_0 — постійні складові відповідних індуктивностей;

l_2, m_2 — амплітуди других гармонік тих же індуктивностей;

γ — кут між магнітною оссю фази А та продольною оссю d, $\gamma = \omega_0 t + \gamma_0$ (ω — синхронна кутова швидкість обертання поля статора), l_0 та m_0 , l_2 та m_2 виражаються через індуктивності, якими звичайно характеризується синхронна машина

$$l_0 = \frac{1}{3}(L_d + L_q + L_0), l_2 = m_2 \frac{1}{3}(L_d - L_q), m_0 = \frac{1}{3}\left(L_0 - \frac{L_d + L_q}{2}\right), \quad (2.5)$$

де в відносних одиницях $L_d = X_d$; $L_q = X_q$; $L_0 = X_0$.

Системи рівнянь 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 представляють математичну модель явнопольного синхронного генератора з урахуванням демпферних обмоток в режимі холостого ходу, коли фазні струми дорівнюють нулю $i_A = 0$, $i_B = 0$, $i_C = 0$. В навантаженому режимі ця модель повинна бути доповнена системою рівнянь, які відображають залежність струму статорних обмоток фаз А, В, С від відповідних напруг. Наприклад, при статичному симетричному навантаженні, що носить активно-індуктивний характер, залежність між струмом навантаження та напругою генератора має вигляд

$$u_S = r_{\text{нав}} i_S + \frac{di_S}{dt} L_{\text{нав}} \quad (2.6)$$

де $r_{\text{нав}}$ – активний опір навантаження фази;

$L_{\text{нав}}$ – індуктивність навантаження фази, $L_{\text{нав}} = L_{\text{вл}} - M_{\text{вз}}$ ($L_{\text{вл}}$ – власна індуктивність фази;

$M_{\text{вз}}$ – взаємодуктивність між фазами).

При відсутності демпферних обмоток у генератора останнє рівняння в системі (2.2) та два останні рівняння в системі (2.3) і (2.4) будуть відсутні. У випадку неявнополюсного генератора, при умові його електричної симетрії, модель буде спрощена за рахунок того, що $L_d=L_q$, а, отже,

$$L_A=L_B=L_C=l_0 \text{ та } M_{AB}=M_{AC}=M_{CB}=M_{BA}=M_{CA}=M_{BC}=m_0. \quad (2.7)$$

Для створення комп'ютерної моделі явнополюсного синхронного генератора без демпферних обмоток для дослідження електромагнітних перехідних процесів при раптовому замиканні фаз в будь-якій точці кола навантаження бо на шинах генератора зручно використовувати наступний вигляд математичної моделі синхронного генератора.

Струм в обмотці збудження визначається згідно з рівнянням

$$\frac{1}{\omega_0} \frac{di_f}{dt} L_f + r_f i_f = u_f - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{fA}i_A + M_{fB}i_B + M_{fC}i_C)}{dt} \quad (7.1)$$

Електрорушійна сила кожної фази визначається згідно з системи рівнянь

$$\begin{cases} e_A = \frac{d(M_{Af}i_f)}{dt} \\ e_B = \frac{d(M_{Bf}i_f)}{dt} \\ e_C = \frac{d(M_{Cf}i_f)}{dt} \end{cases} \quad (7.2)$$

Похідна потокозчеплення кожної обмотки фаз має вигляд

$$\begin{cases} -\frac{d\psi_A}{dt} = e_A - \frac{d(L_A i_A)}{dt} - \frac{d(M_{AB} i_B)}{dt} + \frac{d(M_{AC} i_C)}{dt} \\ -\frac{d\psi_B}{dt} = e_B - \frac{d(L_B i_B)}{dt} - \frac{d(M_{BA} i_A)}{dt} + \frac{d(M_{BC} i_C)}{dt} \\ -\frac{d\psi_C}{dt} = e_C - \frac{d(L_C i_C)}{dt} - \frac{d(M_{CA} i_A)}{dt} + \frac{d(M_{CB} i_B)}{dt} \end{cases} \quad (7.3)$$

Баланс напруги на шинах генератора кожної фази визначається згідно з системи рівнянь

$$\begin{cases} u_A = -\frac{d\psi_A}{\omega_0 dt} - r i_A \\ u_B = -\frac{d\psi_B}{\omega_0 dt} - r i_B \\ u_C = -\frac{d\psi_C}{\omega_0 dt} - r i_C \end{cases} \quad (7.4)$$

Струм статора кожної фази генератора реалізується у вигляді системи

$$\begin{cases} i_A = \int \frac{e_A - \left(\frac{dL_A}{\omega_0 dt} + r_{\text{наб}} + r_{st}\right) i_A - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{AB} i_B)}{dt} - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{AC} i_C)}{dt}}{(L_A + L_{\text{наб}})/\omega_0} \\ i_B = \int \frac{e_B - \left(\frac{dL_B}{\omega_0 dt} + r_{\text{наб}} + r_{st}\right) i_B - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{BA} i_A)}{dt} - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{BC} i_C)}{dt}}{(L_B + L_{\text{наб}})/\omega_0} \\ i_C = \int \frac{e_C - \left(\frac{dL_C}{\omega_0 dt} + r_{\text{наб}} + r_{st}\right) i_C - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{CA} i_A)}{dt} - \frac{1}{\omega_0} \frac{d(M_{CB} i_B)}{dt}}{(L_C + L_{\text{наб}})/\omega_0} \end{cases}$$

Всі значення параметрів моделі визначаються в відносних одиницях при номінальних умовах, окрім часу t , який виражається в секундах, для відображення процесу в реальному часі. Отримання часу в секундах

досягається шляхом множення часу, який виражається у формулах в радіанах, на кутову швидкість ω_0 , що має одиниці виміру радіан на секунду ($\omega_0=314$ рад/сек).

Важливою задачею є приведення паспортних параметрів синхронного генератора до параметрів моделі, що виражаються в відносних одиницях при номінальних умовах, наведених до обмотки статора.

Висновки:

На основі вивчення конструкційних і технологічних особливостей промислових ВЕУ можна зробити наступні висновки.

1) Вертикальний вітрогенератор має менший момент рушання. Отже, він здатний працювати, починаючи з мінімальних швидкостей вітру. Горизонтальний-більш потужний, отже, він здатний забезпечувати енергією електроприймачі значно більшої потужності.

2) Вертикально-осьові ВЕУ встановлюються на землі, тим самим полегшують доступ до генератора і їх обслуговування.

3) Вертикальні вітрогенератори не бояться різноспрямованого вітру або бурі, так як у них мінімальний опір вітру. Всі ці якості дозволяють встановлювати ці ВЕУ близько до житла і навіть в містах.

4) В середньому більшість сучасних горизонтальних вітроенергетичних установок характеризується коефіцієнтом використання вітру, рівним 0,48. З даних спеціальних досліджень слідує, що цей коефіцієнт можна збільшити. Наприклад, у деяких конструкцій ВЕУ, що відрізняються доскональними аеродинамічними характеристиками, коефіцієнт використання енергії вітру може досягати значення, рівного 0,593 [5,с. 7].

5) Горизонтально-осьові ВЕУ мають більш високий коефіцієнт корисної дії (59%). Тому ці вітрогенератори можуть використовуватися як для побутового застосування, так і для промислового виробництва електроенергії. Вітрогенератори промислового призначення мають досить

велику потужність, яка до того ж може бути збільшена в сотні разів за рахунок установки в кожному вітропарку до декількох сотень вітряків.

6) Певним недоліком горизонтальних вітрогенераторів можна вважати необхідність в постійному пошуку вітру за допомогою флюгера, який є додатковим пристроєм у складі ВЕУ, ускладнює конструкцію і підвищує її вартість.

7) Синхронний тип електричних машин доцільніший для використання у вітроелектричних установках в якості генератора.

8) За допомогою наведеної в розділі математичної моделі можна створити комп'ютерну модель синхронного генератора без демпферних обмоток для дослідження електромагнітних перехідних процесів при раптовому замиканні фаз в будь-якій точці кола навантаження або на шинах генератора.

3 ВИБІР КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Вітрогенератор малої потужності та його основні компоненти

1 Згідно прийнятої класифікації до ВЕУ малої потужності відносяться ВЕУ з номінальною потужністю до 100 кВт включно. Автономна ВЕУ – це ВЕУ, яка живить електроенергією відокремленого споживача і не є частиною загальної енергосистеми.

Для автономних ВЕУ потужність навантаження споживача строго регламентована і не повинна перевищувати номінальну потужність ВЕУ. Так як основними споживачами цих ВЕУ є жителі сільських районів, замських будинків, власники невеликих підприємств, ферм тощо, до ВЕУ малої потужності пред'являються наступні основні вимоги:

- порівняно низька питома вартість одного кВт встановленої потужності, тобто доступна ціна;
- високий виробіток електроенергії для певної середньорічної швидкості вітру в районі розміщення;
- якість вироблюваної електроенергії повинна відповідати вимогам діючих стандартів;
- простота в монтажі та технічному обслуговуванні при експлуатації;
- відносно невелика площа для розміщення;
- шумовий вплив ВЕУ на довкілля не повинен перевищувати значень, встановлених чинними нормативними документами для житлових забудов;
- можливість використовувати ВЕУ для роботи спільно з додатковим електрообладнанням, що дозволяє розширити функціональні можливості і забезпечити безперебійне живлення енергоспоживачів.

На рисунку 3.1 показана класична компоновка вітроустановки малої потужності. Відмінною особливістю ВЕУ малої потужності є відсутність

потужної гондоли, в якій фактично розташований тільки генератор. Для забезпечення установки ВЕУ на вітер використовується флюгерна система.

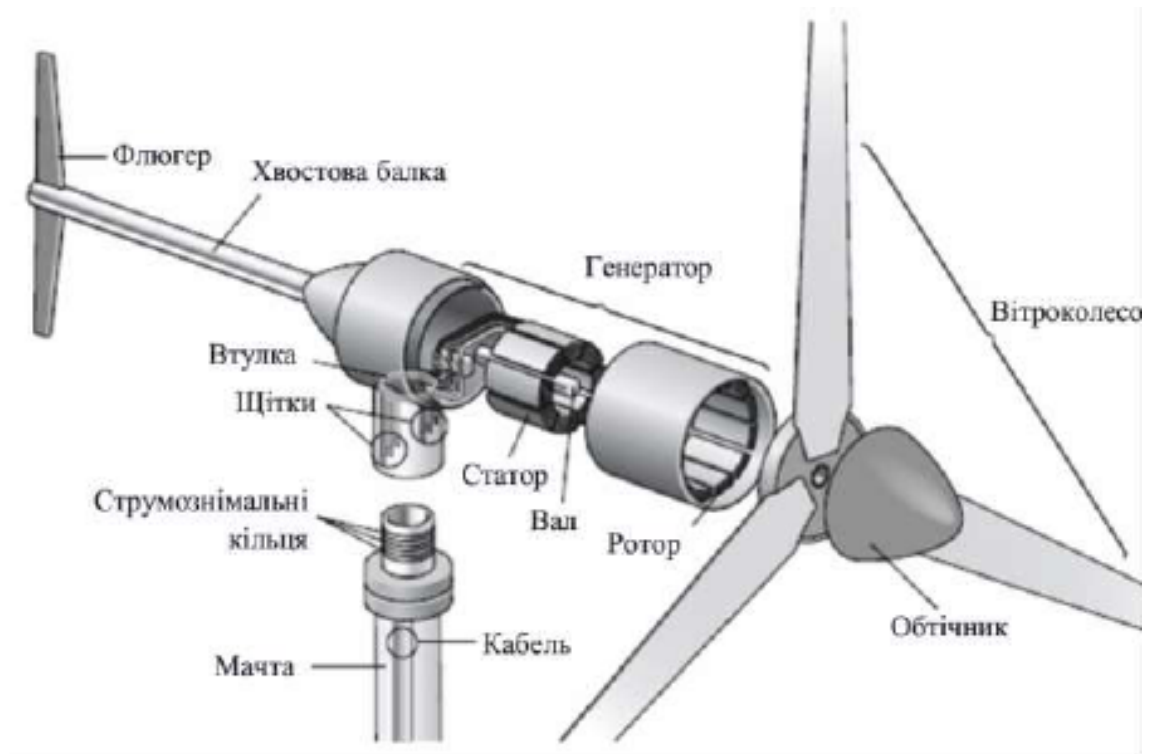


Рисунок 3.1– Компонування вітроустановки малої потужності

Дуже малі ВЕУ (потужністю до 5 кВт), як правило, мають генератор змінного струму з постійними магнітами, вироблювана енергія змінного струму перетвориться в постійний струм за допомогою випрямляча. У таких ВЕУ швидкість обертання, а значить і частота на виході генератора може змінюватися в широких межах, вони не містять редукторів. Як правило, такі ВЕУ використовуються для зарядки акумуляторів з підключенням до нього електроприладів на постійному струмі, напругою 12 або 24 В. Широко також використовуються генератори постійного струму з напругою на виході 12 або 24 В.

Для орієнтації на вітер практично всіх ВЕУ цього класу використовуються хвостові флюгерні пристрої. У багатьох з них передача електроенергії від генератора, розташованого вгорі в гондолі, до випрямляча,

розташованого внизу, здійснюється кабелем через контактні кільця з щітковим апаратом. Це дозволяє гондолі обертатися навколо вертикальної осі скільки завгодно раз при зміні напрямку вітру. Однак контактні кільця є досить ненадійним елементом.

