Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
ННІ комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

# Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

# на тему: «Вітрогенератори вертикального типу з ротором Дарьє»

Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-41
Напряму підготовки (спеціальність)
6.040204 прикладна фізика
Томах Веніамін Олександрович
Керівник: доцент, к.ф.-м.н. Кудрявцев І. М.
Рецензент:

Харків - 2022 рік

План роботи:

| № з/п | Назва етапів роботи |
|---|---|
| **1** | Аналіз науково-технічної літератури. Основні теоретичні відомості. Загальні поняття та принципи щодо роботи вітроенергетичної установки. |
| **2** | Математичне моделювання потужності вітрової турбіни |
| **3** | Складання експериментального стенду. Постанова і проведення експериментів. |
| **4** | Висновки |

## Зміст

1. Вступ 7

2.Аналіз науково-технічної літератури 8

2.1 Загальні принципи роботи вітроенергетичної установки. 8

2.2 Екологічність вітроенергетики 8

2.3 Переваги турбін з вертикальною віссю обертання: 10

2.4 Застосування і конструктивні особливості ротора Дарьє 11

2.5 Ротор Савоніуса 13

2.6 Ротор Угринського 14

3. Математичне моделювання 16

4.Постанова і проведення експериментів 20

4.1 Дослідження і оптимізація режимів роботи генератора для вітроустановки 20

4.1.1Технічні характеристики генератора 22

4.1.2Технічні характеристики електродвигуна 23

4.2 Розрахунок потужності вітрогенератора 25

4.3. Експериментальна установка вітрогенертора 27

5. Висновки 30

Список літератури 31

# РЕФЕРАТ

**Томах Веніамін Олександрович** «Вітрогенератори вертикального типу з ротором Дар'є» (випускна робота бакалавра). – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2022 - 31 с.

Робота присвячена дослідженню динамічних показників вертикальних вітрових турбін. Було розроблено та виготовлено оригінальну експериментальну установку. Вимірювання напруги та потужності проводилися в реальному часі та реєструвалися за допомогою контрольно-вимірювальних приладів.

Обробка експериментальних даних та побудова графіків здійснювалася за допомогою програми Matlab, а побудова схем та стендових моделей – за допомогою програми SolidWorks. В рамках проекту було написано інтернет-додаток для розрахунку та отримання необхідних параметрів для побудови вітрогенератора. Результати, отримані у дипломній роботі, можуть бути використані у галузі вітроенергетики.

Дипломний проект містить: 31 сторінку, 20 малюнків, 4 таблички, 2 додатки, 22 джерела.

***Ключові слова:*** динамічні характеристики, вітрогенеруючі пристрої, експериментальна установка, експеримент, інтернет-додаток, вітроджерела.

# ABSTRACT

Tomakh Veniamin Oleksandrovych "Vertical wind generators with Darier rotor" (bachelor's thesis). - Kharkiv: V.N. Karazin KhNU., 2022 - 31 p.

The work is devoted to the study of dynamic characteristics of vertical wind turbines. An original experimental setup was developed and manufactured. Voltage and power measurements were carried out in real time and were recorded with instrumentation.

Processing of experimental data and construction of graphs was carried out using Matlab software, and the construction of schemes and stand models - using SolidWorks software. The internet application for calculating and obtaining the necessary parameters for the construction of a wind turbine generator was written as a part of a project. The results obtained in the thesis can be used in the field of wind energy.

The diploma project contains: 31 pages, 20 figures, 4 tables, 2 applications, 22 sources.

***Key words***: dynamic characteristics, wind generators, experimental setup, experiment, internet application, wind sources.

# 1. Вступ

Енергія вітру пропонує безліч переваг, що пояснює, чому це одне з найшвидших джерел енергії у світі. Дослідницькі зусилля спрямовані на вирішення проблем ширшого використання енергії вітру.

Енергія вітру економічно вигідна. Наземний комунальний вітер є одним із найдешевших джерел енергії, доступних сьогодні, і коштує 1–2 центи за кіловат-годину після вирахування податку на виробництво. Оскільки електроенергія від вітряних електростанцій продається за фіксованою ціною протягом тривалого періоду часу (наприклад, понад 20 років), а її паливо надається безкоштовно, енергія вітру знижує невизначеність цін, яку вартість палива додає до традиційних джерел енергії.

В даний час в умовах енергетичної кризи на планеті ефективне отримання електричної енергії в автономних умовах, з використанням відновлюваних джерел енергії, є актуальною науково-технічною задачею. Вітряні турбіни не виробляють викидів, які можуть забруднити повітря або воду (за рідкісним винятком), і їм не потрібна вода для охолодження. Вітряні турбіни також можуть зменшити кількість електроенергії, що виробляється з викопного палива, що призводить до зниження загального забруднення повітря та викидів вуглекислого газу.

Індивідуальна вітряна турбіна має невеликий фізичний слід. Групи вітряних турбін, які іноді називають вітряними електростанціями, розташовані на відкритій місцевості, на гірських хребтах або в прибережних водах озер або океану.

Метою роботи є дослідження динамічних характеристик вітрогенераційних пристроїв вертикального типу та побудова працюючої вітроустановки вертикального типу.

# 2. Аналіз науково-технічної літератури

## 2.1. Загальні принципи роботи вітроенергетичної установки.

Вітряні турбіни працюють за простим принципом: замість того щоб використовувати електрику для створення вітру, як вентилятор, вітряні турбіни використовують вітер для виробництва електрики. Вітер обертає пропелерні лопаті турбіни навколо ротора, що обертає генератор, що виробляє електрику.

Вітер - це форма сонячної енергії, викликана комбінацією трьох одночасних подій:

1) Сонце нерівномірно нагріває атмосферу

2) Нерівності земної поверхні

3) Обертання землі

Вітряна турбіна перетворює енергію вітру на електрику, використовуючи аеродинамічну силу лопатей ротора, які працюють як крило літака або лопаті гвинта вертольота. Коли вітер обдуває лопату, тиск повітря з одного боку лопаті зменшується. Різниця в тиску повітря з обох боків лопаті створює як підйомну силу, так і опір. Підйомна сила більша, ніж опір, і це змушує ротор обертатися. Ротор з'єднується з генератором або безпосередньо (якщо це турбіна з прямим приводом), або через вал і ряд шестерень (редуктор), які прискорюють обертання та дозволяють зменшити фізично розмір генератора. Цей переклад аеродинамічної сили на обертання генератора створює електрику.

Більшість вітряних турбін поділяються на два основні типи:

- Турбіни з вертикальною віссю - бувають кількох різновидів, у тому числі модель Дарьє у стилі збивалки, названа на честь французького винахідника. Ці турбіни є всеспрямованими, а це означає, що їх не потрібно спрямовувати на вітер для роботи.

- Вітряні турбіни з горизонтальною віссю - це те, що багато людей представляють, думаючи про вітряні турбіни.

  Найчастіше вони мають три лопаті і працюють проти вітру, при цьому турбіна обертається нагорі вежі, тому лопаті звернені до вітру.

Вітряні механізми використовувались в Персії ще за 200 років до нашої ери. Наступна згадка відноситься до 250 року нашої ери, коли такі механізми використовувались в Римській Імперії. Однак перші вітряки були побудовані в сьомому столітті в Сістані, Іран. Були вони з вертикальною віссю з 6-12 лопатями прямокутної форми, виготовленими у виді вітрила з тростинними або тканинним покриттям.

