

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка вітрогенератора для малих і середніх вітрів

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

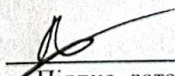
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 3 курсу
група ЕТс-22-2


Підпис


В. С. Касьяненко
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С. І. Пундик
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

О. Г. Тимошук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

2 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

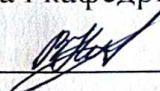
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


2.06.2025

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Касьяненко Владислав Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка вітрогенератора для малих і середніх вітрів

керівник роботи Пундик Сергій Іванович, к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи характеристики вітрогенератора

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка вітрового генератора. 3. Розрахунки вітрового генератора. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Види вітрогенераторів (ДО, А1). 2. Вітрогенератор. (К2, А1). 3. Вітрогенераторна установка (Е1, А1). 4. Вітрогенератор Оніпко (В3, А1). 5. Модель вітрогенератора (Д1, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв


7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури		
2. Розробка вітрового генератора		
3. Розрахунки вітрового генератора		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

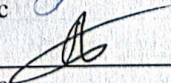
Студент

Підпис



Керівник роботи

Підпис



В.С. Касьяненко

Ініціали, прізвище

С.І. Пундик

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


1. Прізвище, ім'я та по батькові Касьяненко Владислав Сергійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка вітрогенератора для малих і середніх вітрів

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 56

5. Найбільш ефективним способом економії стає застосування альтернативних джерел енергії в домашніх умовах. До таких належить використання енергії сонця та вітру, а також потенціалу водних ресурсів та глибин земних надр. Однак серед найбільш багатобічючих трендів вирізняється вітроенергетика. Спорудження вітроустановок та їхнє впровадження у приватний сектор має надзвичайну актуальність, оскільки дасть змогу суттєво зменшити видатки на електропостачання. В бакалаврській роботі здійснюється розробка вітрогенератора для малих і середніх вітрів. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме вітрові генератори з горизонтальною та вертикальною віссю обертання. В другому здійснюється розробка вітрового генератора. В третьому розділі проведено розрахунки вітрового генератора.

Підпис студента 

" 2 " 06 2025 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 6 від "26" 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,0/5

Рекомендації ЕК —





Особливі відмітки —

Технічний секретар 

" 26 " 06 2025 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи.....	6
1.1 Вітрові генератори з горизонтальною віссю обертання	7
1.2 Вітрові генератори з вертикальною віссю обертання.....	13
1.3 Застосування вітровий генераторів у побуті.....	17
Висновки до першого розділу	19
2 Розробка вітрового генератора	20
2.1 Розробка кінематичної та електричної схем	20
2.2 Розробка вітрового генератора Оніпко.....	22
2.3 Вибір генератора	26
2.4 Розробка конструкцій вітрового генератора.....	27
Висновки до другого розділу.....	31
3 Розрахунки вітрового генератора.....	32
3.1 Розрахунок вітрового колеса	32
3.2 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталей	35
3.3 Визначення типу та методу виготовлення деталі	38
3.4 Розрахунок параметрів та технічних розмірів.....	41
3.5 Вибір інструменту та розрахунок режимів	47
Висновки до третього розділу	53
Висновки	54
Перелік джерел посилань.....	55

БРМА 25.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лист	Арк.	Архувів
Розроб.		Касьяненко В. С.				4	56
Перевір.		Пундик С. І.			ХНУ зр. ЕТс-22-2		
Реценз.		Тимошук О.					
Н. Контр.		Неймак В. С.					
Затверд.							

Розробка вітрогенератора для малих і середніх вітрів

ВСТУП

В умовах перманентного коливання цін, людська спільнота, безперечно, відчуває потребу в ощадливості. Найбільш ефективним способом економії стає застосування альтернативних джерел енергії в домашніх умовах. До таких належить використання енергії сонця та вітру, а також потенціалу водних ресурсів та глибин земних надр.

Однак серед найбільш багатообіцяючих трендів вирізняється вітроенергетика. Спорудження вітроустановок та їхнє впровадження у приватний сектор має надзвичайну актуальність, оскільки дасть змогу суттєво зменшити видатки на електропостачання.

Взаємозв'язок ефективності вітрових турбін і метеорологічних факторів. Відомо, що типова швидкість вітру для запуску типового вітрогенератора малої потужності коливається в діапазоні 3-5 м/с, тоді як на повну потужність він виходить за швидкості вітру 7-10 м/с.

Основними завданнями даної дипломної роботи є:

- здійснити аналітичний огляд вітрових електростанцій;
- зробити огляд конструкцій, що використовують вітрові електрогенератори для виробництва електроенергії;
- спроектувати кінематичну та електричну схеми вітрового генератора;
- сконструювати моделі, застосовуючи розроблений вітрогенератор.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

У цьому розділі представлено аналітичний огляд вітроенергетики.

З ускладненням екологічної ситуації на планеті та вичерпанням традиційних природних ресурсів, таких як вугілля, нафта і газ, перед людством постає необхідність пошуку альтернативних джерел енергії. Новітні енергетичні ресурси зобов'язані наповнювати енергією виробничі процеси, які перебувають у постійному поступі, але при цьому видобуток енергії не повинен руйнувати довкілля. Згідно з зазначеними критеріями, відповіддю є альтернативна енергетика:

- сонячна;
- вітряна;
- припливи і відпливи;
- тепло надр землі.

У контексті теми диплому зосередимося на дослідженні енергії вітру.

Використання вітру для продукування електроенергії постає як один з найбільш перспективних шляхів розвитку альтернативної енергетики. Принцип дії вітрових установок полягає в наступному: вітряк перетворює кінетичну енергію повітряних потоків у електричну. Основними компонентами є ротор, що приводить в рух генератор електрики, а також конструкції для їх розміщення та технічного обслуговування [1].

Існують дві основні різновиди вітрових турбін:

- з горизонтальною віссю обертання;
- з вертикальною віссю обертання.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Вітрові генератори з горизонтальною віссю обертання

Вітрові генератори пропелерного типу.