У вітроустановках потужністю 5 кВт і більше як правило використовуються трифазні генератори змінного струму, вітроустановки мають механічні регулятори, що забезпечують сталість швидкості обертання вітроколеса, а значить і частоти струму, на рівні вимог для автономного енергопостачання. ВЕУ такого роду можуть додатково комплектуватися дизельними або бензиновими генераторами, які вводяться в роботу при відсутності вітру або, у разі коли потужність вітру недостатня для покриття навантаження. Однак паралельна робота ВЕУ а також малих дизель-генераторів не можлива без спеціальної системи погодження вхідних сигналів та спеціальних систем керування

3.2 Вибір та розрахунок вітроколеса

Відомо, що вітродвигуни перетворюють енергію вітру в механічну роботу. В пристрою і положенню вітродвигунів (ВД) в потоці вітру, вони поділяються на наступні класи: крильчасті, карусельні, Роторні і барабанні. Переваги та недоліки різних класів ВД викладені у відповідній літературі, наприклад. Найбільш досконалими ВД є вітродвигуни крильчатого класу . Вони виготовляються двох типів: малолопатеві з числом лопатей 2,3,4 і багатолопатеві з числом лопатей 6,9,12,18 і 24.

Коефіцієнт використання енергії вітру ВД крильчатого типу приблизно в 2-3 рази вище ніж у ВД карусельного, роторного і барабанного класів. У більшості країн, близько 95% всіх вітроустановок виробляють і експлуатують крильчасті ВД, так як вони мають кілька принципових переваг, а саме: мала питома вага, повністю відкрита площа (90-95%), високий коефіцієнт

використання енергії вітру (0.35-0.48). Крім того площина їх обертання перпендикулярна напрямку вітру і, тому кінетична енергія вітру практично повністю використовується ВД.

Залежно від числа лопатей, крильчасті ВД поділяються на швидкохідні і тихохідні. Їх швидкохідність визначається відношенням окружної швидкості кінця лопаті ВД до швидкості вітру:

$$V = \frac{\omega R}{U}, \quad (3.1)$$

де ω – кутова швидкість кінця лопаті при числі оборотів "n" ВД, об / хв;

R – радіус вітродвигуна, м;

U – швидкість вітру, м/сек.

Оптимальна швидкохідність для n-лопатевого вітроколеса (ВК) наближено визначається як

$$V = \frac{4\pi}{n}, \quad (3.2)$$

де n – кількість лопатей ВК.

Чим менше лопатей, тим більше швидкість.

Характеристики і параметри ВД зручно зіставляти за допомогою аеродинамічних характеристик (АДХ), які показують, як змінюються коефіцієнт використання енергії вітру і обертальний момент в залежності від швидкохідності. АДХ будують в відносних величинах, тому вони є загальними для ВД будь-яких розмірів, якщо у них дотримано геометричну подобу: число і профілі лопатей, співвідношення всіх лінійних розмірів лопаті до діаметру ВД і їх кути заклинення. АДХ трилопатевого і багатолопатевого дозволили визначити їх основні параметри, які наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Основні параметри багатолопатевого вітрогенератора

Назва показника, кількість лопатей	3 лопаті	12 лопатей	18 лопатей
Коефіцієнт використання енергії вітру	0,42	0,34	0,36
Відносний момент зрушення	0,03	0,28	0,48
Нормальна швидкохідність	4.0	2.5	1.5
Синхронна швидкохідність	8.0	6.0	2.6
Швидкість вітру початку обертання ВД, м/с	5.0-7.0	2.5-3.0	3.0-4.0

Порівнюючи дані з таблиці 3.1 можна зробити наступні висновки:

- багатолопатевого ВД відрізняється великим моментом зрушення і малою швидкохідністю;
- малолопатевого – малий моментом зрушення і велика швидкохідність.

При цьому, слід зазначити, що їх потужність практично не залежить від числа лопатей і буде однаковою, при однакових значеннях діаметра ВД і коефіцієнта використання енергії вітру, який визначається як частка первинної енергії повітряного потоку перетвореної ВД в механічну.

Конструкційна схема 3-лопасного вітроколеса представлена на рисунку 3.2, де L -довжина лопаті, R -радіус кола, D – діаметр що омиває площа вітроколеса.

Вітроколеса бувають одна лопатеві, двох лопатеві, трьох лопатеві і багатолопатевого.

Робоча швидкість вітру для вітроенергетичних установок пропелерного типу на території Вінницької області повинна бути 6 м/с незалежно від еквівалентної потужності споживача.

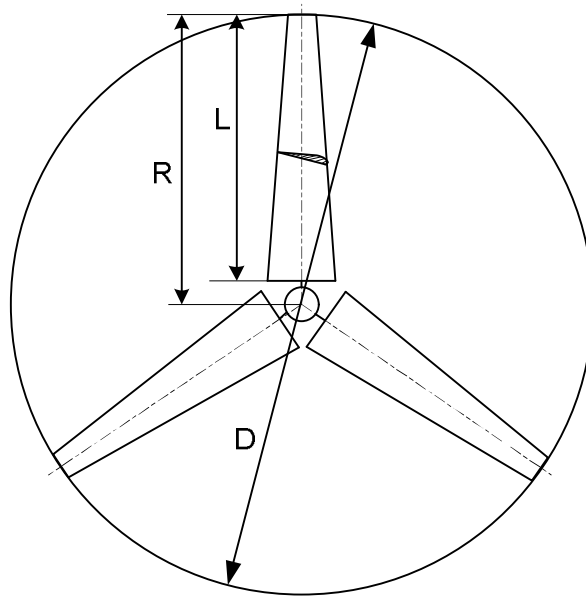


Рисунок 3.2 – Схема вітроколеса

При зміні еквівалентної потужності споживача та при збереженні необхідної надійності, потужність вітроустановки змінюється пропорційно:

$$\frac{N_{vy}}{N_{vyp}} = \frac{N}{N_p}, \quad (3.3)$$

де N_{vy} – потужність вітроустановки при вихідній навантаженні, кВт ($N_{vy} = 0,77$ кВт);

N – вихідна середньодобова еквівалентна потужність навантаження, кВт ($N = 0,2$ кВт);

N_{vyp} – розрахункова потужність вітроустановки при іншій навантаженні, кВт;

N_p – розрахункова середньодобова еквівалентна потужність навантаження, кВт.

Із пропорції слідує:

$$N_{vyp} = 2N_p \quad (3.4)$$

Розміри вітроколеса при цьому визначається за формулою:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{\text{внр}}}{\pi \cdot V_p \cdot \eta_{\text{вн}}}}, \quad (3.5)$$

де $D_{\text{вн}}$ – розрахунковий діаметр вітроустановки, м;

V_p – поточне значення робочої швидкості вітру, м/с.

Звідси:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 707}{3,14 \cdot 145,5 \cdot 0,75}} \approx 1,5(\text{м}). \quad (3.6)$$

Виходячи з отриманих даних приймаємо діаметр вітроколеса $D=1,5$ м, довжина лопаті $L=75$ см.

На рисунку 3.3 представлена схема впливу повітряного потоку на лопать ВГУ з горизонтальною віссю обертання робочого колеса.

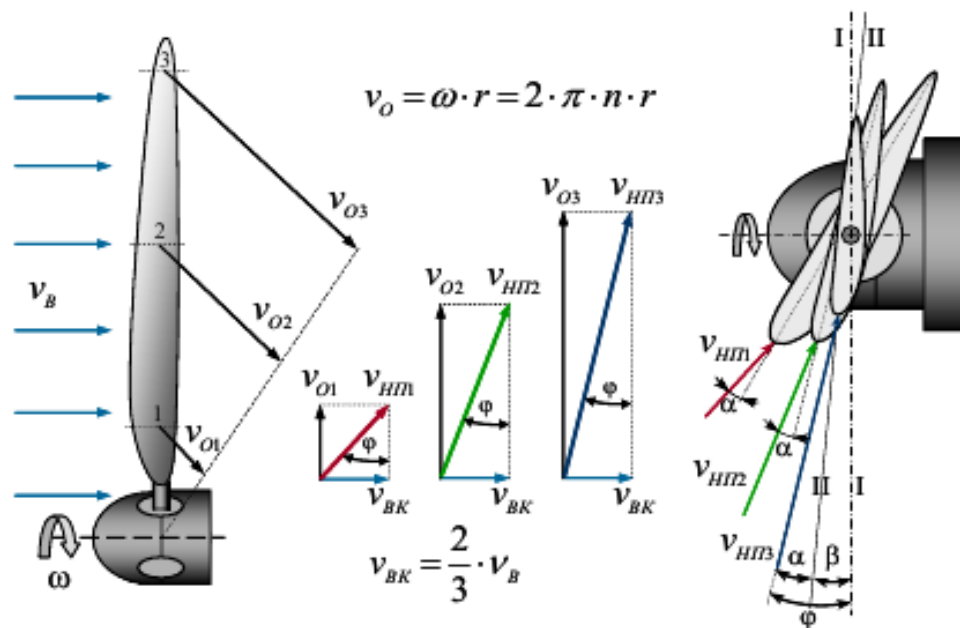


Рисунок 3.3 – Схема впливу повітряного потоку на лопать ВГУ

3.3 Конструкції і типи синхронного електродвигуна з постійними магнітами

Синхронний електродвигун з постійними магнітами, як і будь-який електродвигун, складається з ротора і статора. Статор - нерухома частина, ротор – частина, що обертається (рисунок 3.4)

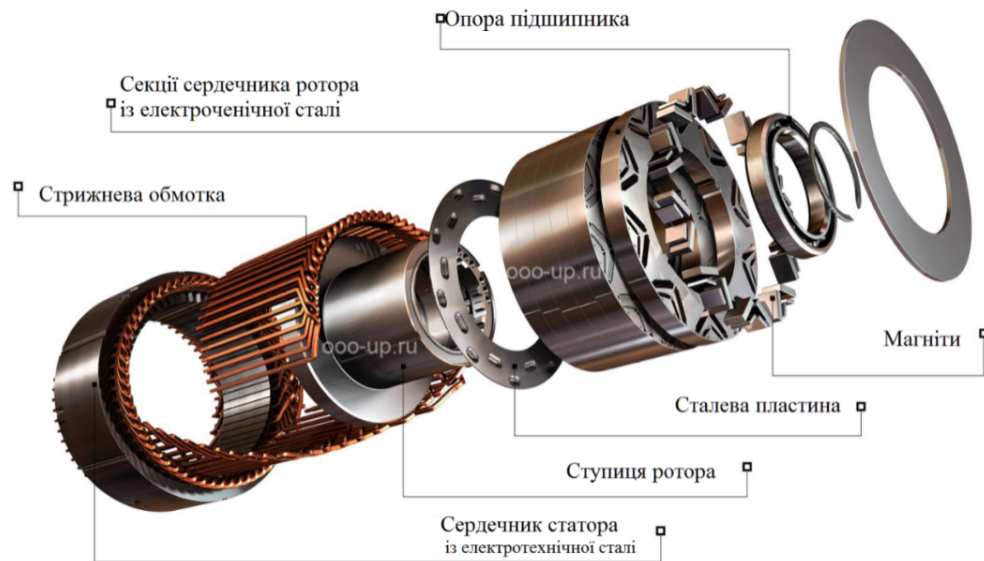


Рисунок 3.4 – Синхронний електродвигун з вбудованими постійними магнітами

Зазвичай ротор розташовується всередині статора електродвигуна, також існують конструкції з зовнішнім ротором – електродвигуни оберненого типу (рисунок 3.5).

Ротор складається з постійних магнітів. В якості постійних магнітів використовуються матеріали з високою коерцитивною силою.

За конструкцією ротора синхронні двигуни поділяються на: електродвигуни з явно вираженими полюсами та електродвигуни з неявно вираженими полюсами.

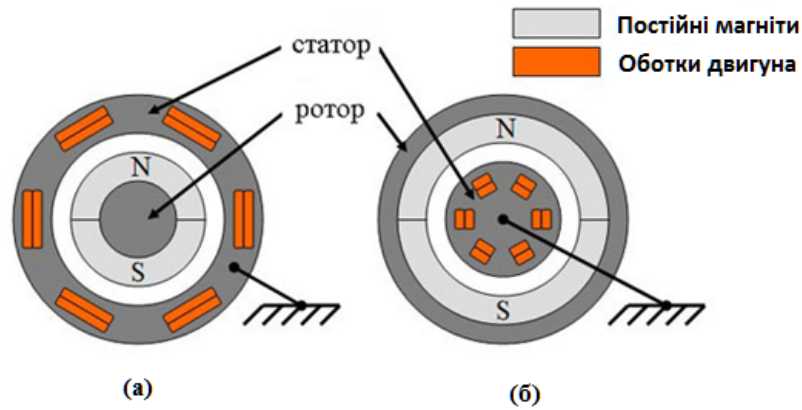


Рисунок 3.5 – BLDC-двигуни прямого (а) та оберненого (б) типу

Електродвигун з неявно вираженими полюсами має рівну індуктивність по поздовжній і поперечній осях $L_d = L_q$, тоді як у електродвигуна з явно вираженими полюсами поперечна індуктивність не дорівнює поздовжньої $L_q \neq L_d$. (рисунок 3.6)

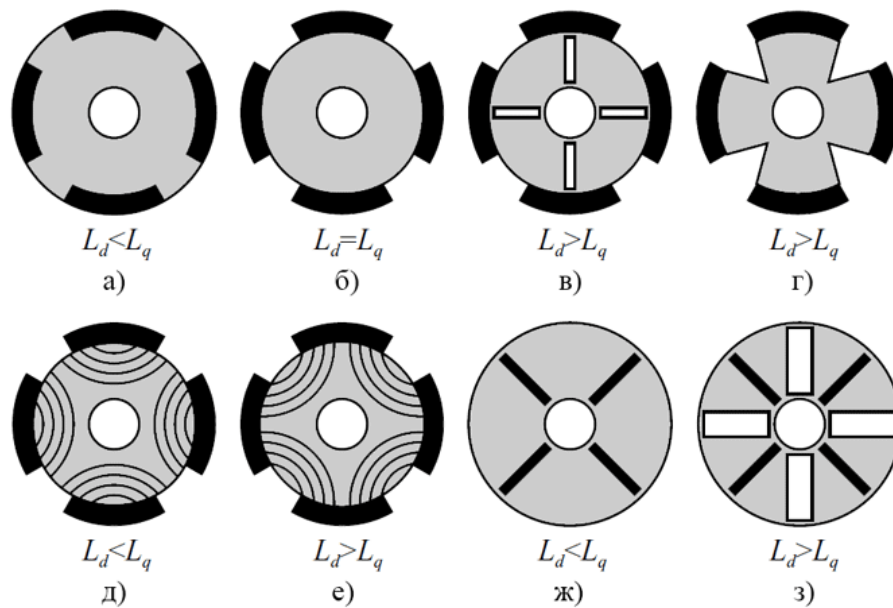


Рисунок 3.6 – Переріз роторів з різним співвідношенням L_q / L_d

Чорним позначені магніти. На рисунку 3.6, (д) та (е) представлені аксіально-розширені ротори, на малюнку (в) і (з) зображені ротори з бар'єрами

Також по конструкції ротора синхронні двигуни з постійними магнітами діляться на: двигуни з поверхневою установкою постійних магнітів (англ. SPMSM - surface permanent magnet synchronous motor) та двигуни з вбудованими (інкорпорованими) магнітами (англ. IPMSM - interior permanent magnet synchronous motor).