## 2.2. Екологічність вітроенергетики

На думку деяких екологів та жителів, які мешкають поблизу вітрових електростанцій, робота цих агрегатів супроводжується такими негативними факторами:

1. Екологічна проблема вітроенергетики полягає в тому, що вона може турбувати птахів, наприклад, тетеруки в штаті Канзас у США поступово зникли після появи вітряків. Поточне рішення - офшорна генерація, яка дорожча, але й ефективніша.

2. У деяких районах економіка виробництва енергії вітру недостатня: енергія вітру в багатьох районах уривчаста, і найгірше те, що в таких місцях, як Тайвань, влітку і вдень, коли попит на енергію високий, вітер менший, потрібно почекати. , таких як стиснене повітря.

3. Виробництво вітрової енергії вимагає багато землі для будівництва вітряних електростанцій, щоб виробляти більше енергії.

4. Під час вироблення вітрової енергії вітряні турбіни будуть видавати сильний шум, тому знайдіть кілька відкритих місць для встановлення.

5. Нинішнє виробництво вітрової енергії ще не досягло зрілості, і є ще значні можливості для розвитку.

6. Швидкість вітру нестабільна, а кількість енергії, що виробляється, нестабільна;

7.Використання енергії вітру серйозно обмежено географічним розташуванням;

8. ККД перетворення енергії вітру низький;

9. Енергія вітру це новий вид енергії, і відповідні пристрої не дуже зрілі.

10.Енергію вітру доцільно використовувати у місцях із відносно відкритою місцевістю та меншою кількістю перешкод або у місцях із вищим рельєфом.

**2.3. Переваги турбін з вертикальною віссю обертання:**

- Стала робота (незалежна від напрямку вітру) не вимагає механізму «встановлення під вітер»;
- Старт при швидкості вітру близько 2 м/с;
- Вертикальна вісь обертання і невеликий діаметр дозволяє легкий монтаж, не потрібне будівництво високих щогл в сприятливих умовах, достатнім є розмір відкритої території висотою приблизно 2-4 м над рівнем землі;
- Можливість монтажу: на землі, дахах будівель, стовпах, щогл все існуючих конструкцій тощо;
- Низький рівень шуму навіть при максимальній оборотній швидкості;
- Стійкість до дуже сильного вітру не вимагає зупинки ( навіть при вітрі з швидкістю 40 м/с), аеродинамічна форма ротора забезпечує обмеження обертання;
- Автоматична робота електрогенеруючого комплексу;
- Стійкість в зимових умовах до вкривання інієм чи мокрим снігом;
- Можлива установка навість в промислових зонах;
- Відсутність вібрації ;
- Можлива переносна конструкція завдяки легкому монтажу і демонтажу за декілька годин;

- Простота конструкції гарантує довгий строк експлуатації пристрою;
- Не вимагає великих просторів плоского рельєфу для отримання оптимальних параметрів роботи;
- Естетичний вигляд – під час роботи вражає циклічною зміною форми, дає нові можливості установки реклами чи використання як елементу краєвиду;
- Низька ціна в порівнянні з класичною турбіною з горизонтальною віссю;
- Мала обертова швидкість ротора і його форма гарантують безпеку для тварин і птахів;

### 2.4.Застосування і конструктивні особливості ротора Дарьє

Тип турбіни низького тиску, вісь обертання якої перпендикулярна потоку рідкої або газового середовища називається ротором Дарьє (Мал.2.1, 2.2)

Це пристрій з низьким крутним моментом і високою швидкістю, що використовується для вироблення змінного струму. Як правило, ротор Дарьє вимагає фізичного поштовху, тому для початку обертання використовується якесь зовнішнє джерело енергії, оскільки початковий момент, що крутить, надзвичайно малий.

Ця машина складається з двох лопастей, які вертикально орієнтовані і обертаються навколо перпендикулярного валу.

Ці турбіни мають форму збивалки, що забезпечує високу ефективність, але вони є непостійними.

Щоб використовувати цю турбіну, у вас має бути зовнішнє джерело енергії для їхнього запуску.

Ця турбіна включає дві лопасті, тому краще вибрати вітряну турбіну з трьома лопастями.

Ця вітряна турбіна може підтримуватися за допомогою надбудови, яка закріпить її поруч із опорним підшипником.

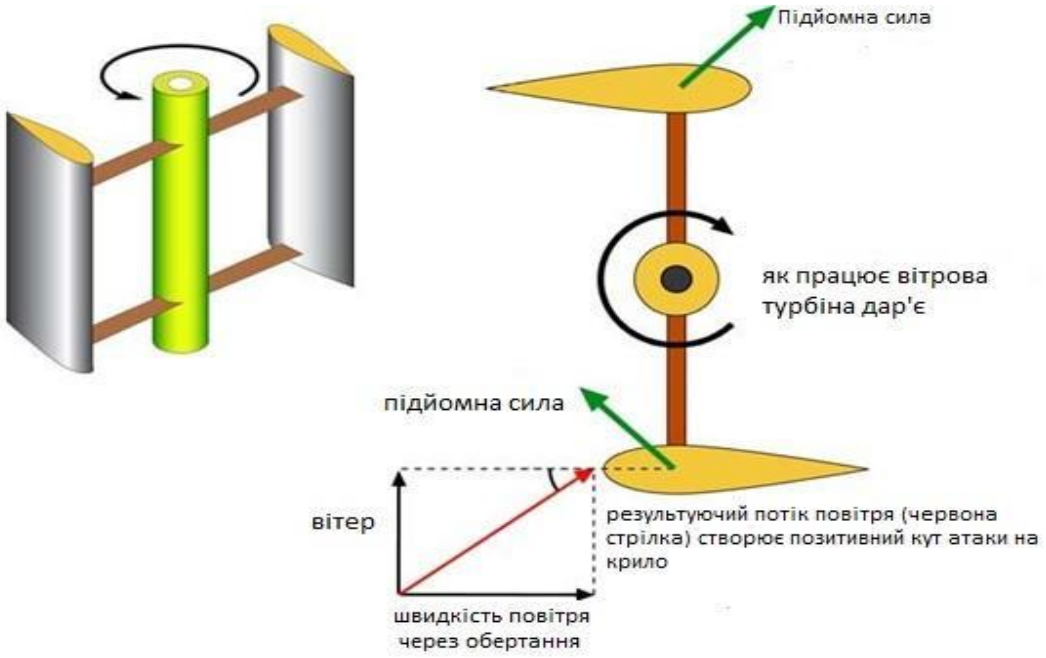
Вітряна турбіна Дарьє обертається набагато швидше, ніж швидкість вітру. Таким чином, вітряна турбіна Дарьє створює низький момент, що крутить, порівняно з турбіною Савоніуса, проте обертається дуже швидко. Таким чином, ця турбіна обертається дуже швидко для вироблення електроенергії замість перекачування води, а також пов'язаних із цим дій. Ця турбіна створює надзвичайно великі відцентрові сили, що впливають на лопаті турбіни.