Вітровий генератор з горизонтальним ротором пропелерного типу – це піонери серед вітряків. Наразі вони є доволі популярними на планеті. Цей тип ротора відрізняється кількома позитивними рисами: легкістю виробництва, високим коефіцієнтом використання вітру, а також можливістю широкого регулювання кута атаки. Але ж має і мінуси: велика швидкість запуску, вітроелектростанція генерує значний гуркіт та вібрації під час функціонування.[3]



Рисунок 1.1 – Вітровий генератор пропелерного типу

Вітровий генератор, що орієнтується за напрямком вітру. Конструкція такого вітряка передбачає горизонтальну вісь обертання, а його вітроколесо

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вирізняється складністю, що позначається на ціні – вона вище середньої. Попри ці факти, вітровий генератор демонструє практичність: низький рівень шуму, безпечність та комфортні габарити, що робить його придатним для розміщення як у приватних оселях, так і в міському середовищі. Варто також відзначити, що до недоліків цього типу ротора можна зарахувати велику швидкість початку обертання.

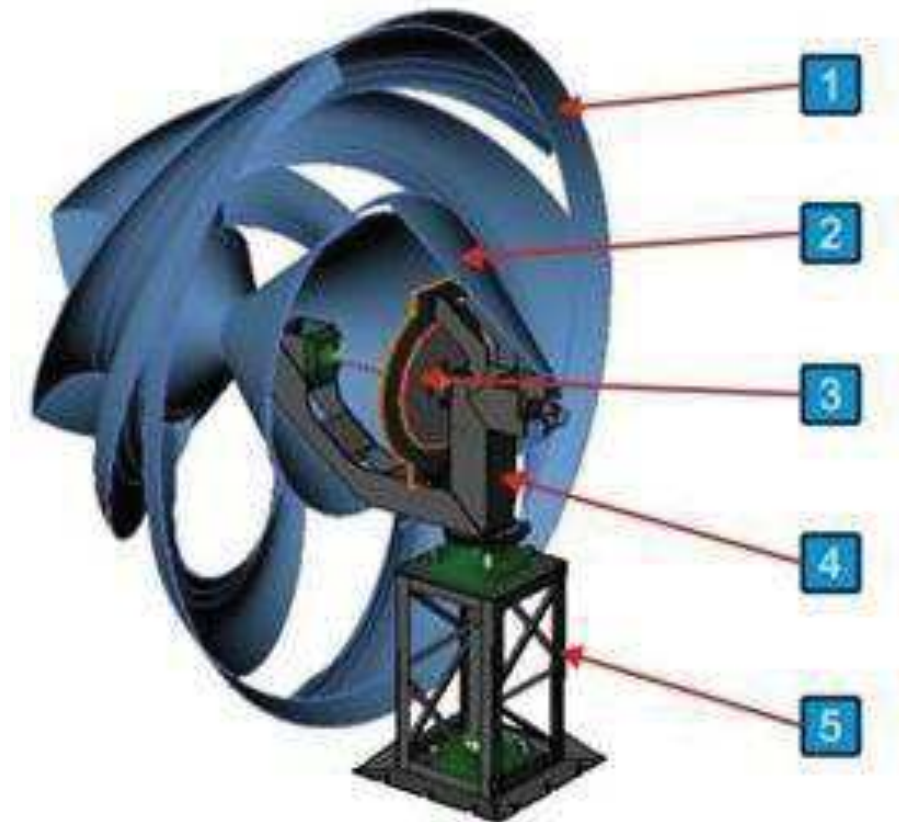


Рисунок 1.2 – Вітровий генератор, що орієнтується за напрямком вітру

Вітровий генератор Оніпко.

У цій моделі горизонтального вітровий генератора ротор виглядає як турбіна. Створення конструкції цього ротора потребує значних зусиль, що ускладнює можливість масового випуску цих вітрових електростанцій. Основний недолік даного ротора полягає у високій вартості виробництва, а також значній потребі у матеріалах. Як протипага цим недолікам, ротор характеризується невисокою швидкістю початку руху, мінімальним рівнем

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шуму та високим показником ефективності використання енергії вітру. [3]



Рисунок 1.3 – Вітровий генератор Оніпко

Вітровий генератор Energy Ball V100 – це куля, діаметром в один метр, здатна генерувати енергію, вирізняючись при цьому чудовим дизайном. Цей вітровий генератор було спроектовано саме для приватних помешкань. Він не створює незручностей, а навпаки, завдяки своєму привабливому вигляду, додає естетичної родзинки ландшафту вашої оселі. Виробництво електрики не турбує звуком, вітряк не затінює територію. Інша перевага цієї споруди - високий ККД. Цей вітряк має і свої мінуси: важкість у виробництві, що впливає на вартість, а також висока швидкість startу.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 – Вітровий генератор Energy Ball

Вітровий генератор Windtronics контурного типу. Він оснащений безредукторним ротором, що сприяє зменшенню механічного та лобового опору. Це досягається за рахунок інтеграції системи електрогенерації по всьому периметру. Система передбачає розташування постійних неодимових магнітів на кінцях лопатей, які плавно обертають повздож контуру з мідними котушками-статорами. Це дає змогу перетворити найбільшу кількість енергії вітру. Досягається це завдяки багатошаровим конструкціям міцних нейлонових лопатей та бічним закрилкам, що миттєво реагують на зміни швидкості та напрямку вітру. Цей тип вітрової установки характеризується надзвичайно повільним стартом. Варто відзначити й недоліки такого обладнання: труднощі з виробництвом, що зумовлює високу ціну вітрової генератора, значні розміри всієї конструкції та її вагу.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Контурний вітровий генератор Windtronics

Вітровий генератор вітрильного зразка.



Рисунок 1.6 – Вітровий генератор вітрильного типу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

11

Цей вітровий генератор є вдосконаленою версією пропелерного типу, якому притаманна одна суттєва вада: надто висока швидкість запуску. Розв'язанням цієї проблеми стає застосування вітрил зі спеціальної тканини на кожному крилі. Внаслідок специфічного устрою ротора, ця конструкція має кілька позитивних аспектів: незначну швидкість початку руху, невелику масу. Проте, є й негативний момент – низький коефіцієнт ефективності використання енергії вітру. Цей недолік нівелюють за рахунок збільшення розміру ротора до 5 метрів.

Вітровий генератор-дирижабль. Основною рисою, що вирізняє цей вітряк, є відсутність щогли. Вітряна енергосистема являє собою комбінацію дирижабля і пропелерного вітрового генератора. Вона має здатність підійматися на висоту до 300 метрів, де швидкість вітру значно перевищує показники біля земної поверхні. Цей ротор демонструє певні плюси та мінуси. Переваги: відсутність потреби у низькій стартовій швидкості, не займає багато місця на землі (щоглою чи загальними розмірами). Недоліки: складність у забезпеченні передачі електроенергії до землі та необхідність контролю за положенням вітрового генератора в повітряному просторі.