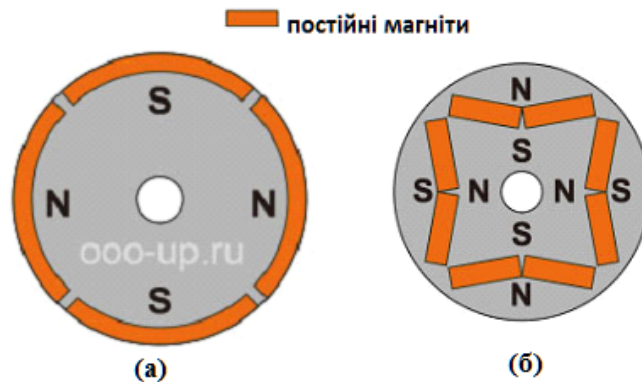


Рисунок 3.7 – Ротори синхронного двигуна з поверхневою установкою постійних магнітів (а) та ротор синхронного двигуна з інтегрованими магнітами (б)

Статор складається з корпусу і сердечника з обмоткою. Найбільш поширені конструкції з дво- і трифазною обмоткою.

Залежно від конструкції статора синхронний двигун з постійними магнітами буває: з розподіленою обмоткою (а) та зосередженою обмоткою (б) (рисунок 3.8).

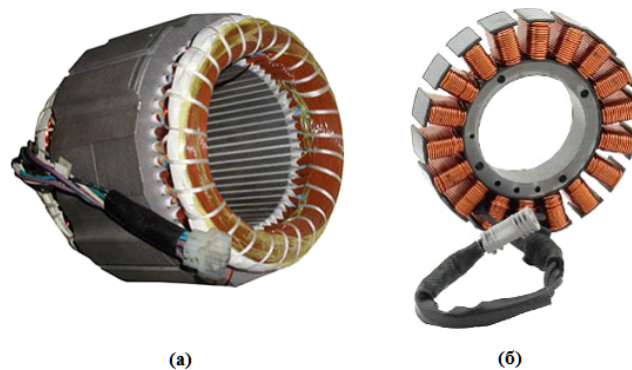


Рисунок 3.8 – Синхронний двигун з постійними магнітами буває з розподіленою (а) та зосередженою (б) обмотками

Розподіленою називають таку обмотку, у якій число пазів на полюс і фазу $Q = 2, 3, \dots, k$. (рисунок 3.9)

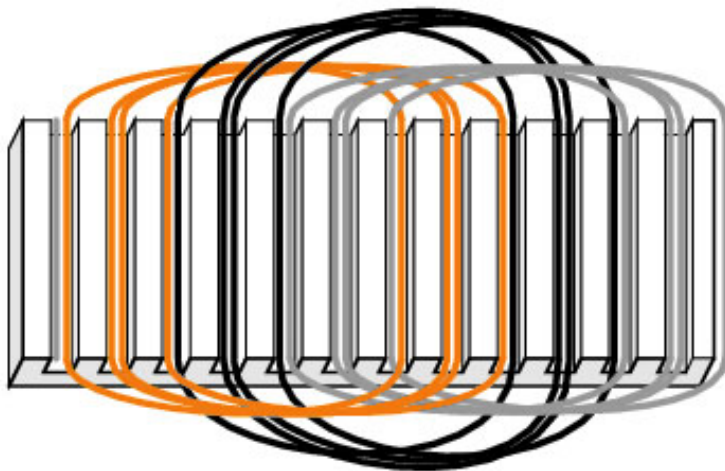


Рисунок 3.9 – Схема розподіленої обмотки

Зосередженою називають таку обмотку, у якій число пазів на полюс і фазу $Q = 1$. При цьому пази розташовані рівномірно по окружності статора. Дві котушки, що утворюють обмотку, можна з'єднати як послідовно, так і паралельно. Основний недолік такої обмотки – неможливість впливати на форму кривої ЕРС (Рисунок 3.10)

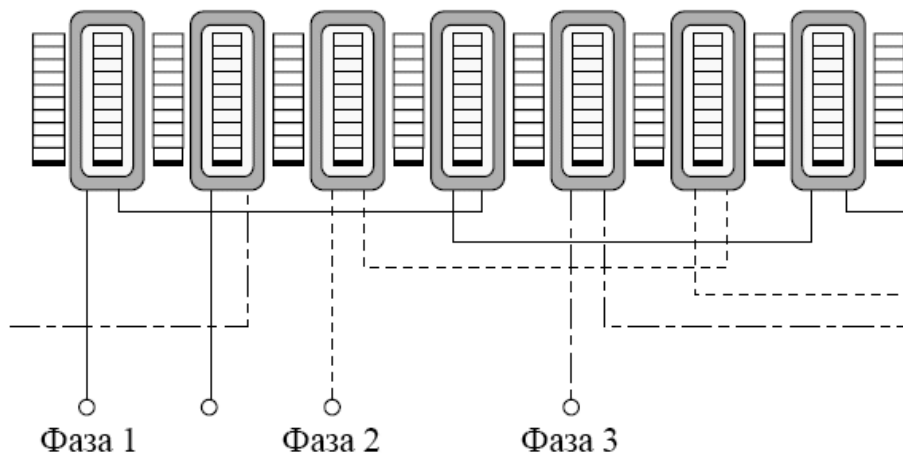


Рисунок 3.10 – Схема трьохфазної зосередженої обмотки

Форма зворотної ЕРС електродвигуна може бути: трапецевидною та синусоїдальною.

Форма кривої ЕРС в провіднику визначається кривою розподілу магнітної індукції в проміжку по колу статора.

Відомо, що магнітна індукція в проміжку під явно вираженим полюсом ротора має трапецевидну форму. Така ж форма сигналу має наводитися в провіднику ЕРС. Якщо необхідно створити синусоїдальну ЕРС, то полюсним наконечникам надають таку форму, при якій крива розподілу індукції була б близька до синусоїдальної. Цьому сприяють скоси полюсних наконечників ротора.

Висновок:

Виходячи з вищезазначених розрахунків двигуна та досліджень конструкції вітроколес було вибрано трьохлопатне вітроколесо, як найбільш ефективна конструкція для генерування електроенергії

4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗЩІТКОВОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ ГЕНЕРАТОРА

4.1 Загальні характеристики безщіткового двигуна

На основі проведеного дослідження електричних машин в розділі 3 даної магістерської роботи було вибрано за основу для генератора ВЕУ безщіткове мотор-колесо серійного виробництва з потужністю 250 Вт, та вихідною напругою 36В (рисунок 4.1), яке використовується переважно в малогабаритному електротранспорті (електросамокати, електроскутери, сігвеї, гіроскутери та ін.)



Рисунок 4.1 – Фото моторколеса

Масовість виробництва забезпечує доступність даного виробу на ринку для бюджетного сегменту споживачів- це головний критерій для економічної доцільності використання безщіткового мотор-колеса у багатьох експериментальних розробках як в якості двигуна, так і в якості генератора.

Параметри обраного для дослідження мотор –колеса представлено нижче у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Загальні параметри безщіткового мотор –колеса

Параметр	Значення
Номінальна напруга	36 В
Потужність	250 Вт
Діаметр статора	105 мм
Висота набору пластин статора	29 мм
Кількість зубців магнітопровода статора	27 шт.
Ротор	30 магнітних полюсів
Розміри магнітів ротора	30x11x3 мм
Діаметр проводу	0,51 мм
Опір 1-ї фази	0,16 Ом
Опір між фазами	0,33 Ом

Зазначені вище параметри наочно демонструють доцільність використання обраного двигуна в якості генератора з малим опором обмоток, що дозволить знімати значну потужність в режимі генератора, близьку до номінальної потужності в режимі двигуна.

4.2 Зняття характеристик мотор-колеса на лабораторному стенді

Технічні характеристики обраного безщіткового моторколеса в режимі генератора невідомі, тому для їх зняття було створено експериментальний стенд в умовах технічної майстерні ВНТУ на базі горизонтального фрезерного верстата.

Процес зняття характеристик проводився наступним чином:

1. Вісь мотор-колеса була закріплена в лещатах фрезерного верстата.
2. Через фрикційну фторопластову прокладку корпус моторколеса був притиснутий до основного вала верстата.
3. До силових клем двигуна було приєднано трьохфазний діодний міст Ларіонова.

4. На вихідні клеми діодного моста були приєднані вимірювальні прилади (вольтметр, амперметр) та тестове навантаження у вигляді реостат (потужність 200Вт, опір 50 Ом)

5. Послідовно було знято характеристики генератора на різних швидкостях обертання вихідного вала верстата (рисунок 4.2 та 4.3 схема)



Рисунок 4.2 – Фото процесу зняття технічних характеристик.

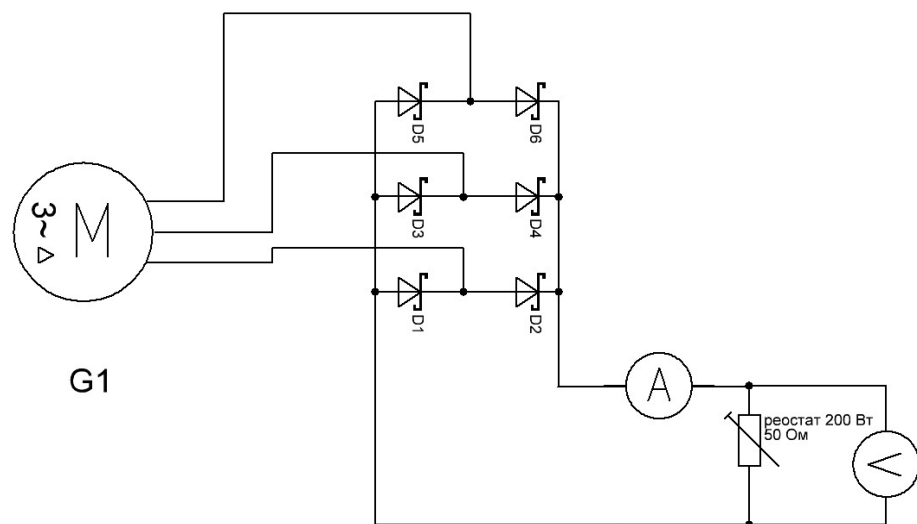


Рисунок 4.3 – Принципова схема стенду для вимірювання характеристик генератора

Робота схеми: Три фазних дроти підключені до виводів діодного мосту Ларіонова, тому змінна напруга потрапляє на випрямляч, після випрямлення постійна напруга через амперметр подається на виводи навантажувального реостату яким ми задаємо необхідний опір в колі виміру, паралельно реостату підключено вольтметр для фіксації напруги.

Результати проведених вимірів представлено у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Результати вимірів технічних характеристик моторколеса

Оберти (N), об/хв	Струм (I), А	Напруга (U), В	Потужність (P), Вт
100	0,3	5,7	1,71
200	0,5	13	6,5
225	0,7	14	9,8
250	1	15,5	15,5
300	3	19	57
350	4	22,3	89,2
430	5,5	26,8	147,4
450	7	28,6	200,2

Графік залежності потужності від кількості обертів генератора представлено на рисунку 4.4. Крива залежності демонструє, що ефективна робота генератора на систему заряду акумуляторів починається з 200 об/хв.