**Переваги:**

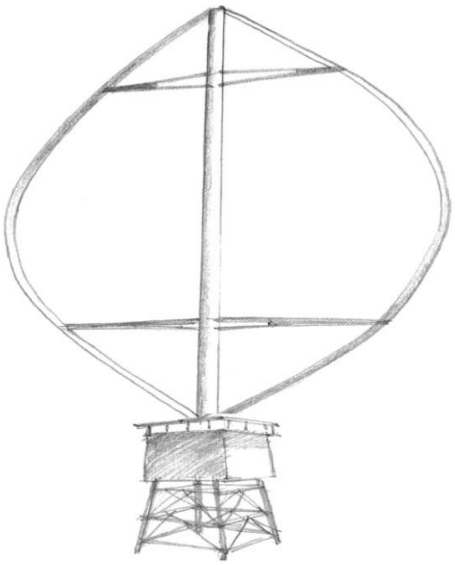
- Вал ротора цієї турбіни розташований вертикально. Таким чином, можна розмістити навантаження, аналогічне генератору або відцентрового насоса, на рівні землі. Коли генератор не обертається, дріт у бік навантаження не згинається і для великих кутів скручування не потрібні щітки.
- Ротор отримує вітер із кожного напрямку.
- Легко розміщується у будинках
- Розташування вітряка над будинком може бути більше в порівнянні з вітряком з горизонтальною віссю.
- Масштабованість
- Безпека для працівників
- Дуже прості в експлуатації, тому не турбують мешканців житлових кварталів.
- Переноситься з одного місця до іншого.
- Це допустимо скрізь, де заборонені вищі конструкції.
- Включає низькошвидкісні леза, що знижує ризик для птахів та людей.
- Він працює у суворих погодних умовах за нерівномірного вітру, а також у гірських умовах.

**Недоліки:**

- Низька ефективність
- Важко запустити порівняно з вітряком Савоніуса
- Механізм самозапуску
- Ефективність обертання низька
- Низька ефективність
- Швидкість вітру менш доступна




Мал. 2.1. Принцип роботи ротора Дарьє



Мал.2.2. Ротор Дарьє

## 2.5 Ротор Савоніуса

Вітро двигун Савоніуса (Мал. 2.3) є простим пристроєм з вертикальною віссю, що має форму напівциліндричних частин, прикріплених до протилежних сторін вертикального валу (для дволопатевого компонування) і діють на силу опору, тому він не може обертатися швидше ніж швидкість вітру. Це означає, що відношення швидкості кінчика дорівнює або менше. Коли вітер дме в структура і вступає в контакт з протилежними поверхнями (одна опукла та інша увігнута), дві різні сили (перетягування та підйом) впливають на ці дві поверхні. Основний принцип заснований на відмінності сили опору між опуклою і увігнутою частинами лопатей несучого гвинта при обертанні навколо вертикального валу. Таким чином, сила опору є основною рушійною силою ротора Савоніуса.



Мал. 2.3. Ротор Савоніуса

## 2.6 Ротор Угринського

Один із яскравих представників вертикальних конструкцій вітряка – ротор Угринського (Мал. 2.4). Конструкція лопатей є допрацьованим ротором Савоніуса, але, на відміну від нього, у вітряка Угринського є дві пари лопатей.

Кожна пара має різний профіль. Одна половина має загнуту в поздовжньому напрямку робочу поверхню. Друга половина – пряма. У перетині така лопать нагадує ківш із ручкою. Друга пара лопатей така ж у перерізі, встановлена симетрично щодо осі обертання. Між парами лопат залишається зазор для вільного проходження повітряного потоку.

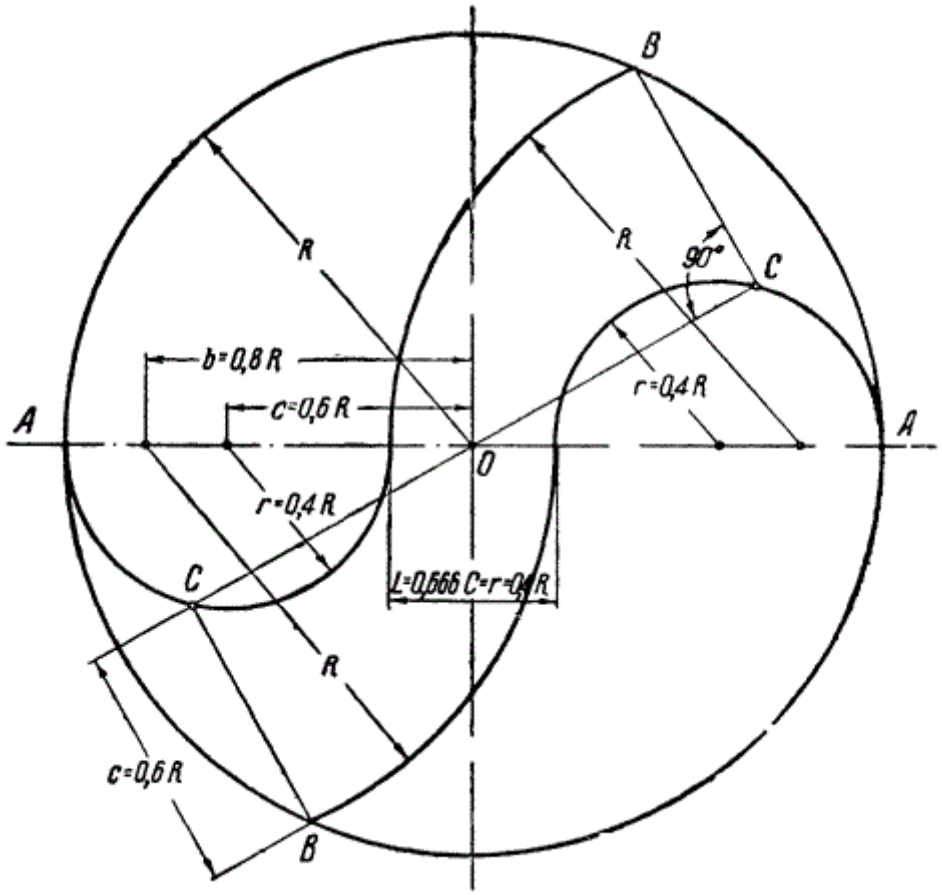
Ротор швидко змінює своє положення, одержуючи імпульс у потрібному напрямку. Є правило: середня частина каналу (зазор між лопатями) повинна становити 2/3 від ширини гирла каналу. Таким чином забезпечується оптимальний аеродинамічний режим крильчатки.

Повітряний кокон, що утворюється, забезпечує обмеження швидкості потоку вітру. При посиленні кокон згладжує вплив, уповільнюючи обертання і відсікаючи потік, що швидко рухається. Вітер обтікає ротор, немов суцільний циліндр. В цьому полягає вдала особливість конструкції вертикального типу.

Для виготовлення такого ротора потрібно два шматки листового металу (в ідеалі - алюмінію) або склопластику. Попередньо потрібно виготовити шаблон, що дає можливість зробити абсолютно однакові лопаті, що важливо для забезпечення правильного режиму роботи установки. Також треба виготовити дві торцеві частини зі маточами, встановленими на вертикальний вал. Лопаті встановлюються на ці диски або обручі у належному порядку - зазор у середній точці повинен становити 2/3 від ширини гирла (входу до зазору).

Чим точніше буде створено профіль лопатей, тим стійкіше вийде режим обертання крильчатки, чутливіше та продуктивніше встановлення. Від

розміру крильчатки залежить потужність вітряка, але занадто велика установка стане надмірно тяжкою. Інерція спокою не дасть їй стартувати при низьких швидкостях вітру, тому слід робити лопаті якомога легшими і не дуже старатися у створенні великого ротора. Для таких конструкцій треба використовувати тихохідні генератори, оскільки високої швидкості обертання досягти не вдасться.