Рисунок 1.7 – Вітровий генератор дирижабль

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.2 Вітрові генератори з вертикальною віссю обертання

Вертикальний вітряк – це циліндр, який монтують на основу. Через свою форму він ефективно працює незалежно від того, звідки дме вітер. Незалежно від конструкції конкретного вертикального вітрового генератора, його спроектовано так, щоб тиск повітряного потоку на один бік був більшим, ніж на протилежний.

Ось загальні переваги та недоліки вітрових генераторів з вертикальною віссю:

- не потребують обладнання для відстеження напрямку вітру;
- всі ключові механічні компоненти розміщені в нижній частині вітрової турбіни, що забезпечує легкий доступ для сервісу;
- реальна можливість власноручного виготовлення робочого вітрового генератора з наявних матеріалів.

Недоліки:

- громіздкість: найлегші вертикальні вітряки важать не менше 300 кг, враховуючи опору;
 - незначна продуктивність порівняно з горизонтальними аналогами;
 - рівень шуму. Функціонуючий вітряк створює звуки від лопатей.
- Варто зауважити, що є декілька різних конструкцій вертикальних вітрових генераторів, кожна з унікальними плюсами та мінусами.

Вітровий генератор Савоніуса. Модель такого вертикального вітрового генератора складається з двох або більше лопатей, виконаних у формі половини кола. Тиск повітря на «відкриту» частину такого кола значно більший, ніж на зворотній бік. Простота конструкції робить його особливо привабливим для самостійного виготовлення серед вертикальних вітряків.

Основні вади: значна «парусність». Пориви вітру нагинають усю споруду, спричиняючи навантаження на вісь та призводячи до поломки підшипника, який забезпечує обертання всієї роторної частини.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

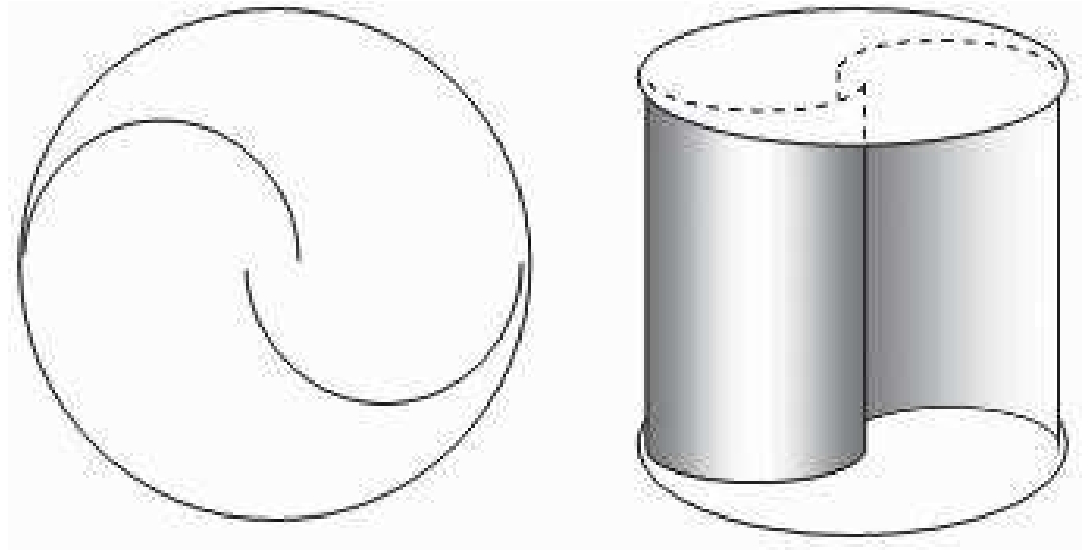


Рисунок 1.8 – Вітровий генератор Савоніуса

Вітровий генератор ортогональний. Існує багато варіацій такого вертикального вітрового генератора, проте його робочий принцип залишається незмінним. Обертання забезпечується формою лопатей, що нагадують крила. Коли повітряний потік взаємодіє з ними, виникає підйомна сила, яка змушує обертатися вісь.

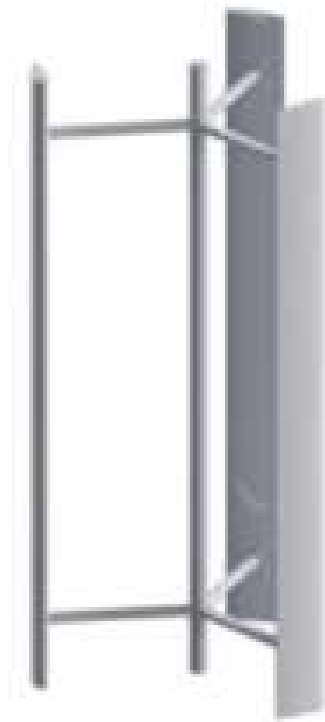


Рисунок 1.9 – Ортогональний вітровий генератор

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

Недоліки: на відміну від інших зразків, де звук створюють виключно частини, що обертаються (підшипники), вітровий генератор вертикального спрямування цього типу демонструє надмірний шум. Вібрації прискорюють знос підшипників та загалом усіх складових.

Вітровий генератор Дар'є – це вертушка з вертикальною віссю, що має одну, дві чи більше лопатей. Їх фіксують одним кінцем біля основи, а іншим – на верхівці осі, навколо якої вони обертаються. Недоліки такої конструкції: низька ефективність, шум, вібрація. Проте, вона відзначається швидкохідністю. [4]



Рисунок 1.10 – Вітровий генератор Дар'є

Гелікоїдний вітровий генератор. Цей вертикальний вітровий генератор має незвичайний вигляд, проте за суттю це ортогональний вітровий генератор з вертикальною віссю, лише лопаті у нього закручені по несучій осі, що помітно подовжує термін експлуатації усієї конструкції, оскільки забезпечується рівномірне навантаження на підшипники та щоглу з кожного боку. Вітровий генератор вертикального типу має один важливий мінус: важкість у виробництві, через це велика ціна.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.11 – Гелікоїдний вітровий генератор

Багатолопатевий вертикальний вітровий генератор. Зважаючи лише на комерційні зразки, цей тип ротора демонструє найвищу продуктивність та створює мінімальне навантаження на компоненти.