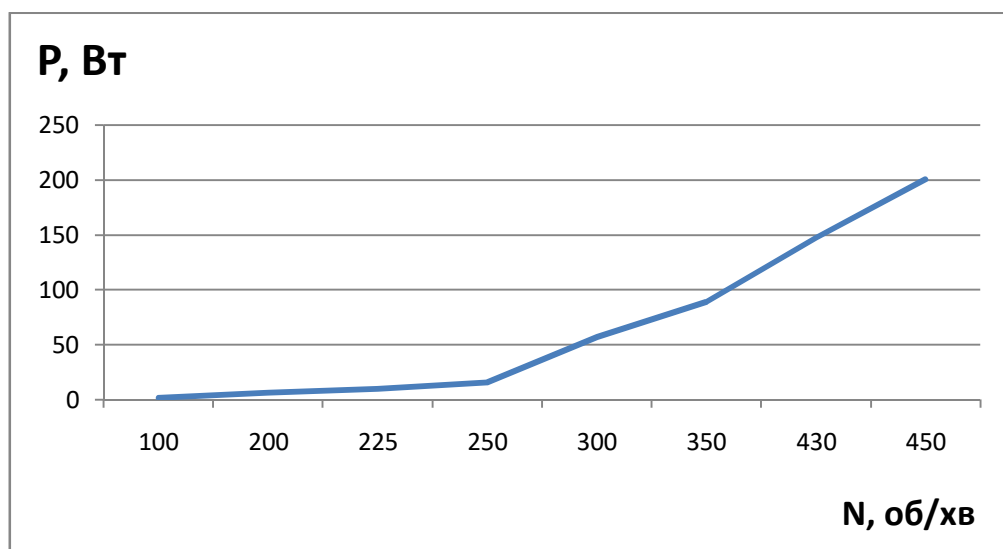


Рисунок 4.4 – Графік залежності потужності генератора від обертів

Висновки:

В ході проведених досліджень, експериментальним методом було виявлено робочий діапазон для даного генератора. Таким чином для ефективної роботи вітрогенератора потрібно використовувати гвинт з швидкістю не менше 4 та кількістю лопатей не більше 3.

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Розрахунок експлуатаційних витрат.

З метою визначення доцільності розробки та подальшого використання нового варіанту вітрогенератора проведено порівняння експлуатаційних витрат нового варіанту та базового. За базовий варіант прийнято аналогічну по технічним характеристикам модель вітрогенератора "Altek M 300". Середня ціна базової моделі в інтернет-магазинах становить 6500 грн.

Розрахунок капітальних витрат базового та нового варіантів, як складову експлуатаційних витрат, представлено у таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати нового та базового варіантів

Найменування обладнання	Вартість, грн.
Базовий варіант	
Вітрогенератор "Altek M 300".	6 500
спортивні витрати	500
регулятор 12В 60А/год	1500
генератор 12-230В, 300 Вт	500
го	9000
Новий варіант	
Мотор-колесо 6,5", 36В, 250Вт	1 000
Труба профільна, 1м	50
Підшипник 6005	100
Труба ПВХ 110x2,7x500мм	80
Програмно-апаратний комплекс Arduino nano	100
Діодний міст КВРС5010 (2 шт.)	50
Мікросхема LM358N	10
Транзистор IRFZ44N	10
Дисплей 1602	50
Дисплей 2004	200
Мікросхема "Atmega 8"	50
регулятор 12В 60А/год	1500
генератор 12-230В, 300 Вт	500
Всього	3700

Отже, витрати для базового варіанта становлять 9000 грн, для нового – 3700 грн, що в 2,4 рази менше за базовий варіант.

До складу експлуатаційних витрат входять амортизаційні відрахування. Річні амортизаційні відрахування для обох варіантів (при нормі амортизаційних відрахувань 10 %):

$$C_{аб} = 9\,000 \cdot 0,1 = 900(\text{грн.}),$$

$$C_{ан} = 3\,700 \cdot 0,1 = 370(\text{грн}).$$

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску по електробезпеці не нижче третьої. Оскільки базовий та новий варіанти вітрогенератора мають аналогічні технічні характеристики витрати на заробітну плату будуть однаковими.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуються за формулою:

$$C_3 = C_{30} + C_{зд} \quad (5.1)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$C_{зд}$ – додаткова заробітна плата.

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot A_{та} \cdot R_c \cdot \beta, \quad (5.2)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N=1$ чол);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1=22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт, $K_{б,н}=2,03$);

R_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($R_c=1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta=1$ для обох варіантів);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування вітрогенератора (згідно техніко-економічного обґрунтування $\Phi_{\text{еф}}=250\text{днів}\cdot 0,5\text{год}=125\text{ год/рік}$);

$$C_{\text{зо б,н}}=1\cdot 22\cdot 2,03\cdot 125\cdot 1\cdot 1=5582,5\text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата $C_{\text{зд}}$ становить 10% від основної заробітної плати. $C_{\text{зд}}$ для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$C_{\text{зд б,н}}=5582,50\cdot 0,1=558,25\text{ (грн)}.$$

Загальні витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу для обох варіантів представлені у таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Розрахунок загальних витрат на заробітну плату.

Показник	Базовий та новий варіанти
Основна заробітна плата $C_{\text{зо}}$, грн	5582,5
Додаткова заробітна плата $C_{\text{зд}}$, грн	558,25
Разом основна і додаткова заробітна плата, грн	6140,45
Нарахування на заробітну плату (22%)	1350,89
Всього витрати на заробітну плату, грн	7491,34

Отже, загальні витрати на утримання обслуговуючого персоналу становлять 7491,34грн на рік для базового та нового варіантів.

Витрати на споживану електроенергію до складу експлуатаційних витрат не включено, оскільки вітроустановка генерує електроенергію, а не споживає її.

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників – ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Графік планово-попереджувальних ремонтів для базового та нового варіантів наведено в таблиці 5.3, оскільки обидва варіанти мають однакові технічні характеристики

Таблиця 5.3 – Графік ремонтів для базового та нового варіантів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування	6			7			6		7			6	32
Генератор	12			13			12			13			50
Кабельна мережа		8				8						14	30
Вітроколесо	2						2				2		6
Загальна трудомісткість												118	

Ремонтні роботи проводить електромонтер п'ятого розряду, відповідно основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$C_{30} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{\text{сф}}, \quad (5.3)$$

де k – тарифний коефіцієнт ($k=2,33$);

$\Phi_{\text{рем}}$ – трудомісткість ремонтних робіт ($\Phi_{\text{рем}}=118$ люд-год/рік).

$$C_{30}=29,41 \cdot 2,33 \cdot 118=8085,98 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$8085,98 \cdot 0,22=1778,91 \text{ (грн/рік)}.$$

Сума основної заробітної плати та нарахувань становить загальні витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт:

$$8085,98+1778,91=9684,89 \text{ (грн)}$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту прийнято на рівні 15% витрат від основної заробітної плати :

$$8085,98 \cdot 0,15=1212,89 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання розраховуються як сума витрат на заробітну плату ремонтного персоналу та витрат на матеріали:

$$9684,89+1212,89=10897,69 \text{ (грн)}.$$

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати, тобто:

$$C_{\text{ін б}}=(900+7491,34+10897,96) \cdot 0,05=964,45 \text{ (грн)},$$

$$C_{\text{ін н}}=(370+7491,34+10897,96) \cdot 0,05=937,95 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні витрати для базового та нового варіантів

Найменування витрат	Сума витрат, грн	
	Базовий	Новий
Амортизаційні відрахування C_a , грн	900	370
Заробітна плата C_z обслуговуючого персоналу, грн	7497,34	7497,34
Витрати на поточний ремонт $C_{пр}$, грн	10897,69	10897,69
Інші витрати $C_{ін}$, грн	964,45	937,95
Всього експлуатаційні витрати C , грн	20259,48	19702,03

Отже, оскільки сума експлуатаційних витрат обох варіантів практично однакова, даних метод не дозволяє визначити більш економічно вигідний варіант

Розраховуємо річний економічний ефект:

$$EE = (Z_{еб} + E_H \cdot K_B) - (Z_{еб} + E_H \cdot K_H), \quad (5.4)$$

$$EE = (20259,48 + 0,2 \cdot 900) - (19702,03 + 0,2 \cdot 370) = 663,45 \text{ (грн)}.$$

Висновки:

Отже, річний економічний ефект від встановлення нового варіанту вітрогенератора становить 663,45 грн. Розрахунок терміну окупності проводити не доцільно оскільки капіталовкладення для базового варіанта більші за аналогічний показник для нового варіанта. Що являться зменшенням витрат, та собівартості.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській випусковій роботі здійснюється модернізація вітрогенератора на основі безщіткового двигуна постійного струму малої потужності. Для дослідження електромеханічних характеристик вітрогенератора використовується лабораторно-діагностичний стенд.

Згідно ГОСТ 12.0.003-74, на оператора діагностичного комплексу вітрогенераторів з двигунами постійного струму малої потужності впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори.

Фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційне перевантаження).

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації діагностичного стенду

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Загальна площа приміщення, де здійснюється діагностика вітрогенераторів з двигунами постійного струму малої потужності, складає 294 м². В ньому розміщені робочі місця персоналу та виробниче обладнання. Висота приміщення складає 6 м. Приміщення освітлюється за допомогою штучного освітлення. План приміщення для діагностики вітрогенераторів з двигунами постійного струму малої потужності представлений на рисунку 6.1.

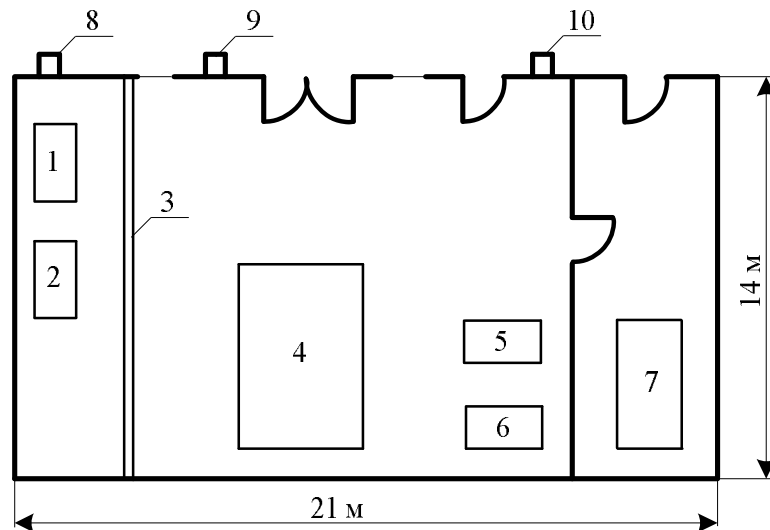


Рисунок 6.1 – План приміщення для діагностики вітрогенераторів з двигунами постійного струму малої потужності

На рисунку 6.1 прийняті наступні позначення: 1, 2, 7 – верстати; 3 – кран-балка; 4 – установка для діагностики вітрогенераторів з двигунами постійного струму малої потужності; 5, 6 – робочі місця електрослюсарів; 8,9,10 – витяжна вентиляція.

6.1.2 Електробезпека

Живлення обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьох провідної трифазної мережі з глухо заземленою нейтраллю 380x220В (фазна напруга фаза (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

У приміщенні де здійснюється діагностика вітрогенераторів з двигунами постійного струму малої потужності використовується трифазна чотирипровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочих приміщеннях є струмопровідною.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малої напруги. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробую і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивіщується плакат "Працювати тут".

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1. Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні: написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснюється у закритих конструкціях підлоги.

2. При живленні однофазних споживачів струму від три провідної мережі при напрузі до 1000В використовується нульовий захисний провідник. За умови його використання, пробій на корпус призводить до короткого замикання. В свою чергу спрацьовує захист і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3. Електрозахисні засоби захисту.

Оператор силової підйомної установки повинен дотримуватись наступних основних правил техніки безпеки:

1. Необхідно візуально обстежити установку у відповідності з інструкцією по експлуатації і переконатися в її повній справності;

2. Забороняється експлуатація установок з несправним керуванням, гальмами і звуко-світловими сигналами. Якщо немає можливості усунення пошкодження на місці своїми силами, необхідно залучити до робіт фахівців спеціалізованої організації.

3. Забороняється керування установкою вологими або замасленими

руками;

4. Забороняється збільшувати вантажопідйомність установки;
5. Рух установки повинен здійснюватися на безпечній швидкості;
6. Роботи по монтажу і модернізації системи керування проводяться за допомогою справного інструменту.

Для забезпечення безпечного ведення робіт обслуговуючий персонал зобов'язаний суворо дотримуватись правил техніки безпеки при експлуатації, технічному обслуговуванні установок. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до отримання травм та втрати працездатності.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмопровідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат "Не вмикати! Працюють люди".

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Іа, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в кабіні крану наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Іб	21-28	55 при 27°С	0,1-0,3
Холодний	Іб	20-24	75	Не більше 0,2

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;

- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

Провітрювання кабіни оператора;

Цілісність конструкції кабіни та вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки;

Встановлення пиловловлюючих засобів.

6.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу на станції

освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу але ввечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці в кабіні. Кабіна відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми освітлення робочих поверхонь

Характеристики зорової роботи		Малої точності
Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання, мм		Від 1 до 5
Розряд зорової роботи		V
Підрозряд зорової роботи		б
Контраст об'єкта розпізнавання з фоном, фон		Середній
Характеристика фона		Темний
Освітленість	Загальне	150
Штучне освітлення	Комбіноване	200

В приміщенні кабіни, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природнього освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення (таблиця 6.4). Штучне освітлення здійснюється лампами розжарювання, що живляться від трансформатора власних потреб (12В).

Таблиця 6.4 – Вибір освітлюваного пристрою

Тип світильника	Лампа розжарювання
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність ламп, Вт	До 200

Характер зорової роботи при роботі з об'єктами розрізнення 1-5 мм – мала точність; розряд – V; бокове; значення коефіцієнта природної освітленості, %: природне 1,0, суміщене 0,6.

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (6.1)$$

де m_N – коефіцієнт світлового клімату,
 m_N приорієнтації вікон на північ ($m_N = 0,9$);

$$e_N = 1,0 \cdot 0,9 = 0,9\%.$$

Для забезпечення нормативного значення e_N передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме ламп розжарювання;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком

6.2.4. Виробничий шум

Рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (6.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень (таблиця 6.5), є "ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки".