Мал 2.4. Схема побудови лопатей роторної турбіни системи Угринського

# 3. Математичне моделювання

У ході виконання даної дипломної роботи була підрахована потужність вітрової турбіни за допомогою наступного рівняння:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * \vartheta^3$$

де *P*– потужність вітрової турбіни, Вт

$\rho$ – густина вітру, кг/м$^3$

$$м^2$$

*A* – ометаєма поверхня ; м$^2$

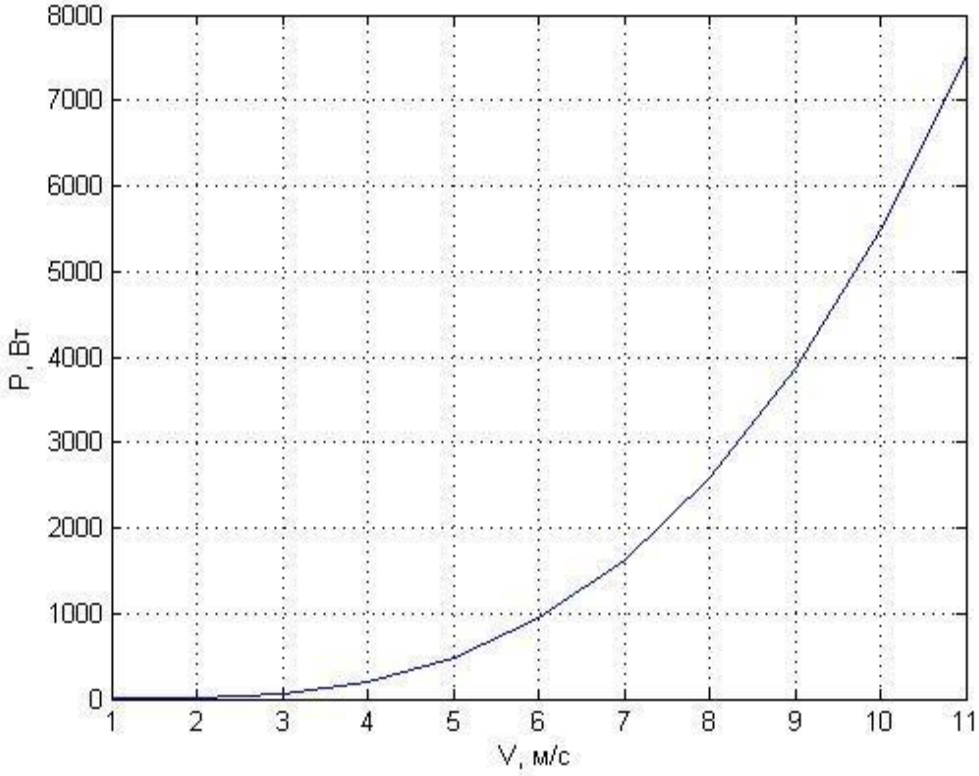
$\vartheta\ \vartheta$ – швидкість вітру; м/с

$A = \pi * r^2 A = \pi * r^2$;

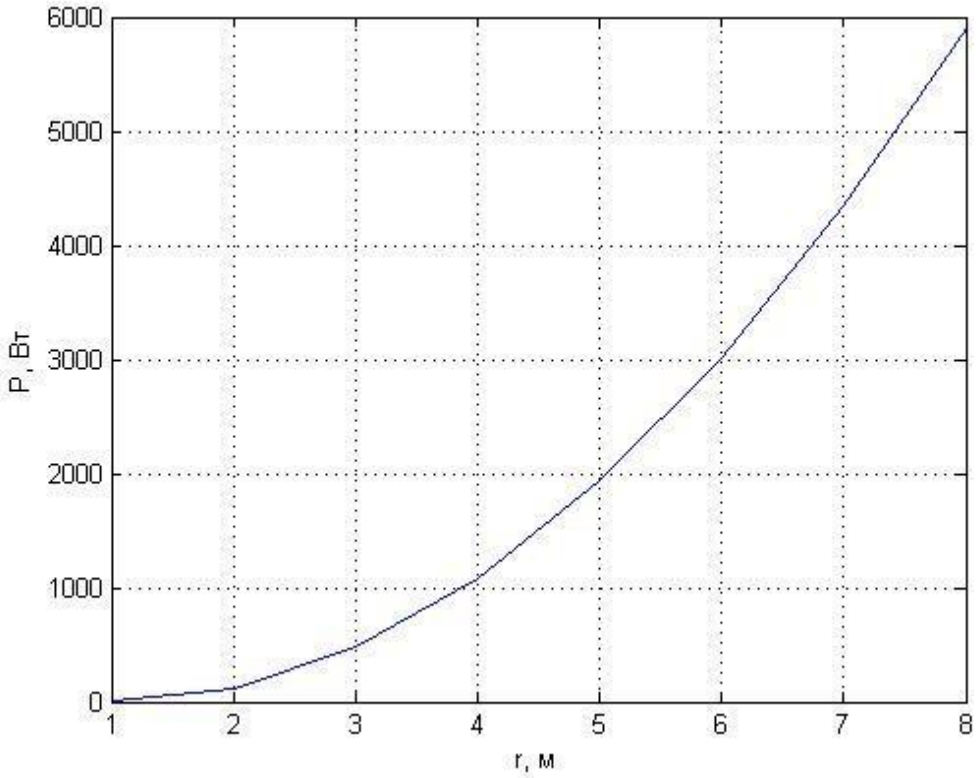
$\pi$ – математична константа, 3.14 ;

$r\ r$ – радіус вітроколеса, м ;

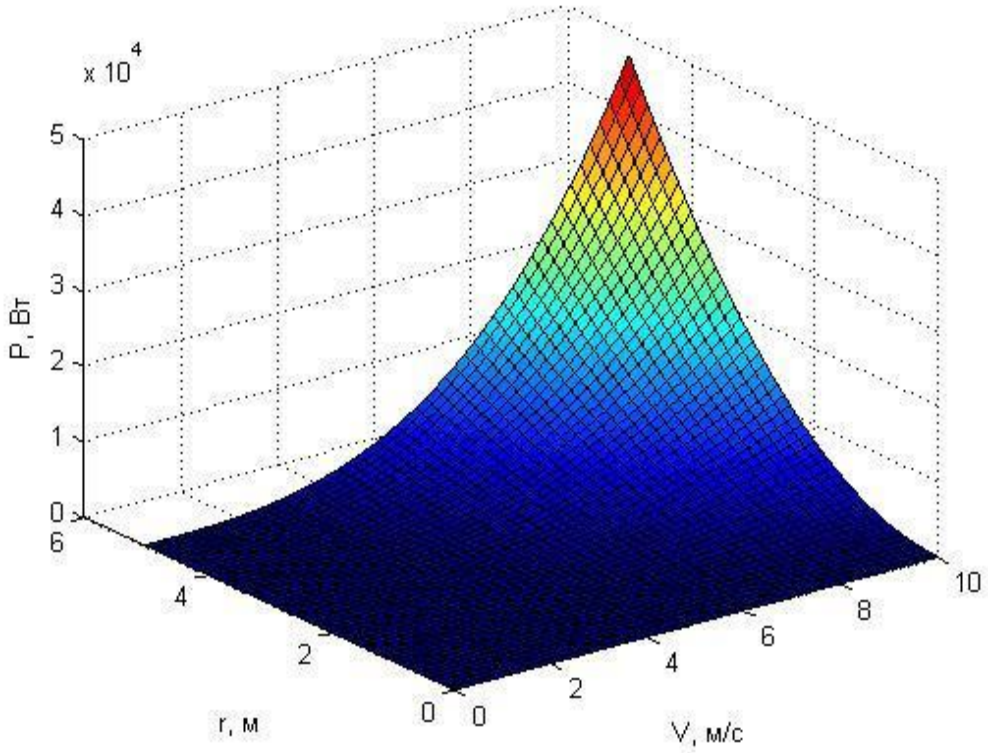
Побудовані графіки залежностей *P*($\vartheta\ \vartheta$ ), *P(r)*, *P*($\vartheta\ \vartheta$ ,*r)* приведені на Мал. 3.1, 3.2, 3.3.