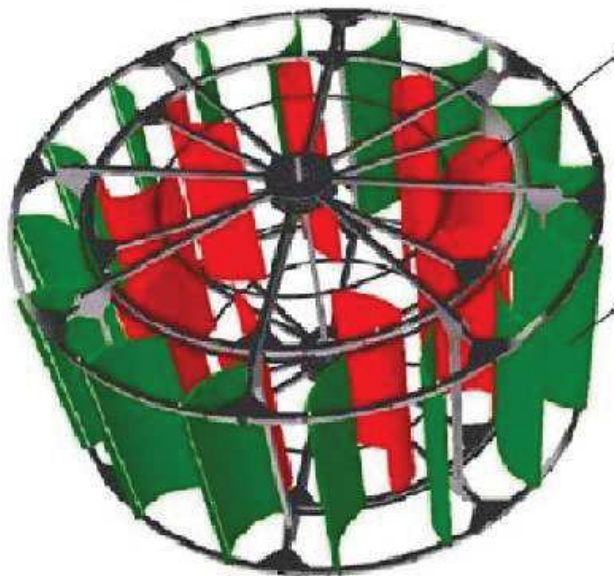


Рисунок 1.12 – Багатолопатевий вітровий генератор

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ззовні цього вертикального вітрового генератора розташовано ще один ряд нерухомих лопатей. Ці лопаті скеровують повітряний потік так, щоб ротор працював максимально ефективно. Є суттєвий мінус: пристрій дорогий через велику кількість дрібних деталей.

1.3 Застосування вітровий генераторів у побуті

У сьогоднішньому людстві зосереджене на заощадженні електроенергії, а найдієвішим шляхом є перехід на альтернативні джерела. У світі це вже давно практикується. Нерідко, дивлячись зарубіжні фільми, бачиш біля будинку щоглу з вітряком.



Рисунок 1.13 – Вітрові генератори у побуті

Здебільшого йдеться про вітряки з горизонтальною віссю, які страждають від однієї вади: високої швидкості початку руху.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, застосовуються ротори з вертикальними вісями обертання, але їм також притаманна нижча швидкість старту, аніж у горизонтальних аналогів.

Для збільшення ефективності використання альтернативних джерел енергії у приватних домогосподарствах, активно використовуються гібридні системи вітрових генераторів та сонячних батарей. Вітряк, як правило, монтується на високій вежі, тоді як сонячні панелі встановлюються на покрівлі будівлі.



Рисунок 1.15 – Гібридна установка у побуті

У такому розміщенні сонячних панелей показник корисної дії (ККД) не є високим, бо вони не змінюють свого положення і не мають регулювання кута нахилу. Такі системи демонструють свою ефективність у місцевостях, де сонячного світла вдосталь.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до першого розділу

Під час аналітичного дослідження наявних рішень з використання вітрових генераторів в приватних домогосподарствах виявлено певні вади. Зокрема, усі розглянуті ротори характеризуються високою номінальною швидкістю обертання. Це вимагає встановлення високих щогл, що пов'язано зі значними фінансовими витратами. У нашому проекті ці недоліки будуть визначені як проблеми, що потребують розв'язання.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						19
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 РОЗРОБКА ВІТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА

2.1 Розробка кінематичної та електричної схем

При аналізі кліматичних показників виникло рішення, що застосування сонячної енергії є економічно недоцільним, оскільки сонячних днів протягом року замало. З огляду на це, було прийнято рішення сконструювати тільки вітряний модуль для генерування електроенергії.

Для проектування вітрогенератора та його експлуатації було розроблено принципові кінематичну схему, представлену на рис. 2.1, та електричну схему, зображену на рис. 2.2.

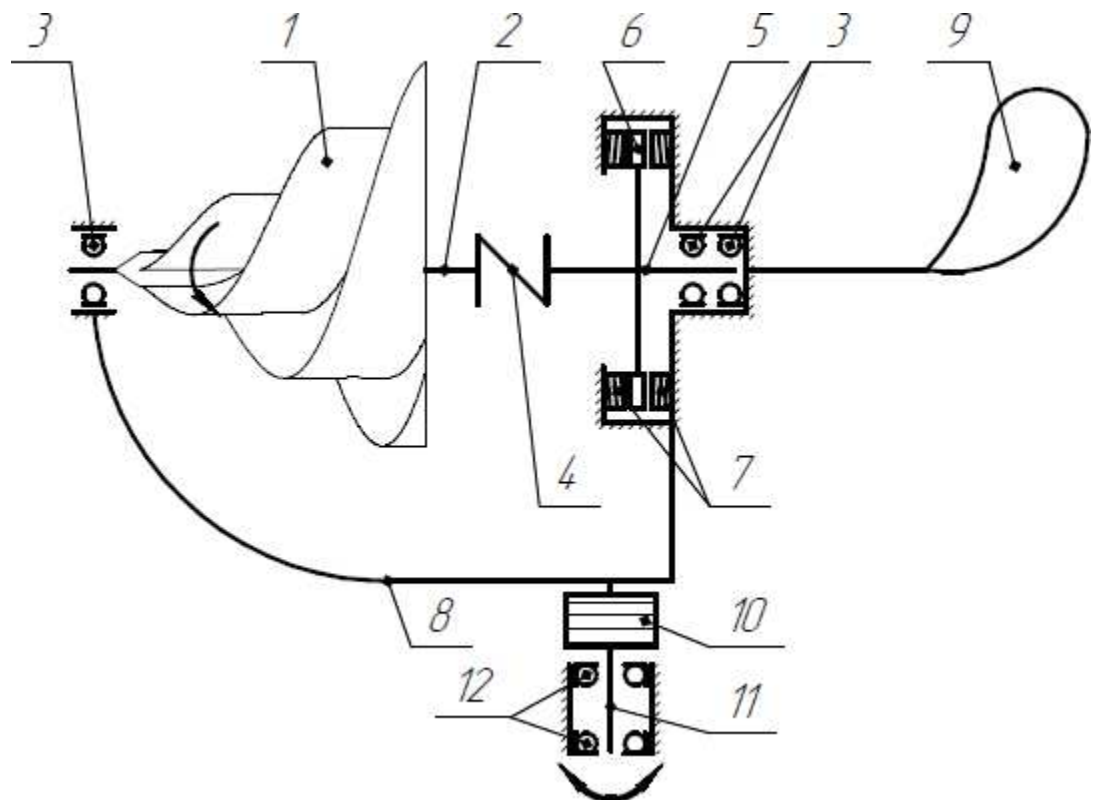


Рисунок 2.1 - Кінематична схема вітрогенератора

1 – ротор, 2 – вал ротора, 3 – радіальні підшипники, 4 – муфта, 5 – вал генератора, 6 – постійний магніт, 7 – котушка індуктивності, 8 – рама, 9 – флюгер, 10 – струмознімач, 11 – вал маточини, 12 – радіально-опорні підшипники

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

20

Для розробки вітрового генератора за основу було взято модель горизонтального ротора. Забезпечення оптимальної роботи вимагає міцного з'єднання валу з ротором, легкого обертання вала ротора та генератора з найменшим пусковим моментом. Ротор передбачається виготовити за типом Оніпко, з використанням трьох лопатей.