Таблиця 6.5 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунку, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони

призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - "ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань" і "Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація".

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

6.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У приміщенні, де розташований шахтний підйомник, присутня вібрація типу – загальна. Тобто технологічна вібрація діюча на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації приведені у таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Середньоквадратичні значення параметрів вібрації

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	дБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	дБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

6.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємного розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни. Знаходження в позі стоячи до 60% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 870

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 51 – 100

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 8

По вертикалі: до 4

Інтелектуальні навантаження: рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією

Зміст роботи: сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій, Обробка, виконання завдання та його перевірка, Робота за встановленим графіком з можливим його коректуванням у ході діяльності

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 25-50

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 75-175

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 5- 10

Навантаження на зоровий аналізатор (спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 2-3)

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 90% до 70%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 16-20

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра та ін.)

Ступінь ризику для власного життя

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 10-6

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 100-25

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 76-90

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 8 – 9

Змінність роботи Двозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість. Перерви регламентовані, недостатньої тривалості: від 3% до 7% часу зміни.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи вітрогенератора в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи критичної інфраструктури, зокрема, об'єкти, що генерують електричну енергію є досить вразливими. Особливе місце в шкалі вразливості до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях займають ВЕУ. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи блоків ВЕУ. В даному випадку дослідження стійкості може бути проведена за допомогою моделювання його ураження, що враховують можливі наслідки ураження людей, виникнення пожеж, виходу з ладу ВЕУ.

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

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для елементів ВЕУ, зокрема вимикачі та трансформатори, генератори добре захищених від дії інших вражаючих факторів. Але захист елементів від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Саме тому,

обов'язковим елементом є дослідження стійкості роботи обладнання під час впливу електромагнітного імпульсу та іонізуючих випромінювань, як самих небезпечних для радіоелектронних та енергетичних систем.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи вітрогенератора в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм стійкості роботи енергетичного обладнання ВЕУ є граничне значення експозиційної дози ($D_{гр}$, Р), при якому в елементній базі можуть виникати зворотні зміни. Визначаємо граничні значення експозиційних доз для елементів вітрогенератора. По мінімальному значенню $D_{гр}$, визначаємо границю стійкості системи в цілому. Так як трансформатори та вимикачі мають мінімальне значення $D_{гр}$, то далі для них розрахована дослідження стійкості роботи при дії ІВ та ЕМІ, а кабельні лінії та повітряна лінія мають грозозахист, і стійкі до дії ЕМІ, то подальші розрахунки для них не виконуються. Результати заносимо у таблицю 6.7.

Приймаємо, що час наробки на відказ складає 10 років ($t_k=87660$ год).

Таблиця 6.7 – Граничні дози для елементів ВЕУ

№	Елементи вітроенергетичної установки	$D_{гр}, P$	$D_{гр}, P$
1	Блок управління Siemens M340	10^2	10^4
3	Трансформатор ТМГ-3000/35	10^4	
4	Контактор Tesys F	10^3	
5	Генератор Fuhrlander TT3000	10^3	

Розрахуємо можливу дозу для ВЕУ, при граничному часі експлуатації 10р.

$$D_{ем} = \frac{2 \cdot P_{lmax} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{k_{осл}} [P]; \quad (6.3)$$

$$D_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 4,73 \cdot (\sqrt{87660} - \sqrt{1})}{1} = 2791,40 \text{ (Р)}.$$

Таким чином система буде працювати стійко, так як, можлива експозиційна доза менша за граничну $2791,4 < 10000$.

Визначаємо допустимий час роботи елементів ВЕУ:

$$P_1 = 4,78 \text{ Р/год.}$$

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt{t_p}}{2 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^2; \quad (6.4)$$

$$t_{\text{доп_блок}} = \left(\frac{10^2 \cdot 1 + 2 \cdot 4,78 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,78} \right)^2 = 13,3 \cdot 10^2 \text{ год};$$

$$t_{\text{доп_тр-р}} = \left(\frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,78 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,78} \right)^2 = 26,6 \cdot 10^2 \text{ год};$$

$$t_{\text{доп_кон}} = \left(\frac{10^3 \cdot 4 + 2 \cdot 4,78 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,78} \right)^2 = 53,2 \cdot 10^2 \text{ год};$$

Отже, допустимий час роботи блока управління 1330 год., трансформатора складатиме приблизно 2660 годин, а контактора 5320 годин і відповідно генератора також.

6.3.2 Дослідження стійкості роботи вітрогенератора в умовах дії електромагнітного імпульсу

Напруга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot l_{\Gamma}; \quad (6.5)$$

$$U_{\text{в}} = E_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}}, \quad (6.6)$$

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

l_{Γ} – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи (м),

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

Розрахуємо U_{Γ} для трансформаторів та вимикачів:

$$E_B = 12,74 \text{кВ} / \text{м}$$

$$U_{\Gamma_{\text{Блок}}} = 12,74 \cdot 2,14 = 27,26 \text{ (кВ/м);}$$

$$U_{\Gamma_{\text{Тр-р}}} = 12,74 \cdot 3,12 = 39,748 \text{ (кВ/м);}$$

$$U_{\Gamma_{\text{Кон}}} = 12,74 \cdot 1,43 = 18,22 \text{ (кВ/м);}$$

$$U_{\Gamma_{\text{Ен}}} = 12,74 \cdot 2,17 = 27,64 \text{ (кВ/м).}$$

Допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (6.7)$$

де N – відсоток допуску,

$U_{\text{ж}}$ – напруга живлення;

$$U_{\text{доп}} = 35 + \frac{35}{100} \cdot (\pm 5) = 36,75 \text{ (кВ)}.$$

За критерієм стійкості роботи радіоелектронних систем, або окремих їх елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки, який для нормальної роботи блоку повинен бути рівним, або більше: $K_{\text{б}} \geq 40$ (дБ).

Визначаємо коефіцієнти горизонтальної і вертикальної безпеки:

$$K_{\text{бvi}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{vi}}} \right); \quad (6.8)$$

$$K_{\text{бri}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{ri}}} \right); \quad (6.9)$$

$$K_{\text{бВ_Блок}} = 20 \lg \left(\frac{36,75}{27,26} \right) = 31,6 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бВТр-р}} = 20 \lg \left(\frac{36,75}{39,748} \right) = 28,16 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бГКох}} = 20 \lg \left(\frac{36,75}{18,22} \right) = 15,26 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бГГЕН}} = 20 \lg \left(\frac{36,75}{27,64} \right) = 17,34 \text{ (дБ)}.$$

Так як для всіх блоків $K_{\text{бз}} < 40$ дБ, то обладнання не буде працювати стійко. Для збільшення стійкості слід застосувати пасивне екранування. Перехідне затування екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \text{ (дБ)}, \quad (6.10)$$

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

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

$$A = 40 - 17,34 = 22,66 \text{ (дБ)}.$$

Товщина захисного екрану

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.11)$$

де f – частота,

$$t = \frac{22,66}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 1,22 \text{ (см)}.$$

Результати розрахунків зведемо у таблицю 6.8.

Таблиця 6.8 – Результати розрахунків коефіцієнтів безпеки

Елементи ВЕУ	$U_{г}$, кВ	$K_{бв}$, дБ	$K_{б,г}$, дБ	Товщини захисного екрану, см
1. Блок управління Siemens M340	27,26	38	31,6	1,22
2. Трансформатор ТМГ-3000/35	39,748	40,35	28,16	1,26
3. Контакттор TesysF	18,22	37,86	15,26	1,95
4. Генератор	27,64	36,42	17,34	2,05

Приймаємо, що вибір товщини захисного екрану для кабельних ліній не розглядається. Отже, спроектована система електропостачання буде працювати стійко до дії іонізуючих випромінювань. А до дії ЕМІ – не стійко, але при застосуванні захисного екрану для, блоку управління 0,1 см трансформаторів 0,05 см, контактора 0,15 см, генератора 0,05 см буде працювати стійко.

Таким чином наша система при застосуванні вище вказаних заходів буде працювати стійко в умовах НС. Провівши аналіз, щодо стійкості системи електропостачання до дії ЕМІ, видно, що трансформатор та контактори найбільш уразливі, тому передбачила застосування захисного екрану .

6.3.3 Протипожежний захист вітроенергетичних установок

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

- застосування визнаних технічних стандартів, як основу при проектуванні;
- застосування кваліфікованих професійних проектувальних організацій і кваліфікованих виконавців робіт;

- застосування матеріалів і систем, які були випробувані і сертифіковані акредитованими органами, як, наприклад, VdS Schadenverhütung GmbH для систем пожежної безпеки, що також включає аудит системи управління якістю;

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

Такі заходи можуть проводитися також в рамках типових випробувань або сертифікації ВЕУ. В свою чергу для спроектованої ВЕС розроблено рішення по системі пожежної сигналізації. Дана система пожежної сигналізації призначена для виявлення осередку пожежі на ранній стадії розвитку та видачі при цьому звукового і світлового сигналу тривоги. Пожежні сповіщувачі приміщень, що підлягають захисту згруповані в 9 шлейфів та підключені до системи приймально-контрольного приладу ППКП "Тірас-8П.1".

ППКП "Тірас-8П.1" встановлюється в приміщенні РП-35 кВ. ППКП розміщується в приміщенні, в якому є природне, штучне робоче і аварійне освітлення, аварійне освітлення передбачається від акумуляторних батарей; температура повітря в межах 18-25 С, відносна вологість не більш 18%; телефонний зв'язок з пожежною частиною населеного пункту, вентиляція природна [25].

Згідно ДБН В.2.5-23-2003 п. 3.4 "Проектування електричних об'єктів цивільного призначення" біля ППКП додатково встановлюється батарея штучного освітлення.

В систему пожежної сигналізації входять сповіщення різних видів:

- димові пожежні сповіщення неадресні СПД-2;
- теплові пожежні сповіщення не адресовані ИПТ-АМ;
- комбіновані пожежні сповіщення не адресовані СПК;

Всі сповіщувачі системи пожежної сигналізації призначенні для збирання інформації на об'єкті господарювання та передачі тривожного сповіщення на приймально-контрольний, який обробляє прийняте сповіщення і видає відповідний тривожний сигнал. При цьому осередки загоряння визначаються номером шлейфа, за яким отримано сигнал "Пожежа".

Висновки:

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

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

Проаналізовано вплив ЕМІ та іонізуючого випромінювання роботу ВЕУ. Розробленні заходи для уникнення впливу випромінювань. Відповідно для стійкої роботи при дії ЕМІ необхідно застосувати захисний екран для блоку управління 0,122 см трансформатора 0,126 см, контактора 0,195 см а також для генератора 2,05 см

Також розроблені рішення по пожежній сигналізації для ВЕС. З відповідними технічними кресленнями. Врахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму, нещасних випадків та професійного захворювання при виконанні робіт при експлуатації та електричному монтажі вітряка.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено універсальну конструкцію вітрогенераторної установкою. На основі проведених досліджень було удосконалено компоненти вітрогенеруючої системи для вироблення електроенергії, з використанням вентильного двигуна в якості синхронного генератора. Виконані в магістерській кваліфікаційній роботі дослідження дозволили отримати наступні висновки:

1. Проведено аналіз використання вітрової енергії у світі. Розглянуто перспективи розвитку вітроенергетичної галузі в Україні.

2. Виконано дослідження існуючих систем перетворення вітрової енергії різних конструкцій, зокрема розглянуто системи з горизонтально-осьовими та вертикально-осьовими вітроперетворювачами. Розглянуто електричні машини які необхідні для перетворення механічної енергії вітру в електричну. А саме асинхронні електричні машини та синхронні. Виконані розрахунки математичної моделі синхронного генератора.

3. Проведено дослідження існуючих конструкцій малих вітроенергетичних станцій для використання найбільш раціональної схеми. Розраховано характеристики вітроколеса для необхідної потужності для використання в системі ВЕУ.

4. Експериментально знято основні характеристики вентильного безщіткового двигуна в режимі генератора. Було побудовано стенд для дослідження генератора в різних режимах його роботи та різними видами навантаження.

5. Виконано розрахунок економічної ефективності від впровадження системи ВЕУ для побутових умов.

6. Сформульовано основні положення щодо безпечної експлуатації вітроелектричної установки в умовах дії шкідливих чинників природного середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – К.: ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справ. и метод. пособ.: / П.П. Безруких. – М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. – 320 с.
3. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология / П.П. Безруких. – М.: Колос, 2008. – 196 с.
4. Брускин Д. Э. Электрические машины: уч. для электротехн. спец. вузов/ Д. И. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. М.: Высш. шк., 1987 Ч.1. 319 с.
5. Бут Д. А. Безконтактные электрические машины /Д. А. Бут. М.: Высш. шк.,1990. 416 с.
6. Васько В.П. Управление параметрами электроэнергии автономных ветроэлектрических установок В.П. Васько Технічна електродинаміка. 2002. Вип.1. С.53 56.
7. Ветроэлектрические станции / В.Н. Андрианов, Д.Н. Быстрицкий, К.П. Вашкевич, В.Р.Секторов; под общ. ред. Андрианова В.Н.; – М. –Л.: Гос. энерг. изд-во, 1960. – 320 с.
8. Ветроэнергетика / [под ред. Д. де Рензо]; [Пер. с англ. Зубарева В.В. и Дранкфурта М.О.]; [под. ред. Шефтера Я.И.] – М.: Энергоатомиздат, 1982. –272 с.
9. Ветроэнергетика Украины. [Электронный ресурс] – режим доступа до даних: http://www.uwea.com.ua/ukraine_wind.php
10. Ветроэнергетика/ Под ред. Д. де Рензо: Пер. с англ.; В 39 под ред. Я. И. Шефтера.- М.: Энергоатам издат, 1982
11. Д. де Рензо. Ветроэнергетика / [Под. ред. Я.И. Шефтера] М.: Энергоатомиздат, 1982. 228 с.
12. Дзензерский В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – К.: Наук. думка, 2011. – 592 с.

13. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии / В.В. Елистратов. Учеб. пособ. – СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 250 с.
14. Елистратов В.В. Расчет фундаментов ветроэнергетических установок: учеб. пособ. / В.В. Елистратов, И.А. Константинов, А.Н. Панфилов; Ч. 1. –К: Изд-во СПб ГТУ, 2001.
15. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарний, А. В. Щурчков// – К.: ІТТФ, 2002. □ С. 151 - 159.
16. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учеб. для вузов. / А.В. Иванов-Смоленский; М.: Энергия, 1980. 928 с.
17. Чунихин А. А. Электроаппараты: Общий курс-3е издание., перераб. и доп.-М.: Энергоатамиздат, 1988.
18. Юндина М. А., Королёв А. М. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства. – зерноград: АЧГАА, 1999.-110с.
19. А.И.Вольдек, В.В.Попов. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. Учебник для вузов.-СПб.: Питер, 2007.
20. ГОСТ 27471-87 Машины электрические вращающиеся. Термины и определения.
21. И.В.Савельев. Курс общей физики, том II. Электричество.- М.:Наука, 1970.
22. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Т.III. Электричество.- М.:Наука, 1977.
23. Markus Lindegger. Economic viability, applications and limits of efficient permanent magnet motors.- Switzerland: Swiss Federal Office of Energy, 2009
24. Н.И.Волков. Электромашинные устройства автоматики: Учебник для вузов.- М.: Высш. шк., 1986.

25. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. Москва, 1957, 533 с.
26. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. Москва, 1983, 201 с.
27. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и их применение в сельском хозяйстве. 1962, 246 с.
28. Энергетическое строительство 1991, № 3, С. 50-53
29. Surse regenerabile de energie . “TEHNICA - INFO”, Chişinău, 1999, 434 р.
30. Brevet de invenție “Generator asincron cu excitație capacitivă”, MD 2089 С2
31. Романенко Н.Н. Ветроэнергетические ресурсы и их использование Кишинэу, 1964, 136 с.

Додаток А.
Технічне завдання

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ЕМСАПТ
д.т.н., проф.
_____ В. М. Кутін
“ ___ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВІ
БЕЗЩІТКОВОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ МАЛОЇ
ПОТУЖНОСТІ**

08-16.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи
д.т.н., проф.
_____ В.М. Кутін
« ___ » _____ 20__ р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-18мз
_____ В.І. Бугайчук
« ___ » _____ 20__ р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна постійного струму малої потужності».

Скорочене найменування розробки – «Вітрогенератор на базі BLDC двигуна».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Вітрогенератор призначений для видобутку електроенергії для незалежного живлення невеликих приватних ділянок ,або споживачів, живлення яких не дозволяє використовувати стаціонарну електромережу.

4 Вимоги до розробки

Вітрогенераторна установка має працювати в довгочасному режимі, з можливістю перевантаження до 20%.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з вітроколеса, генератора та системи керування. Вихідний вал генератора з'єднаний з концентратором лопатей(хабом)

6 Технічні характеристики

Для розрахунку використовувалось: вітроколесо діаметр 1,5 м, кількість лопатей 3,потужність генератора 100Вт,потужність контролера 150 Вт

Кутова швидкість обертання якоря змішувача $4,2 \text{ c}^{-1}$

7 Джерела розробки

1. 1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – К.: ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справ. и метод. пособ.: / П.П. Безруких. – М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. – 320 с.
3. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология / П.П. Безруких. – М.: Колос, 2008. – 196 с.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Генератор, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі та ін. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

10 Конструктивне виконання

Вітрогенератор виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Генератор, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.ін.. Виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою

здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 12 В від аккумуляторної батареї або від силової мережі підприємства.

Додаток Б. Ілюстративні матеріали

Постановка задачі проектування

Мета роботи: вибрати , розробити та розглянути конструкцію вітрогенератора та його компонентів

Завдання проектування:

- Аналіз існуючих конструкцій
- Розробка нової конструкції, та її дослідження
- Розробка механічної частини;
- Розробка електронної частини;
- Висновки

ТИПИ ГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ ВІТРОУСТАНОВОК

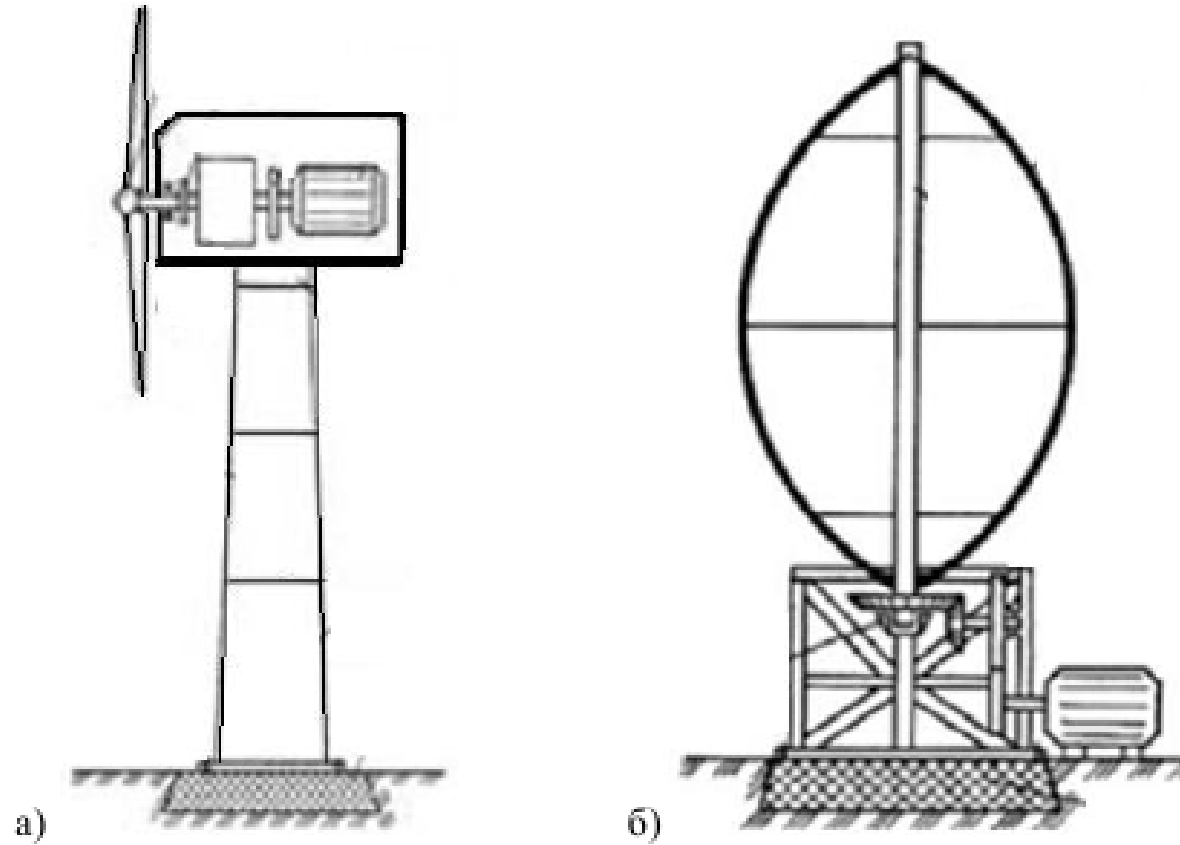


Рисунок 1 – Вітроустановки з горизонтальною віссю обертання (а) і з вертикальною віссю (б)
ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВІ ВІТРОУСТАНОВКИ