Мал. 3.1. Графік залежності P(Вт) від V(м/с) при r=2 м




Мал. 3.2. Графік залежності P(Вт) від r(м) при V=4 м/с.




Мал. 3.3. Графік залежності P(Вт) від r(м) та V(м/с)

З малюнків 3.1 та 3.2 можна побачити, що графіки функцій рухаються монотонно вгору, без стрибків. Мають не лінійну залежність.

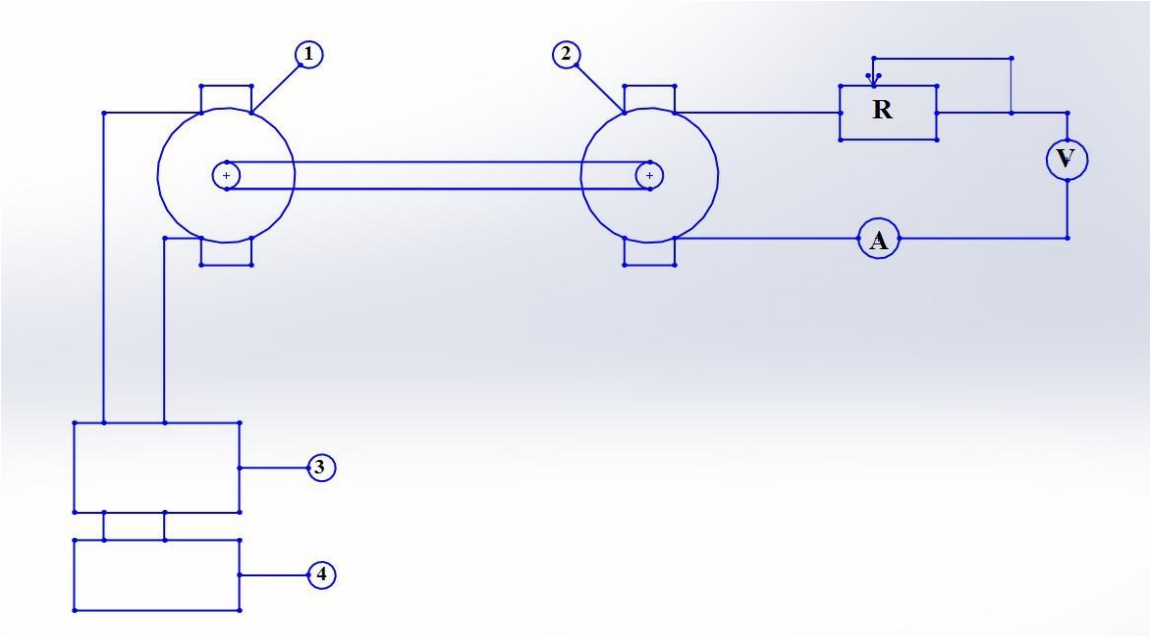
На малюнку 3.3 бачимо, що поверхня більш полога зі сторони r, це може значити, що потужність менше залежить від довжини лопаті ніж від швидкості вітру.

# 4. Постановка і проведення експериментів

## 4.1. Дослідження і оптимізація режимів роботи генератора для вітроустановки

На даному етапі дипломної роботи був збудований та протестований стенд(Стенд 1) для перевірки роботи генератора для вітроустановки.

Схема стенду 1 представлена на Мал. 4.1

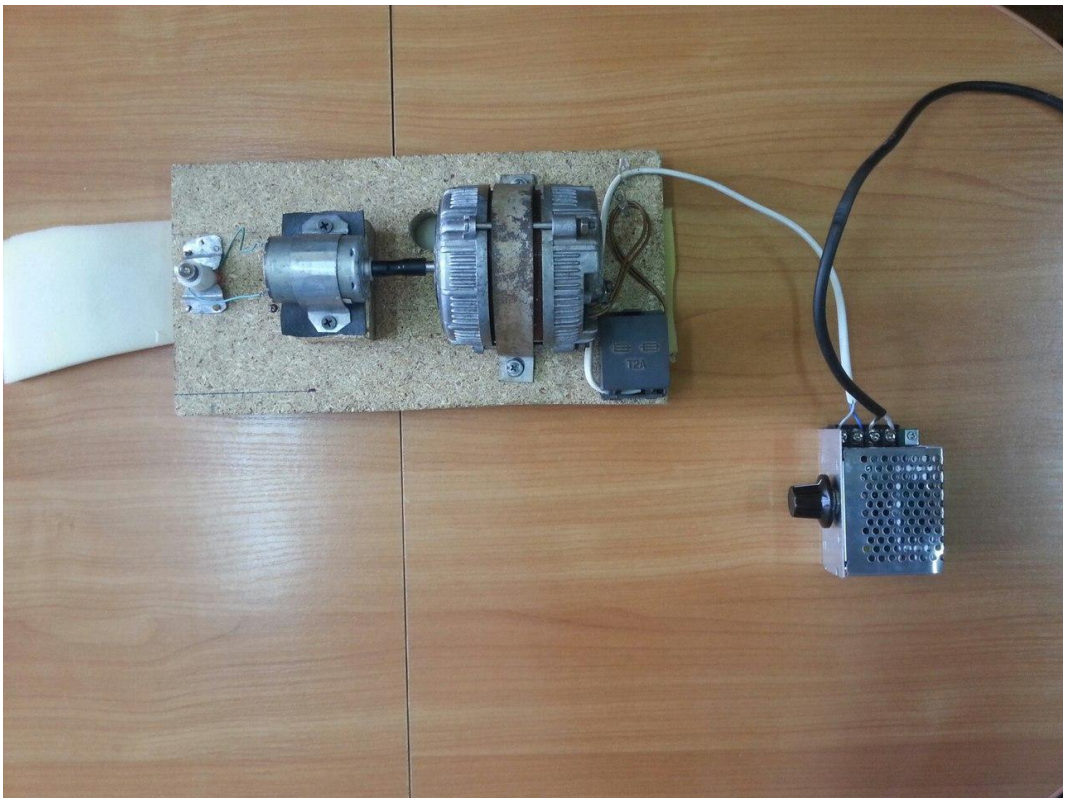



Мал. 4.1. Електрична схема експериментального стенду 1

До його складу входить:

1. Електродвигун
2. Генератор сталого струму
3. Регулятор оборотів
4. Блок живлення

Зовнішній вигляд стенду представлений на Мал. 4.2, 4.3



Мал. 4.2. Стенд 1 (вид зверху)



Мал. 4.3. Стенд 1 (вид збоку)

### 4.1.1 Технічні характеристики генератора

Напруга живлення 2.7-30 В

Струм короткого замикання 1.5 А

Максимальна напруга на виході 30 В

Розміри генератора (без редуктора):

- діаметр – 36 мм;
- висота – 50 мм;

Розміри редуктора:

- висота - 26 мм;
- довжина - 65 мм;
- ширина – 45 мм;

Зовнішній вигляд генератора без редуктора представлений на Мал. 4.4, зовнішній вигляд генератора з редуктором представлений на Мал 4.5.