Вся ця система монтується на каркас. До нього кріпиться флюгер, що відповідає за орієнтацію вітрового генератора за напрямком вітру. Для обертання ротора конструктивно передбачено маточину, через яку відбуватиметься скручування кабелів, котрі виходять з генератора. Щоб уникнути цього ефекту, в системі використовується струмознімач.

Для функціонування установки необхідне спеціальне електрообладнання. Мінімальний перелік пристроїв, що забезпечують роботу:

- гібридний контролер заряджання – компонент, що керує функціонуванням системи та регулює процес заряду акумулятора;
- акумулятор – прилад для зберігання електроенергії.
- інвертор – прилад, що перетворює постійний струм в змінний.

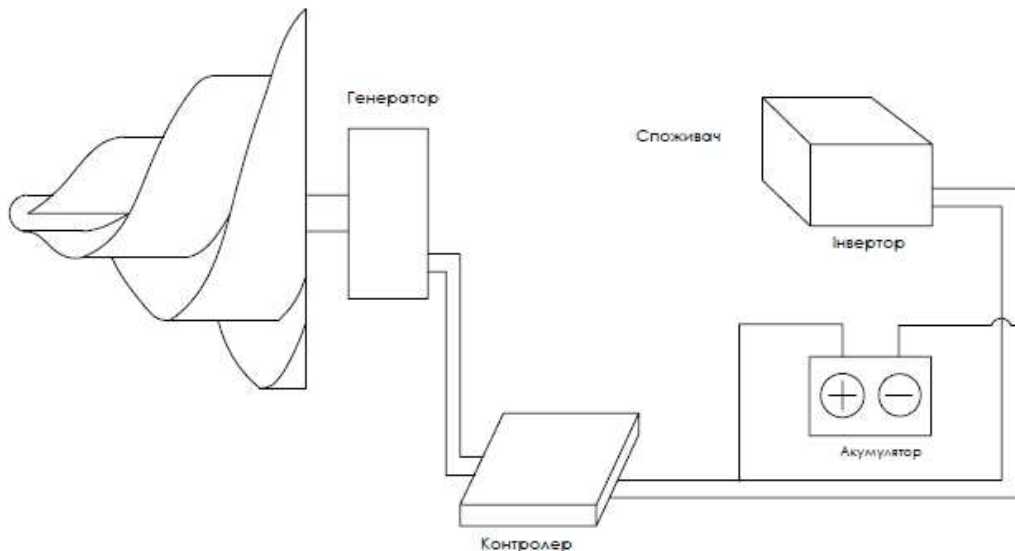


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова

Електрична схема містить генератор, контролер, акумулятор, інвертор. Ротор має перетворювати кінетичну енергію вітру на механічну енергію, що виявляється обертанням. Генератор, що виробляє постійну електричну напругу, перетворюючи механічну енергію, отриману від ротора, на електричну. Далі електроенергія прямує до контролера. Контролер слідкує за процесом заряджання та запобігає перевантаженню акумулятора. Після цього електрика здатна рухатися напругу до інвертора, обминаючи акумулятор, або ж накопичуватися в ньому. В інверторі відбувається процес перетворення: він робить з постійного струму змінний, а з напруги 12 вольт - 220. Після всіх цих перетворень, електрика стає готовою для використання у вашій оселі.

2.2 Розробка вітрового генератора Оніпко

Проектований вітровий генератор (рис. 2.3) має в собі кілька ключових складових: ротор, генератор, струмознімач і маточину. Додатково, передбачається створення спрощеної конфігурації вітрового генератора, що включатиме лише ротор та генератор, а це сприятиме полегшенню його інтеграції в різні конструкції.

Згідно з результатами аналітичного дослідження, було вирішено спроектувати горизонтальний ротор Оніпко. Таке рішення зумовлене не тільки його естетикою, але й технічними перевагами: низькою швидкістю запуску, високим коефіцієнтом використання вітрової енергії (КВЕВ), та безшумністю роботи. Виробництво ротора Оніпко планується з використанням склопластику. Вибір на користь цього матеріалу зроблено через його міцність та економічну доцільність.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