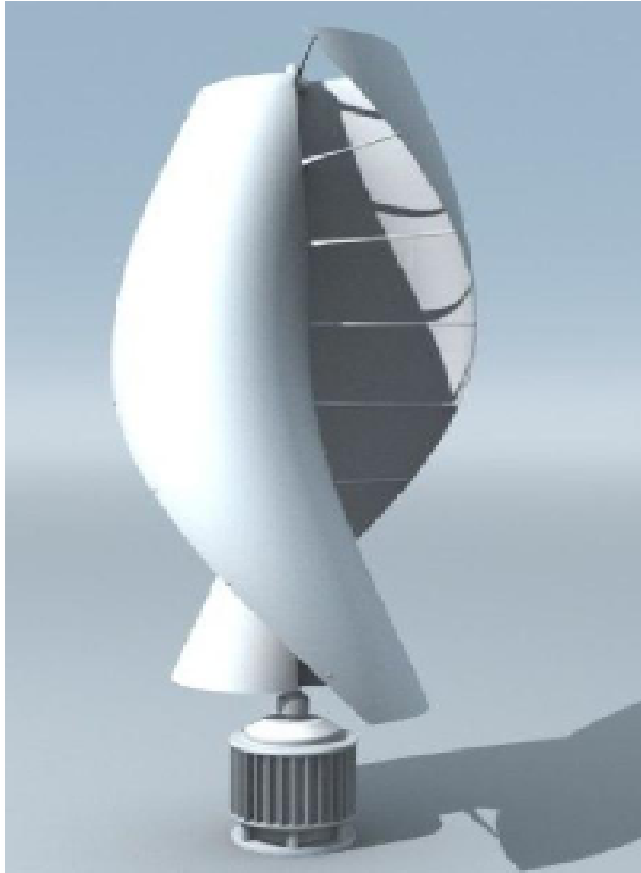


Рисунок 2 – Ротор Савоніуса та вертикально-осьовий вітрогенератор

СИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

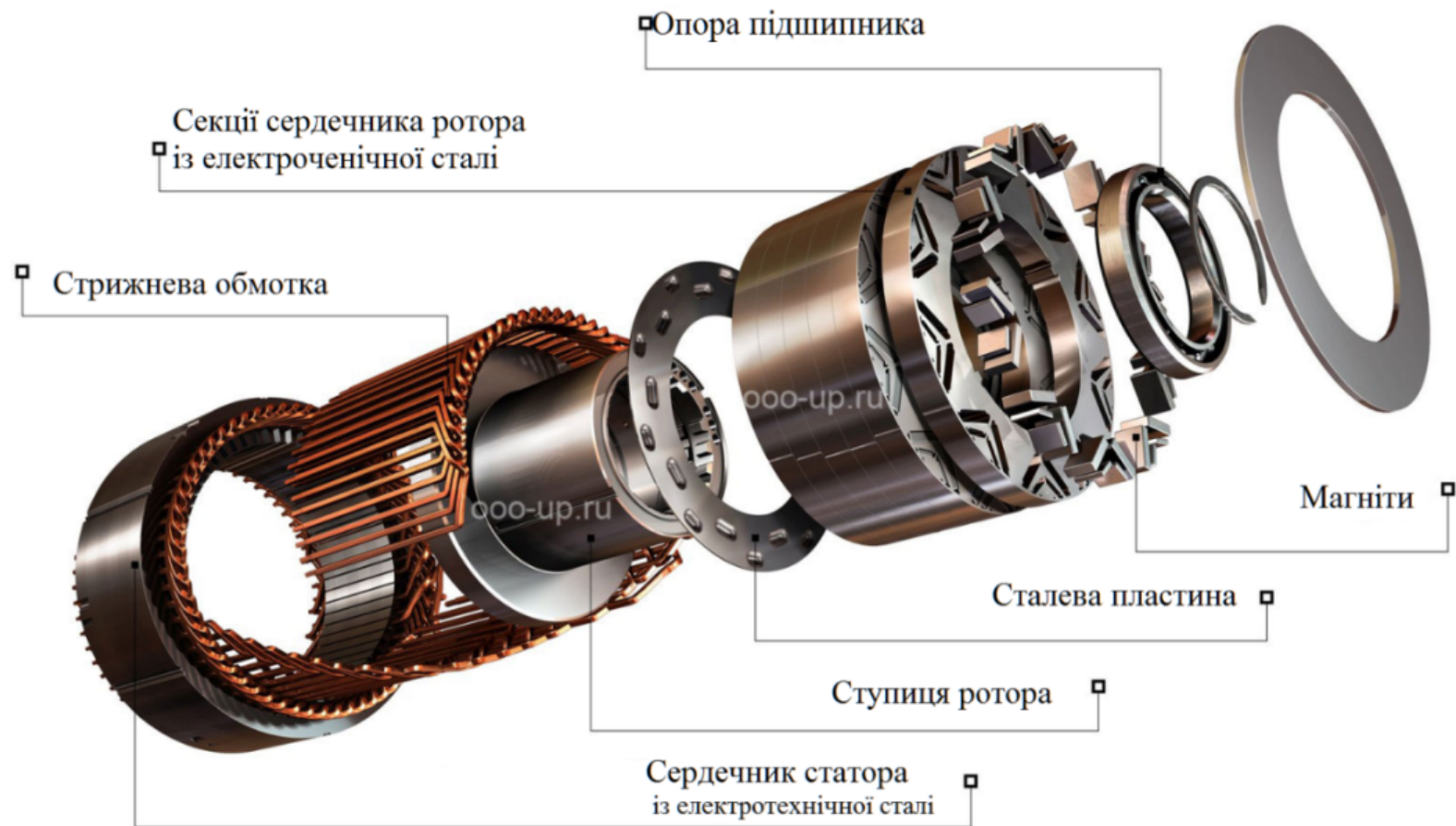


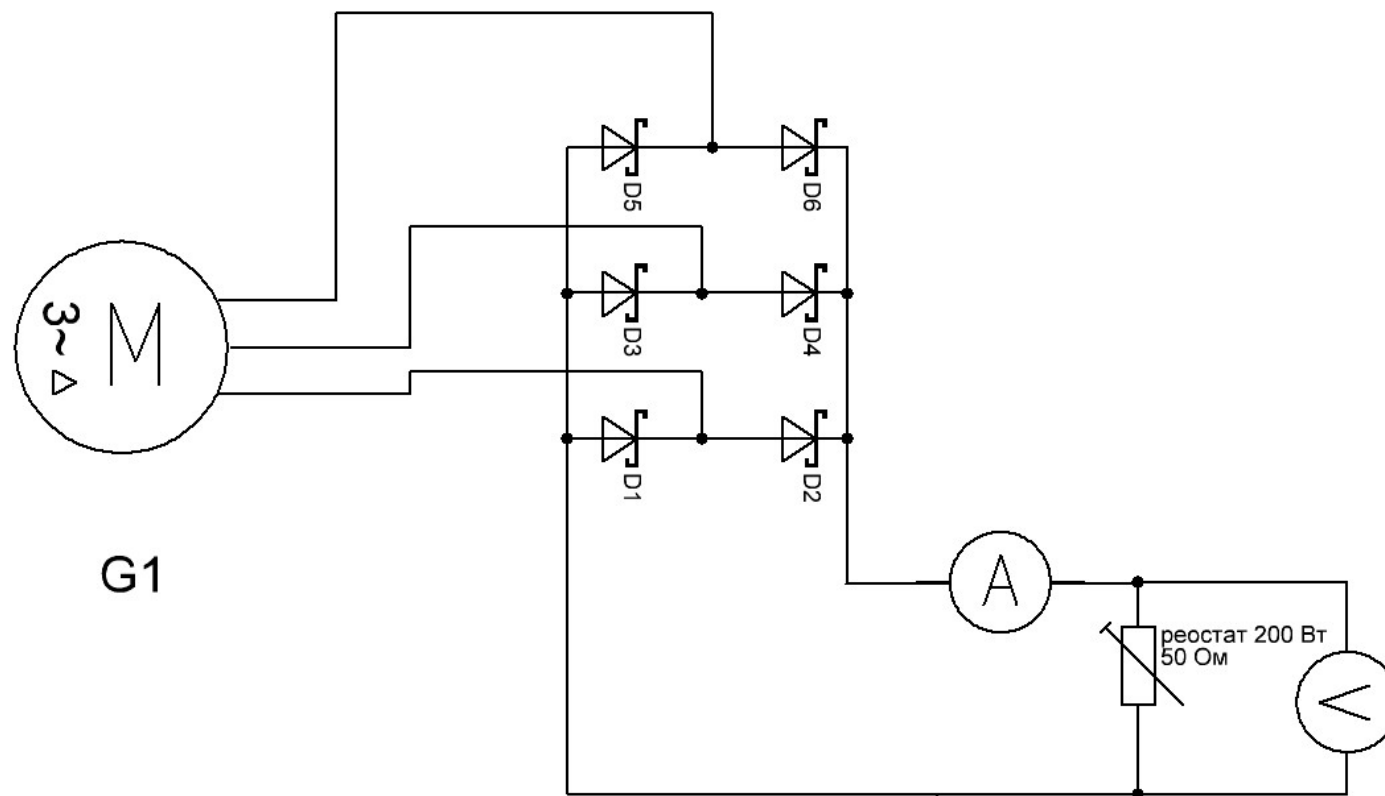
Рисунок 3 – Конструкція вентильного безщіткового двигуна

ПРОЦЕС ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА



Рисунок 4 – Процес зняття характеристик генератора на різних швидкостях обертання вихідного вала верстата

**СХЕМА
СТЕНДУ ДЛЯ
ЗНЯТТЯ**



ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА

Рисунок 5 – Схема стенду для зняття характеристик генератора

ГЕНЕРАТОР (ЗІ ЗНЯТОЮ КРИШКОЮ)

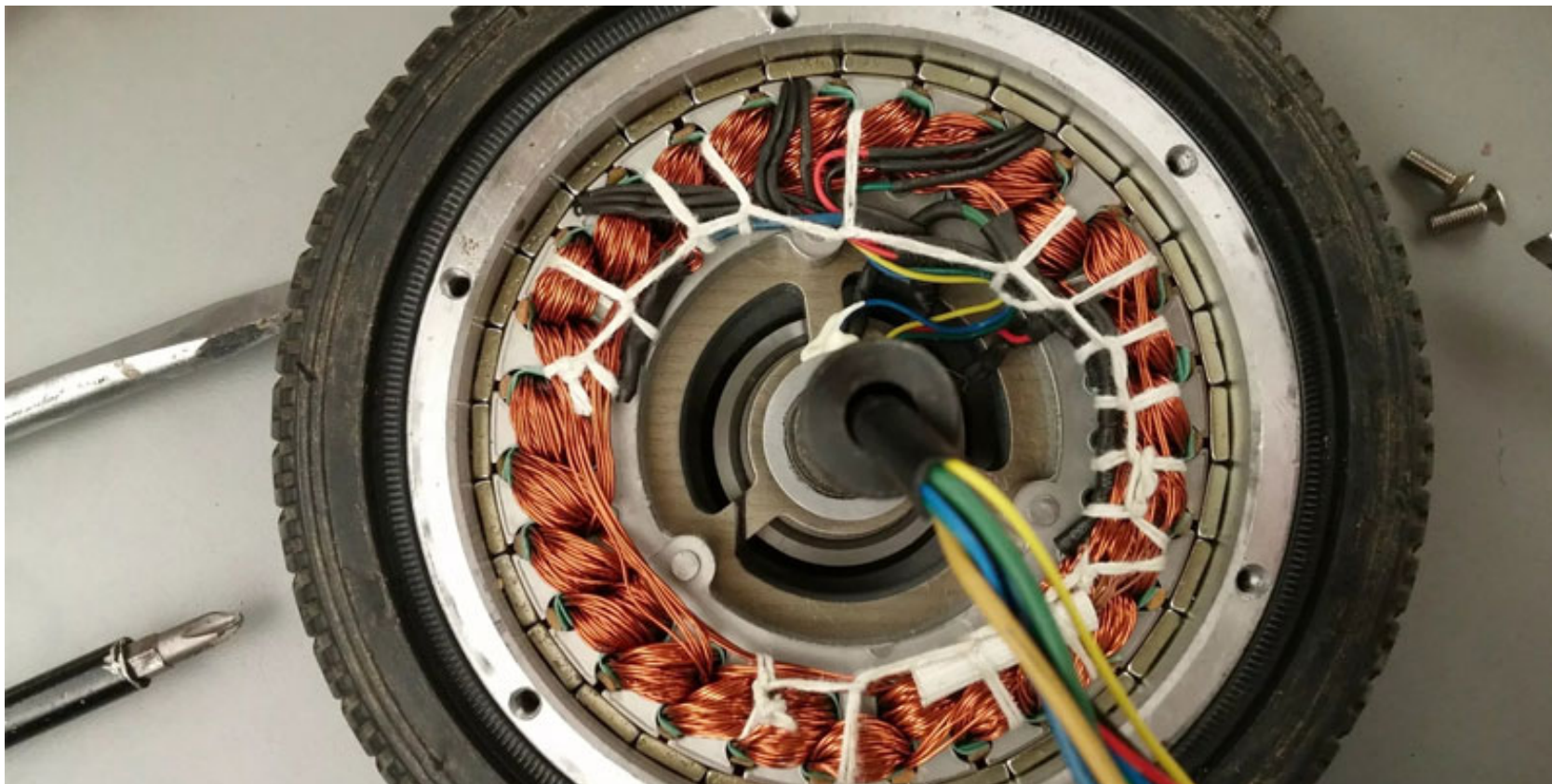


Рисунок 6 – Фото генератора(зі знятою кришкою)

ЗАГАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

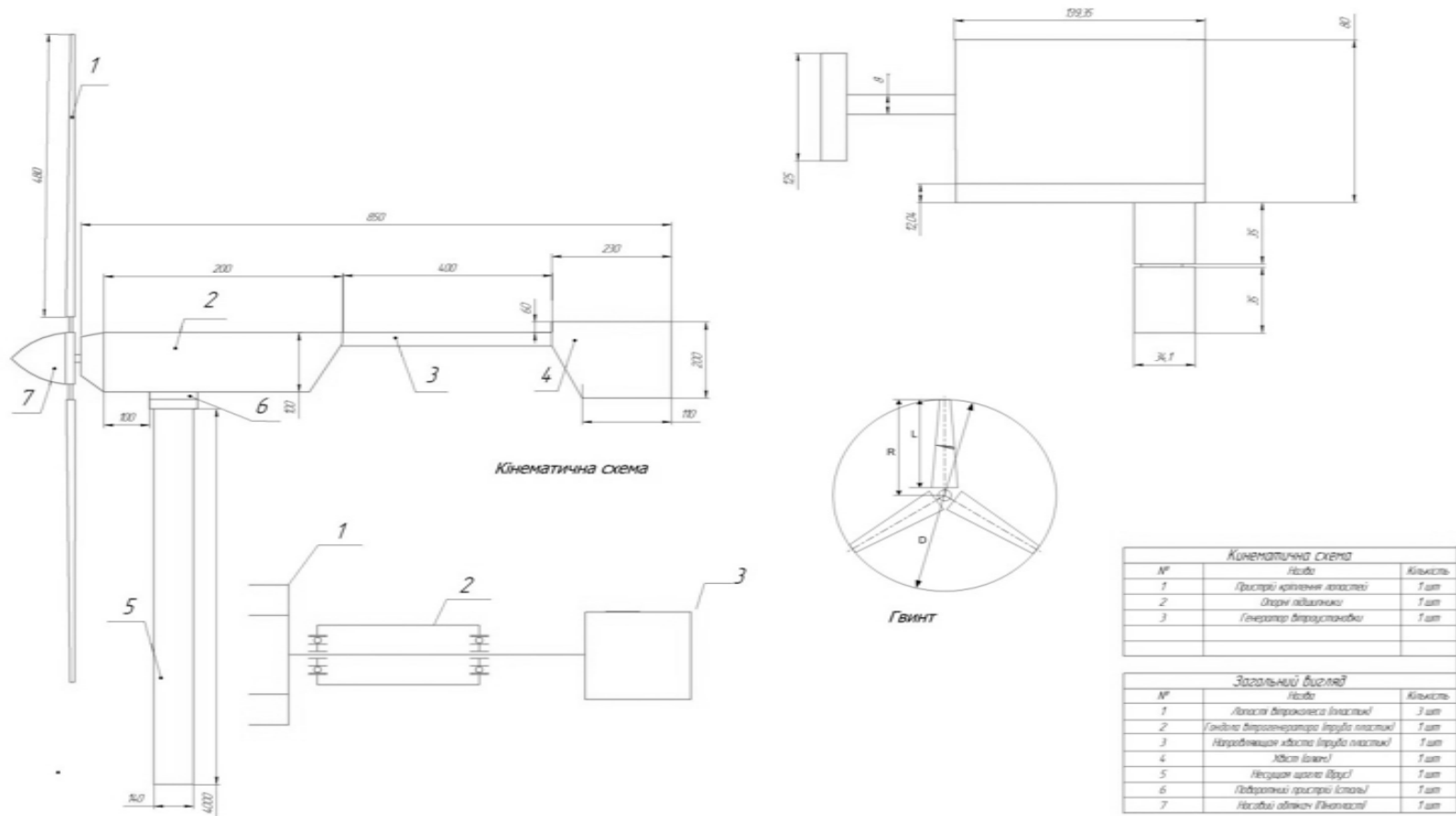


Рисунок 7– Кінематична схема вітрогенератора

Додаток В. Програма роботи контролера вітрогенераторної установки

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "Ticker.h"
#include "OneButton.h"
#include <EEPROM.h>

#define PWMpin 11
#define FANpin PD2
#define redPWMpin PD5
#define greenPWMpin PD6
#define buttonpin PD7

enum cStates : uint8_t{SNOOZ=0, BULK=1, FLOAT=2};
cStates cState = SNOOZ;
const char* cStatesNames[3]={"SNOOZ", "BULK ", "FLOAT"};

enum mStates : uint8_t{noMENU=0, MenuVFloat=1, MenuBLTimer=2, MenuI0Calib=3, \
MenuVINCalib=4, MenuVBattCalib=5, MenuClearPM=6, MenuReset=7};
mStates mState = noMENU;

enum dStates : uint8_t{DISP1 = 0, DISP2 = 1};
dStates dState = DISP1;

float vBatt=12.0;
float vIn;
float iIn;
float pIn, pCharge;
uint8_t blTimer=20;
float vFloat = 13.8;
uint16_t iShift = 509;
float iScale = 0.0264;
float vInScale = 14.333;
float vBattScale = 6.458;
uint8_t backCounter;
uint8_t PWM=255;

void Tick1s();
void Tick5s();
void Tick10s();
void TickBL();
void stopMenu();
void SaveData();
void Display1();
void Display2();