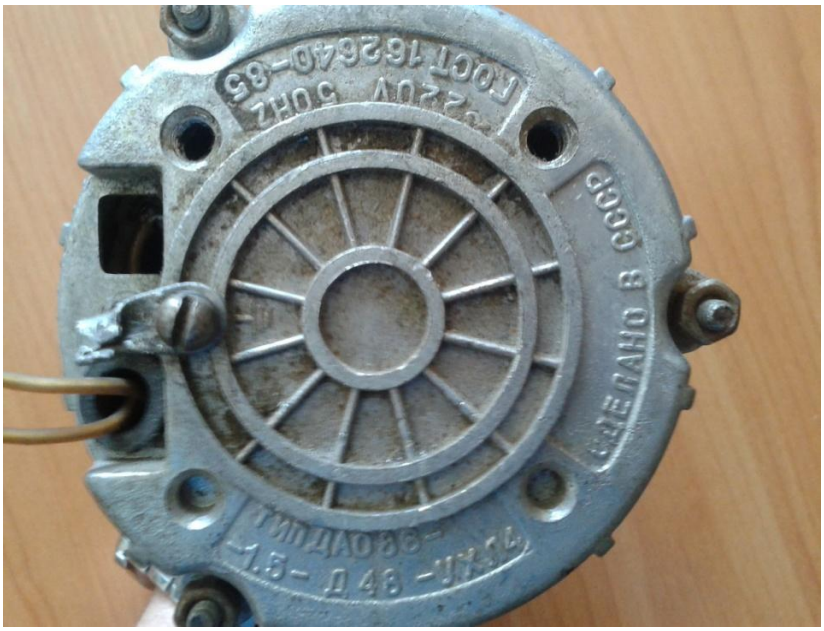
Мал. 4.4. Зовнішній вигляд генератора без редуктора



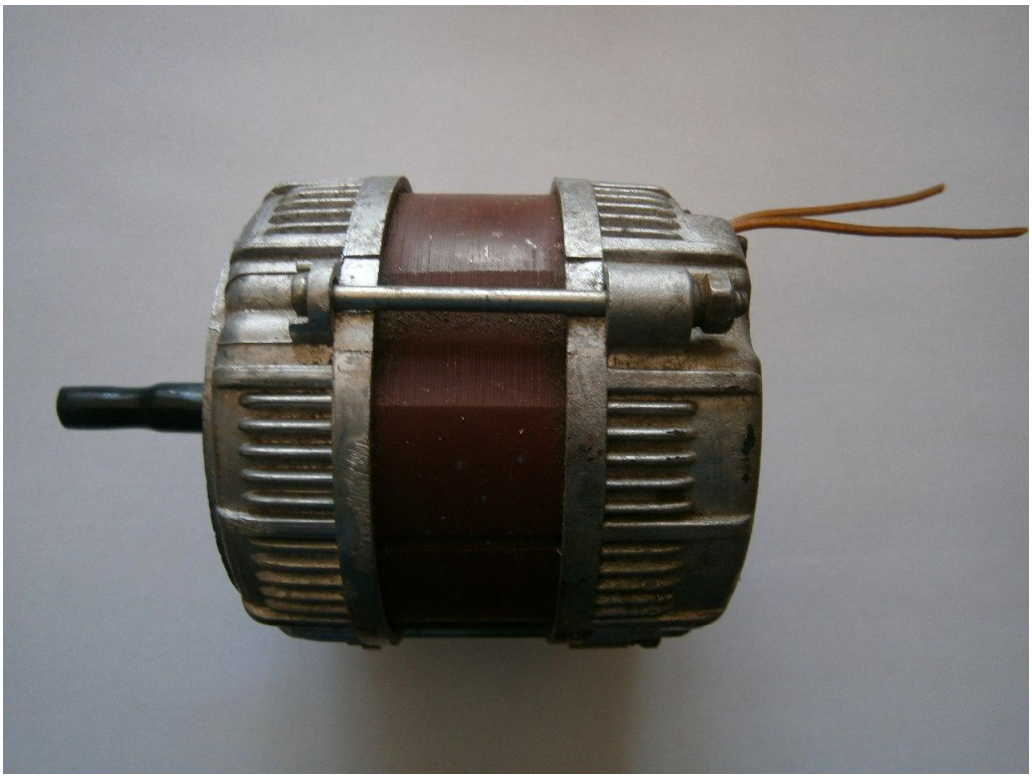

Мал.4.5. Зовнішній вигляд генератора з редуктором

### 4.1.2. Технічні характеристики електродвигуна

Використовуваний електродвигун - асинхронний однофазний. Модель ДАО86-1.5-Д48 (Мал. 4.6, Мал. 4.7)




Мал. 4.6. Зовнішній вигляд електродвигуна з технічними даними

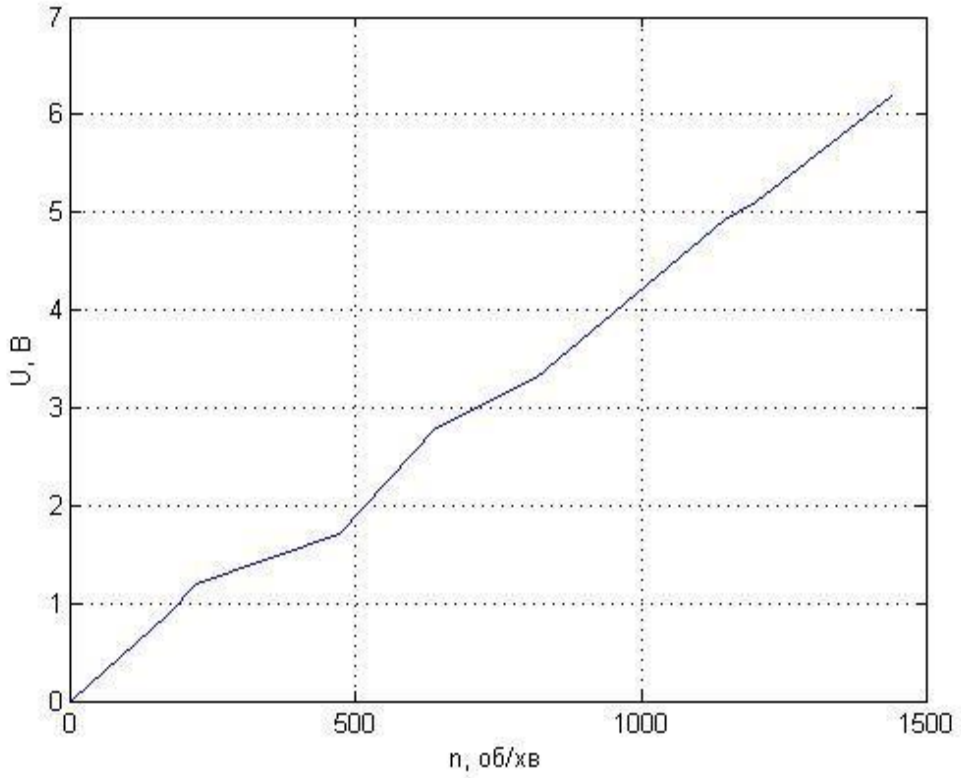


Мал.4.7. Зовнішній вигляд електродвигуна збоку

**Технічні характеристики електродвигуна**:

- Номінальна напруга живлення, В – 220;
- Номінальна частота живлення, Гц – 50;
- Номінальна потужність, Вт – 10;
- Частота обертання, об/хв – 1440;
- Номінальний струм, А – 0.25;
- Вага, кг –1.3;

Був побудований графік залежності напруги U(В) на виході з генератора від обертів на хвилину n(об/хв) (Мал. 4.8)




Мал 4.8. Графік залежності напруги від обертів на хвилину

З малюнку 4.8 можна побачити як графік зростає монотонно та має залежність дуже близьку до лінійної. Підвищуючи оберти від 0 до 1440 об/хв напруга зростає відповідно від 0 В до 6.2 В.