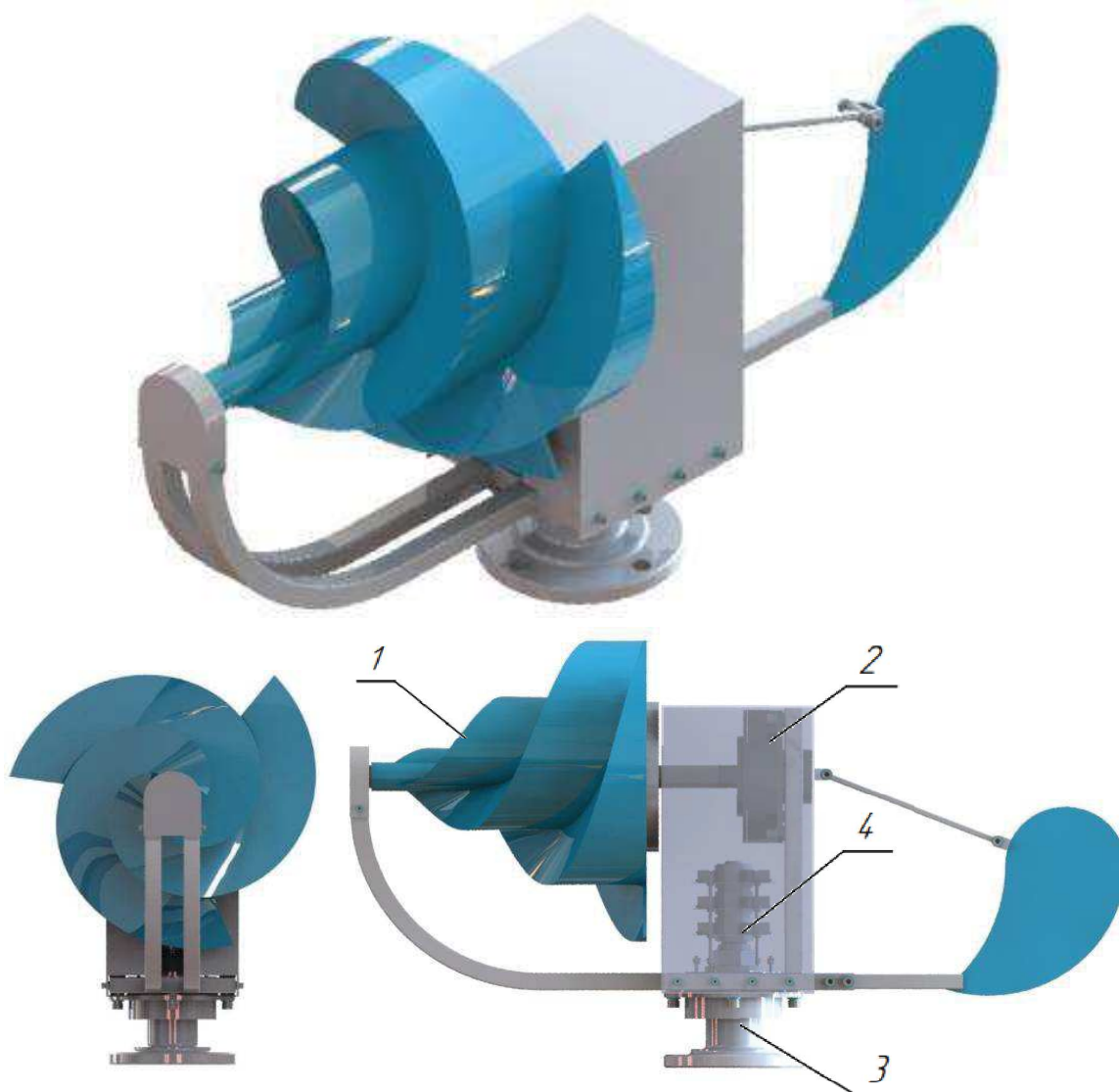


Рисунок 2.3 - Модель вітрового генератора

1 – ротор, 2 – генератор, 3 – маточина, 4 – струмознімач

Ротор кріпиться до валу (рис. 2.4) через квадратний отвір, що дозволяє передавати обертання від ротора до валу. Вал з'єднується з генератором (рис. 2.5) через муфту.

Конструкція розробленого вітрового генератора передбачає центральну частину (маточину), що відповідає за орієнтацію та обертання пристрою за напрямом вітру.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

23



Рисунок 2.4 - Вал ротора



Рисунок 2.5 - Генератор

Маточина (рис. 2.6) влаштована з рухливої та нерухомої частин, з'єднаних підшипниками, що гарантують плавне обертання. Фіксацію вузла забезпечує гайка.

Маточина складається з двох частин – рухомої та нерухомої. Між ними розташовані підшипники, що гарантують вільне обертання. Закріплює всю конструкцію гайка.

При обертанні вітрової турбіни дроти можуть скручуватися. Щоб уникнути цієї проблеми, було винайдено струмознімач (рис. 2.7). Він складається зі щіток, до яких приєднуються проводи від генератора. Щітки передають енергію на колектор. Звідти електрика передається дротами для подальшого використання.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