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
OneButton leftButton(PD7, true);
Ticker timer1s(Tick1s, 1000,0, MILLIS);
Ticker timer5s(Tick5s, 5000,0, MILLIS);
Ticker timer10s(Tick10s, 10000,0, MILLIS);
Ticker timerBL(TickBL, blTimer*1000,1, MILLIS);
Ticker timerMenu(stopMenu, 5000,1, MILLIS);
Ticker timer1h(SaveData, 60*60*1000,0, MILLIS);

void LoadFromEEProm(){
    int eeAddress = 0;
```

```

uint8_t firstByte;
EEPROM.get(eeAddress, firstByte);
if (firstByte==17){
    lcd.clear();
    lcd.print("LOADING");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("FROM EEPROM");
    delay(1000);
    eeAddress+=sizeof(uint8_t);
    EEPROM.get(eeAddress,pCharge);
    eeAddress+=sizeof(float);
    EEPROM.get(eeAddress,blTimer);
    eeAddress+=sizeof(uint8_t);
    EEPROM.get(eeAddress,vFloat);
    eeAddress+=sizeof(float);
    EEPROM.get(eeAddress,iShift);
    eeAddress+=sizeof(uint16_t);
    EEPROM.get(eeAddress,vInScale);
    eeAddress+=sizeof(float);
    EEPROM.get(eeAddress,vBattScale);
}
else{
    lcd.clear();
    lcd.print("RESETTING");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("TO DEFAULT");
    delay(2000);
    blTimer=20;
    vFloat=13.8;
    iShift=509;
    vInScale=14.333;
    vBattScale=6.458;
    SaveToEEProm();
}
}

void SaveToEEProm() {
    int eeAddress = 0;
    uint8_t firstByte = 17;
    lcd.clear();
    lcd.print("SAVING");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("TO EEPROM");
    delay(2000);
    EEPROM.put(eeAddress, firstByte);
    eeAddress+=sizeof(uint8_t);
    EEPROM.put(eeAddress,pCharge);
    eeAddress+=sizeof(float);
    EEPROM.put(eeAddress,blTimer);
    eeAddress+=sizeof(uint8_t);
    EEPROM.put(eeAddress,vFloat);
    eeAddress+=sizeof(float);
    EEPROM.put(eeAddress,iShift);
    eeAddress+=sizeof(uint16_t);
    EEPROM.put(eeAddress,vInScale);
    eeAddress+=sizeof(float);
    EEPROM.put(eeAddress,vBattScale);
}

void SaveData() {
    int eeAddress = 0;
    uint8_t firstByte = 17;

```

```

EEPROM.put(eeAddress, firstByte);
eeAddress+=sizeof(uint8_t);
EEPROM.put(eeAddress,pCharge);
}

void Tick5s ()
{
  if (dState==DISP1){
    dState=DISP2;
  }
  else{
    dState=DISP1;
  }
}

void Tick10s ()
{
  pCharge+=(pIn/360);
}

void TickBL ()
{
  lcd.noBacklight();
  timerBL.stop();
}

void ClearRow(uint8_t row) {
  lcd.setCursor(0, row);
  lcd.print("                ");
}

void Display1 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Vb:          ");
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(String(vBatt,1)+"V");
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print(cStatesNames[cState]);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" I:          ");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print(String(iIn,2)+"A");
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("P:          ");
  lcd.setCursor(11,1);
  lcd.print(String(pIn,1)+"W");
}

void Display2 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("CHARGED:          ");
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print(String(pCharge,0)+"Wh");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("LOADPWM:          ");
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print(String(255-PWM, DEC));
}

void DisplayMenu1 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("FLOAT VOLTAGE:  ");
}

```

```

ClearRow(1);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print((String(vFloat,1))+ " V");
timerMenu.start();
}

void DisplayMenu2 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("BACKLIT TIMEOUT:");
  ClearRow(1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print((String(blTimer))+ " s");
  timerMenu.start();
}

void DisplayMenu3 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("ZERO CURRENT:  ");
  ClearRow(1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print((String(iIn,2))+ " A, dI:"+String(iShift));
  timerMenu.start();
}

void DisplayMenu4 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("INPUT VOLTG CAL:");
  ClearRow(1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print((String(vIn,3))+ " V:"+String(vInScale,3));
  timerMenu.start();
}

void DisplayMenu5 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("BATTERY VLTG CAL");
  ClearRow(1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print((String(vBatt,3))+ " V:"+String(vBattScale,3));
  timerMenu.start();
}

void DisplayMenu6 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("CLEAR PWR METER ");
  ClearRow(1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(String(backCounter,DEC));
}

void DisplayMenu7 () {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("RESET TO DEFAULT");
  ClearRow(1);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(String(backCounter,DEC));
}

void startMenu () {
  timer5s.stop();
  timerBL.stop();
  lcd.backlight();
}

```

```

mState=MenuVFloat;
DisplayMenu1 ();
}

void stopMenu () {
timer1s.stop ();
lcd.clear ();
switch (mState) {
case MenuClearPM: {
lcd.print ("CLEARING");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("POWER METER");
delay (1000);
pCharge=0.0;
SaveToEEProm ();
mState=noMENU;
timer1s.start ();
timer5s.start ();
timerBL.setInterval (blTimer*1000);
if (blTimer>0) {timerBL.start ();}
break;
}
case MenuReset: {
lcd.print ("RESETTING");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("TO DEFAULT");
delay (1000);
uint8 t firstByte = 0;
EEPROM.put (0, firstByte);
LoadFromEEProm ();
SaveToEEProm ();
mState=noMENU;
timer1s.start ();
timer5s.start ();
timerBL.setInterval (blTimer*1000);
if (blTimer>0) {timerBL.start ();}
break;
}
}
mState=noMENU;
SaveToEEProm ();
timer1s.start ();
timer5s.start ();
timerBL.setInterval (blTimer*1000);
if (blTimer>0) {timerBL.start ();}
}

void Tick1s () {
switch (mState) {
case noMENU: {
switch (dState) {
case DISP1: {Display1 ();break;}
case DISP2: {Display2 ();break;}
}break;
}
case MenuClearPM: {backCounter-=1;DisplayMenu6 ();break;}
case MenuReset: {backCounter-=1;DisplayMenu7 ();break;}
}
}

void lbClick () {
switch (mState) {

```

```

case noMENU:{
    lcd.backlight();
    if (blTimer>0){timerBL.start();}
    break;}
case MenuVFloat:{if (vFloat>0.0){vFloat-=0.1;DisplayMenu1();break;}}
case MenuBLTimer:{
    if (blTimer!=0){
        blTimer--;
        DisplayMenu2();
        break;
    }
    break;
}
case MenuI0Calib:{
    if (iShift>0){iShift--;}
    DisplayMenu3();
    break;
}
case MenuVInCalib:{
    if (vInScale>=0.001){vInScale-=0.001;}
    DisplayMenu4();
    break;
}
case MenuVBattCalib:{
    if (vBattScale>=0.001){vBattScale-=0.001;}
    DisplayMenu5();
    break;
}
}
}

void lbDoubleClick(){
    switch (mState){
    case MenuVFloat:{vFloat+=0.1;DisplayMenu1();break;}
    case MenuBLTimer:{
        if (blTimer<30){
            blTimer++;
            DisplayMenu2();
            break;
        }
        break;
    }
    case MenuI0Calib:{
        if (iShift<1023){iShift++;}
        DisplayMenu3();
        break;
    }
    case MenuVInCalib:{
        vInScale+=0.001;
        DisplayMenu4();
        break;
    }
    case MenuVBattCalib:{
        vBattScale+=0.001;
        DisplayMenu5();
        break;
    }
    }
}

void lbLongPressStart(){
    switch (mState){

```

```

    case noMENU: {startMenu();break;}
    case MenuVFloat: {mState=MenuBLTimer; DisplayMenu2();break;}
    case MenuBLTimer: {mState=MenuI0Calib; DisplayMenu3();break;}
    case MenuI0Calib: {mState=MenuVInCalib; DisplayMenu4();break;}
    case MenuVInCalib: {mState=MenuVBattCalib; DisplayMenu5();break;}
    case MenuVBattCalib: {mState=MenuClearPM; backCounter=5;
DisplayMenu6();break;}
    case MenuClearPM: {mState=MenuReset; backCounter=5; DisplayMenu7();break;}
    case MenuReset: {mState=MenuVFloat; DisplayMenu1();break;}
    }
}

void lbLongPressStop() {
    switch(mState) {
        case noMENU: {startMenu();break;}
    }
}

void setGreenLED() {
    if (iIn>0.05) {
        int greenPWM = (iIn-0.05)*200;
        if (greenPWM>255) {greenPWM=255;}
        analogWrite(greenPWMPin, greenPWM);
    }
    else {
        analogWrite(greenPWMPin, 0);
    }
}

void setPWM() {
    analogWrite(PWMPin, PWM);
    analogWrite(redPWMPin, (255-PWM)/4);
}

void doSNOOZ() {
    cState=SNOOZ;
    digitalWrite(FANpin, LOW);
    PWM=255;
    setPWM();
}

void doBULK() {
    cState=BULK;
    digitalWrite(FANpin, LOW);
    PWM=255;
    setPWM();
}

void doFLOAT() {
    cState=FLOAT;
    digitalWrite(FANpin, HIGH);
    PWM=255;
    setPWM();
}

void setup()
{
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    LoadFromEEProm();
    leftButton.attachClick(lbClick);
}

```

```

leftButton.attachDoubleClick(lbDoubleClick);
leftButton.attachLongPressStart(lbLongPressStart);
leftButton.attachLongPressStop(lbLongPressStop);
mState=noMENU;
timer1s.start();
timer5s.start();
timer10s.start();
timerBL.setInterval(blTimer*1000);
if(blTimer>0){timerBL.start();}
timer1h.start();
pinMode(FANpin, OUTPUT);
doSNOOZ();
}

void loop(){
timer1s.update();
timer5s.update();
timer10s.update();
timerBL.update();
timerMenu.update();
timer1h.update();
leftButton.tick();
int average = 0;
average=0;
for(int i = 0; i < 10; i++) {
average += analogRead(A0)-iShift;
delay(1);
}
iIn=average*0.00264;
if (iIn<0){iIn=0;};

// average=0;
// for(int i = 0; i < 10; i++) {
// average += analogRead(A1);
// delay(1);
// }
// vIn=average;
// vIn=vInScale*average*0.000323558162267839687194525904203;
average=0;
for(int i = 0; i < 10; i++) {
average += analogRead(A2);
delay(1);
}
vBatt=vBattScale*average*0.000323558162267839687194525904203;
pIn=vBatt*iIn;
setGreenLED();
// switch states here:
switch(cState){
case SNOOZ:{
if (iIn>=0.05){
doBULK();
break;
}
break;
}
case BULK:{
if (iIn<0.05){
doSNOOZ();
break;
}
if (vBatt>=vFloat){
doFLOAT();
}
}
}

```



```
        break;
    }
    break;
}
case FLOAT:{
    if (vBatt>=vFloat){if (PWM>0){PWM--;setPWM();break;}}
    else{if (PWM<255){PWM++;setPWM();break;}
        else{if (PWM==255){doBULK();break;}}
        break;}
    }
}
}
```

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000				
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності.Актуальність роботи	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив:		Бугайчук В.І							
Перевірів		Кутін В.М.							
Т. контр.									
						Аркуш	Аркушів		
Норм.кон.					гр. ЕПА-18мз				
Затверд.		Кутін В.М.							

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності. Мета роботи, об'єкт та предмет дослідження	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Бугайчук В.І							
Перевірів	Кутін В.М.							
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.					гр. ЕПА-18мз			
Затверд.	Кутін В.М.							

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності. Аналіз конструкцій вітроенергетичних установок	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Бугайчук В.і							
Перевірів	Кутін В.М.							
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.					гр. ЕПА-18мз			
Затверд.	Кутін В.М.							

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000						
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності. Дослідження вертикально-осьових вітроустановок	Літ.	Маса	Масштаб			
Розробив:	Бугайчук В.І										
Перевірив	Кутін В.М.										
Т. контр.											
						Аркуш	Аркушів				
Норм.кон.						гр. ЕПА-18мз					
Затверд.	Кутін В.М.										

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000						
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності. Аналіз горизонтально-осьових вітрогенераторів	Літ.	Маса	Масштаб			
Розробив:	Бугайчук В.І										
Перевірів	Кутін В.М.										
Т. контр.											
						Аркуш	Аркушів				
Норм.кон.						гр. ЕПА-18мз					
Затверд.	Кутін В.М.										

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності. Розгляд BLDC двигуна в якості генератора	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Бугайчук В.І							
Перевірив	Кутін В.М.							
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						гр. ЕПА-18мз		
Затверд.	Кутін В.М.							

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності.Зняття характеристик ВLDC двигуна в режимі генератора	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Бугайчук В.І							
Перевірів	Кутін В.М.							
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.						гр. ЕПА-18мз		
Затверд.	Кутін В.М.							

08-16.МКР.001.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.			Маса	Масштаб
					Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності. Схема стенду для зняття характеристик генератора				
Розробив:	Бугайчук В.І								
Перевірив	Кутін В.М.								
Т. контр.									
					Аркуш		Аркушів		
Норм.кон.					гр. ЕПА-18мз				
Загверд.	Кутін В.М.								

08-16.МКР.001.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Бугайчук В.і						
Перевірів	Кутін В.М.						
Т. контр.							
					Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.					гр. ЕПА-18мз		
Затверд.	Кутін В.М.						

Покращення характеристик
вітрогенератора на основі безщіткового
двигуна малої потужності.Фото
генератора

08-16.МКР.001.00.000

					08-16.МКР.001.00.000					
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Покращення характеристик вітрогенератора на основі безщіткового двигуна малої потужності..Креслення готового виробу			Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Бугайчук В.І									
Перевірив	Кутін В.М.									
Т. контр.										
					Аркуш		Аркушів			
Норм.кон.					гр. ЕПА-18мз					
Затверд.	Кутін В.М.									