### 4.2. Розрахунок потужності вітрогенератора

Для виконання цього етапу дипломного проекту була створена таблиця з формулами EXCEL, яка дає можливість нам розрахувати потужність вітрогенератора, знаючи швидкість вітру та довжину лопасті. Приклад роботи зображений на Мал. 4.9. при V=6 м/с та r =2 м. Також програма працює і для находження потрібної довжині лопасті для отримання потрібної потужності.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Енергія вітру | | | | |
| 2 | Вхідні дані: | | позначення | значення | Од. вим. |
| 3 | 1 | Швидкість вітру | Vв= | 6 | м/с |
| 4 | | | | 21,6 | км/год |
| 5 | 2 | Час | t= | 1 | с |
| 6 | 3 | радіус лопасті | r= | 2 | м |
| 7 | 4 | густина повітря | Y= | 1,293 | кг/м^3 |
| 8 | 5 | ККД Вітроустановки | KKD= | 0,35 | - |
| 9 | Результати розрахунків | | позначення | значення | Од. вим. |
| 10 | 6 | Об'єм повітря | V= | 75,36 | м |
| 11 | 7 | маса повітря | m= | 97,44048 | кг |
| 12 | 8 | Кінетична енергія | T= | 1754 | Дж |
| 13 | 9 | Потужність вітрогенератора | N= | 613,8750 | Вт |
| 14 | 10 | Потужність вітрогенератора | N= | 0,6139 | КВт |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |

Мал. 4.9. Приклад роботи програми з першим набором параметрів

З мал. 4.9, бачимо, що маючи крило довжиною 2 м, та швидкість вітру 6 м/с, потужність буде близько 613 Вт, або, щоб отримати потужність майже 613 Вт нам потрібна лопасть довжиною 2 м.

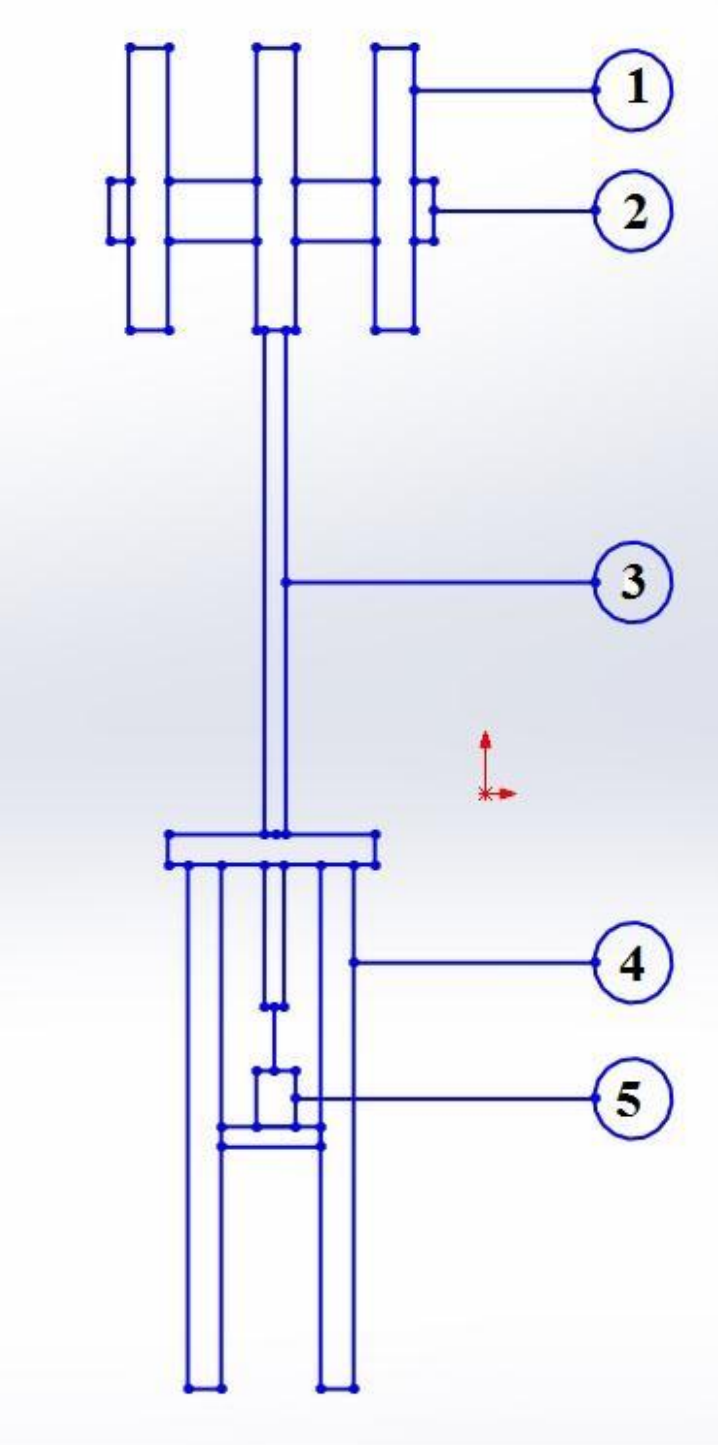
Фото розрахунків, якщо радіус лопасті дорівнює 1 м при швидкості повітря 5 м/с приведені на Мал. 4.10.

| | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Енергія вітру | | | | | |
| 2 | Вхідні дані: | | позначення | значення | Од. вим. | |
| 3 | 1 | Швидкість вітру | Vв= | 5 | м/с | |
| 4 | | | | 18 | км/год | |
| 5 | 2 | Час | t= | 1 | с | |
| 6 | 3 | радіус лопасті | r= | 1 | м | |
| 7 | 4 | густина повітря | Y= | 1,293 | кг/м^3 | |
| 8 | 5 | ККД Вітроустановки | KKD= | 0,35 | - | |
| 9 | Результати розрахунків | | позначення | значення | Од. вим. | |
| 10 | 6 | Об'єм повітря | V= | 15,7 | м | |
| 11 | 7 | маса повітря | m= | 20,3001 | кг | |
| 12 | 8 | Кінетична енергія | T= | 254 | Дж | |
| 13 | 9 | Потужність вітрогенератора | N= | 88,8129 | Вт | |
| 14 | 10 | Потужність вітрогенератора | N= | 0,0888 | КВт | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |