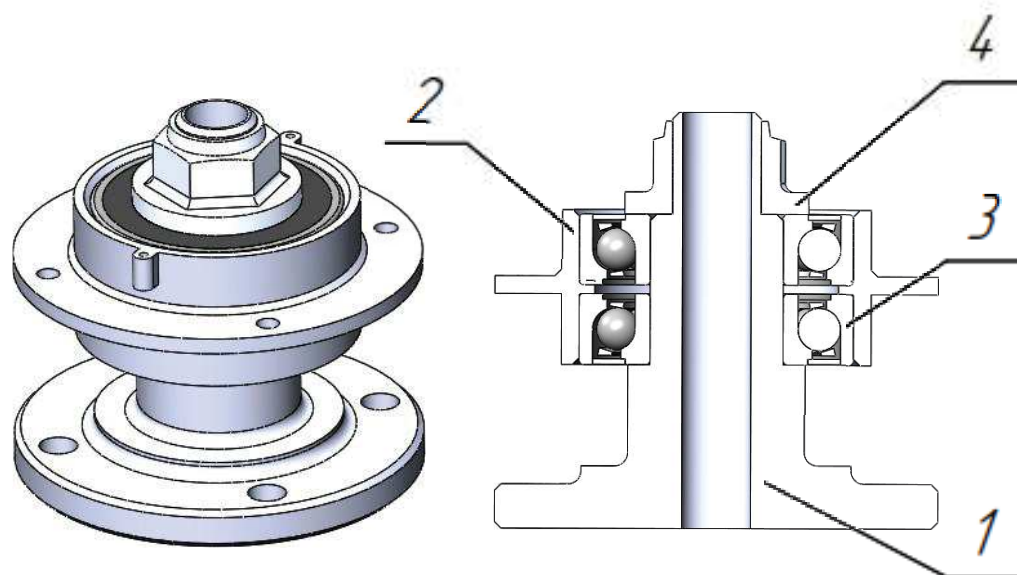


Рисунок 2.6 - Маточина

1 – нерухома частина, 2 – рухома частина, 3 – підшипник, 4 – гайка

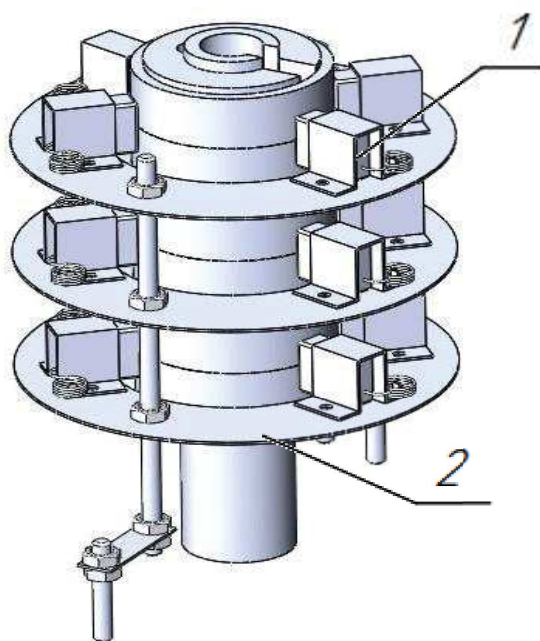


Рисунок 2.7 - Струмознімач

1 – щітка, 2 – колектор

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

25

2.3 Вибір генератора

При виборі електрогенератора було взято до уваги особливості роботи ротора Оніпко. Цей ротор може працювати як на низьких обертах, коли вітер слабкий, так і на високих обертах, якщо вітер сильний. Нам необхідний генератор, здатний заряджати акумулятор навіть при повільному обертанні. Враховуючи це, практичніше обрати генератор аксіального типу з постійними магнітами.

Вихідними параметрами для визначення генератора були: швидкість обертання валу, зусилля, необхідне для початку руху ротора, та довговічність.



Рисунок 2.8 - Генератор

Підібрано генератор на постійних магнітах Fengteng FT-200S з наступними показниками:

- маса: 3.4 кг;
- габарити: 115x115x57 мм;
- частота обертання: 200 об/хв;
- номінальна напруга: 12 В;
- потужність: 30 Вт;
- стартовий момент рушання: 0.1 Нм.

Вибір підшипника.

Вихідною інформацією для вибору підшипника стали діаметр посадки та величина навантаження, що виникає під час обертання деталей. Оскільки

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під час обертання виникають радіальні сили, було вирішено обирати радіально кулькові підшипники кочення згідно з ДСТУ 8338-75.

Вибір підшипника для місця посадки $d=12$ мм. Обрано підшипник типу 1000801, з такими параметрами:

- $m = 0,007$ кг;
- $d=12$ мм;
- $D=21$ мм;
- $B = 5$ мм;
- $r=0,5$ мм.

2.4 Розробка конструкцій вітрового генератора

Вітровий генератор на даху будинку.

Встановлення вітрових генераторів на даху будівлі надає декілька плюсів: вітрові турбіни знаходяться у найбільш захищеному від людей місці (виключено випадкові травми), конструкція розташована у найбільш відкритому та вітряному місці, крім того, вітрові генератори не знаходяться на рівні очей, тим самим практично відсутній вплив турбін, що обертаються, на психіку людини.

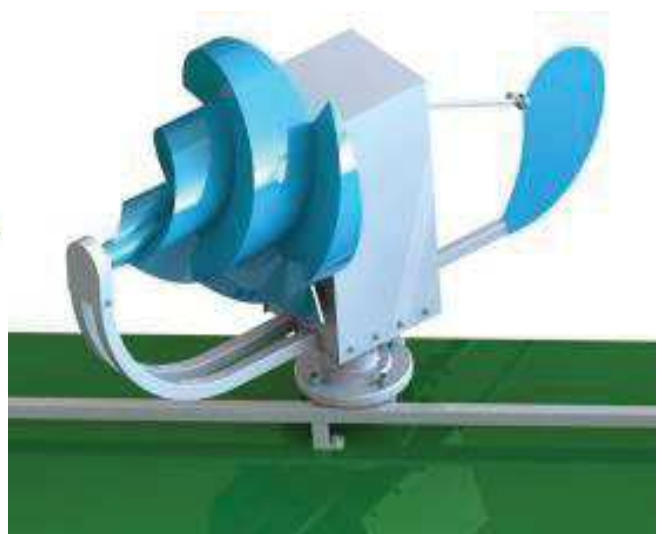


Рисунок 2.9 - Модель розташування вітрогенераторів на даху будинку

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як і у будь-якій справі, у цій конструкції є свої позитивні сторони та й негативні. Димоходи, що зазвичай розташовані на даху, можуть викликати вихори повітря, що здатні зменшити ефективність роботи ротора. Отже, розміщуючи вітровий генератор на даху, важливо враховувати це, а також брати до уваги особливості самої дахової конструкції, котра при невдалому розташуванні вітрових генераторів також здатна створювати перешкоди.

З огляду на ці обставини, було створено концептуальну модель, передбачаючи встановлення вітрового генератора Оніпко на даху будівлі.

Вітрові генератори Оніпко монтуються на спеціальну платформу, яку за допомогою шурупів фіксують до каркасу даху будівлі, а самі вітрові генератори кріпляться до платформи гвинтовими з'єднаннями. Число вітрових генераторів у конструкції може варіюватися залежно від потреб у електроенергії.

Одним із найпоширеніших місць для відпочинку в приватних будинках є альтанка, особливо у літню пору. Встановлення вітрового генератора в альтанці може мати не лише практичне застосування, а й виступати оригінальним дизайнерським акцентом, що, безсумнівно, є великою перевагою такої конструкції. При розміщенні вітрових турбін на покрівлі альтанки, слід враховувати особливості її конструкції та монтувати вітрові генератори таким чином, щоб дах якомога менше перешкоджав потоку вітру до лопатей. Додатково радиться встановлювати альтанку якнайдалі від дерев, оскільки вони стають не тільки фізичною перепоною для вітру, а й сприяють утворенню вихорів. Як один з можливих способів інтеграції вітрового генератора у альтанку, була запропонована конструкція, зображена на рис. 2.10. Вітрові турбіни фіксуються за допомогою болтів до спеціальних труб, які приварені до самої альтанки. Цей дизайн характеризується простотою монтажу та приємним зовнішнім виглядом.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.10 - Модель освітлення альтанки

Одним з ключових завдань приватного сектора є освітлення території біля оселі або на самому подвір'ї. Для досягнення цієї мети існує також можливість без проблем застосовувати малопотужні вітроелектричні генератори.

В рамках дипломної роботи було спроектовано систему розташування вітрових турбін на огорожі земельної ділянки. Завданням було забезпечення декоративного освітлення території навколо будинку. У розробленій конструкції вітрові генератори кріпляться на спеціальних опорах, що інтегровані в саму огорожу. На рисунку 2.11 зображено розроблену модель. Щоб ця споруда функціонувала результативно, важливо брати до уваги позицію довколишніх дерев, що ростуть; чим далі розташовані дерева від вітрових генераторів, тим незначніші турбулентності вони будуть генерувати.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.11 - Прибудинкове освітлення

Квітка з вітрових генераторів.