Мал. 4.10. Результати розрахунків з другим набором параметрів

### 4.3. Експериментальна установка вітрогенератора

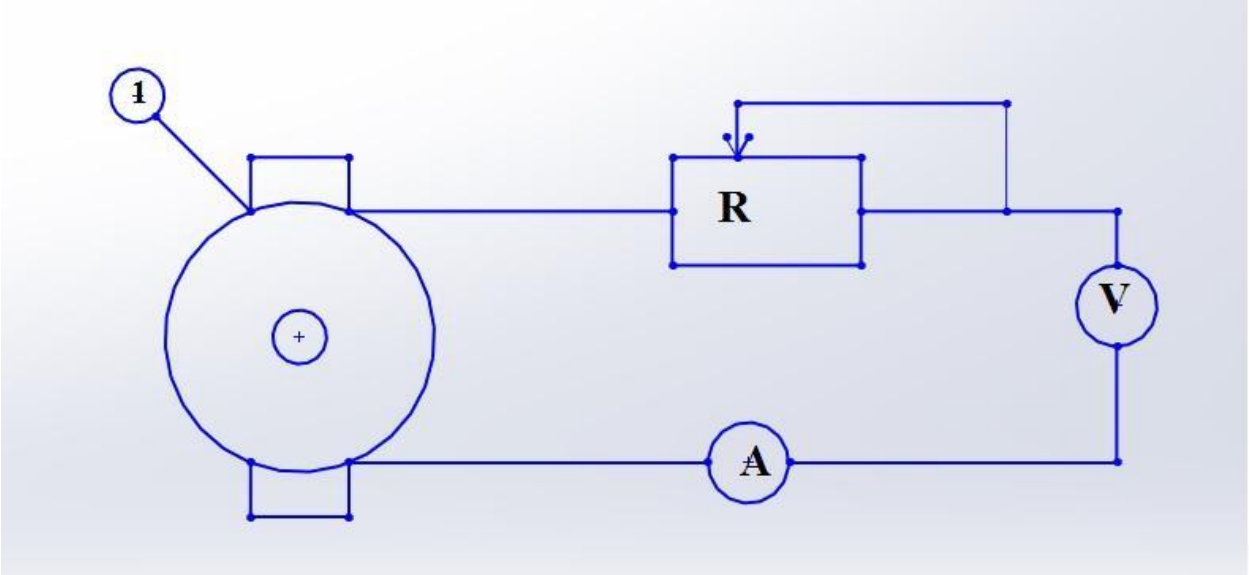
На цьому етапі дипломної роботи була спроектована і побудована працююча експериментальна установка вітрогенератора на основі ротора Дарьє (Стенд 2). 2-D модель її представлена на Мал.4.11. Електрична блок-схема представлена на Мал. 4.12. Для досліджувань був придбаний в КНР експериментальний вітрогенератор, який зображений на Мал. 4.13. Отримані результати напруги холостого ходу та потужності при визначеної швидкості вітру показані у таблицях 4.1, 4.2. відповідно.




Мал. 4.11. Схема стенду 2

Стенд 2 складається з наступних елементів:

1. Лопасть
2. Вітроколесо
3. Вісь обертання
4. Підпора для підйому вітроколеса на бажану висоту
5. Генератор




Мал. 4.12. Електрична схема стенду 2

Склад:

1. Вітрогенератор
2. Контрольно-вимірювальна апаратура (амперметр, вольтметр, анемометр).



Мал 4.13. Зовнішній вигляд вітрогенератора

**Таблиця 4.1**

**Отримана напруга холостого ходу при визначеної швидкості вітру**

| υ, швидкість вітру, м/с | U, напруга холостого ходу, В |
|---|---|
| 1 | 10,14 |
| 2 | 20,28 |
| 3 | 30,42 |
| 4 | 40,56 |
| 5 | 50,70 |
| 6 | 60,84 |

**Таблиця 4.2**

**Отримана потужність при визначеної швидкості вітру**

| N, номер експерименту | J , швидкість вітру, м/с | P, потужність, Вт |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 0,54 |
| 2 | 2 | 1,08 |
| 3 | 3 | 1,62 |
| 4 | 4 | 2,17 |
| 5 | 5 | 2,9 |
| 6 | 6 | 3,9 |

# 6. Висновки

У дипломній роботі розлоблена, виготовлена і випробувана оригінальна експериментальна установка і виконано дослідження динамічних характеристик вітрогенераційного пристрою вертикального типу при різних швидкостях вітру.

Зібраний оригінальний експериментальний стенд для дослідження режимів роботи генератора, який складається з: регулятора напруги, електродвигуна, блока живлення, генератора та контрольно-вимірюваної апаратури.

Виконані теоретичні розрахунки потужності вітрогенератора за допомогою комп'ютерної програми.

В результаті прямого експериментального дослідження встановлено, що ККД зібраної установки становить близько 20%. Напруга зібраного експериментального вітрогенераціоного типу, при середньої швидкості вітру на Харківщині, становить 3.9 Вт.

Таким чином, в дипломній роботі отримано ряд експериментальних результатів, які можуть бути використані в галузі альтернативної енергетики.

## Список літератури


1. Твайделл Дж., Уэйр А. Ветроэнергетика // Возобновляемые источники энергии. Renewable energy resources. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Видання Сибірського відділення Ран, Енергетичні характеристики ротора Дарьє, с.325-333
3. Титко Р., Калініченко В., Відновлюванні джерела енергії, с.287-341.
4. Патент Дарьє 1931р., переклад з англ.,[електронний ресурс], http://www.freepatentsonline.com/1835018.pdf
5. Кривцов В.С., Олейніков А.М., Яковлев А.І. Невичерпна енергія. кн.2 Вітроенергетика, 2004, с 396
6. Шефтер А.І., Рождественський І.В., Виробники о вітродвигунах і вітроустановках, 1967
7. Фатєєв Є.,М., Вітродвигуни і вітроустановки, 1948
8. Електронний ресурс, http://web.archive.org/web/20081114063749/http://www.awea.org/utility/pdf/Wind_and_Reliability_Factsheet.pdf
9. Енергія вітру. Міфи проти фактів, [електронний ресурс], переклад с англ., http://web.archive.org/web/20060131235323/http://www.awea.org/pubs/factsheets/050629_Myths_vs_Facts_Fact_Sheet.pdf
10. Сидорович В., Світова енергетична революція: Як відновлюванні джерела енергії змінять наш світ, -М., 2015, с .208
11. Фатєєв Є.М., Питання вітроенергетики. Збірник статей., 1959.
12. Де Рензо Д., Зубарєв В.В., Вітроенергетика, 1982.
13. Кажинський Б.Б., Вільнопоточні гідроелектростанції малої потужності, 1950, с 30-32.
14. Електронний ресурс, http://e-veterok.ru/rashet_vetrokolesa_vetrogeneratora.php

15. Лайбеш В.Г., Нетрадиційні та поновлюванні джерела енергії, 2003.
16. Кажинський Б.Б., Перлі С., Саморобна вітроелектростанція, 1956.
17. ІнтерСоларЦентр, Вітроенергетика, 2001.
18. Кажинський Б.Б., Бібліотека юного конструктора. Простіша вітроелектростанція, 1949.
19. Безруких П.П., Вітроенергетика, -М., 2010.
20. Алексєєв В.А., Міжнародна конференція по вітроенергетиці, електронна стаття с. 62-71.
21. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. – М.: Мир, 1991, т.1, 502с., т.2, 552 с.
22. Лойцянський Л.Г. Механіка рідини і газу. – М: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950.