Ця розробка – це спроба поєднати принципи роботи малих вітроустановок в одну велику систему. Мета досягається завдяки створенню спільного флюгера. Він обертає центральну опору, що служить "серцевиною квітки". На цій опорі закріплені самі вітрові генератори, котрі виконують роль "пелюсток".

Цей винахід заслуговує на звання найбільш вдалого серед усіх запропонованих, адже вітрові генератори розміщено на опорі (стовбурі), яка підносить їх у простір з вільним доступом вітру, і єдине, що може створити їм перешкоди – це хіба що дерева. За умови правильного розташування, вплив зовнішніх факторів на установку буде мінімальним.

Квітка з вітрових генераторів є дивовижною та може знайти своє місце не лише вдома або на дачі, а й потенційно в паркових зонах міста. На

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зображенні показано конструкцію цієї квітки, що перетворює вітер на енергію.



Рисунок 2.12 - Квітка – вітровий генератор

Висновки до другого розділу

Було спроектовано вітровий генератор Оніпко, а також конструкції, що ілюструють його застосування в аграрних умовах. У майбутньому планується випуск експериментального зразка ротора Оніпко задля перевірки та доопрацювання представлених обчислень та конструкції ротора.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНКИ ВІТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА

3.1 Розрахунок вітрового колеса

Осердям вітрової установки є вітрове колесо. Саме воно трансформує кінетичну енергію повітряного потоку на механічну енергію. Розглянемо вітрове колесо з горизонтальною віссю обертання.

Воно може бути оснащено однією чи кількома лопатями, що кріпляться під певним кутом до площини обертання вітрового колеса. Вітряк може бути швидким або повільним. У залежності від діаметра та числа лопатей, кількість обертів вітряка за однакової швидкості вітру буде різною. Цей параметр називається швидкістю вітряка та визначається як відношення лінійної швидкості кінця лопаті до швидкості вітру.

Оберемо швидкість, зважаючи на число лопатей:

- 1 лопатеве вітроколесо $Z = 9,0$;
- 2 лопатеве вітроколесо $Z = 7,0$;
- 3 лопатеве вітроколесо $Z = 5,0$;
- 6 лопатеве вітроколесо $Z = 3,0$;
- 12 лопатеве вітроколесо $Z = 1,2$.

У процесі роботи було вирішено виготовити класичний трьохлопатевий ротор Онішко. Його швидкісний показник має значення 5.

За вказаною нижче формулою обчислимо приблизний радіус вітряка:

$$R = \frac{30 \times Z}{\pi \times v \times V}, \quad (3.1)$$

де Z – швидкохідність конструкції вітроколеса;

v – частота обертання вітроколеса, що відповідає частоті генератора;

V – швидкість вітру;

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R – радіус ротора.

$$R = \frac{30 \times 5}{3.14 \times 200 \times 2} = 0.12 \text{ м,}$$

Зважаючи на проект ротора, було вирішено спроектувати ротор, що має діаметр 250 мм.

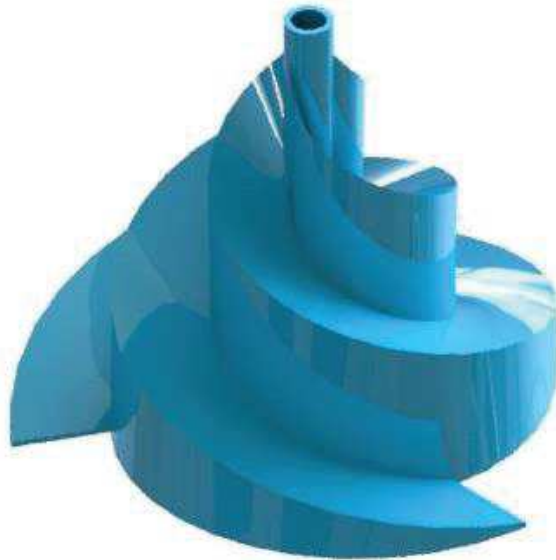


Рисунок 3.1 – Ротор

Формула для визначення потужності ротора:

$$P = \frac{КВЕВ \times \rho \times V^3}{2 \times \pi \times r^2}, \quad (3.2)$$

де $КВЕВ \approx 0.7$ – коефіцієнт використання енергії вітру;

$\rho = 1,225$ – щільність повітря, одиниця виміру – $[кг/м^3]$;

$r = 0,125$ радіус ротора, одиниця виміру - $[м]$;

V – швидкість вітру, одиниця виміру – $[м/с]$.

Прийmemo швидкість вітру 2 м/с.

$$P = \frac{0.7 \times 1.225 \times 2^3}{2 \times 3.14 \times 0.125^2} = 70 \text{ Вт},$$

Розрахунок кутової швидкості установки:

$$\omega = \frac{\pi \times \nu}{30}, \quad (3.3)$$

де ω – кутова швидкість ротора,

ν - частота обертання ротора.

Розрахунок частоти обертання ротора:

$$\nu = \frac{30 \times Z}{\pi \times R \times V} = \frac{30 \times 5}{3.14 \times 0.125 \times 2} = 191 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

Тоді кутова швидкість ротора дорівнюватиме:

$$\omega = \frac{3.14 \times 191}{30} = 20 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (3.4)$$

Розрахунок моменту сили обертання:

$$P = M \times \omega, \quad (3.5)$$

де P - механічна потужність ротора;

M - момент сили обертання;

ω – кутова швидкість ротора.

Звідси момент дорівнюватиме:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = \frac{P}{\omega}, \quad (3.6)$$

Тоді момент дорівнюватиме:

$$M = \frac{70}{20} = 3.5 \text{ Нм},$$

В результаті здійснених обчислень було визначено параметри ротора: механічна потужність становить 70 Вт, момент сили, що обертає ротор, досягає 3,5 Нм, частота обертання зафіксована на рівні 191 об/хв. Після цього необхідно приступити до вибору генератора.

3.2 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталей

Першочерговим вихідним параметром при проектуванні технологічних процесів був тип виробництва. Створення технологічного процесу для виготовлення деталі пов'язано з низкою складнощів: у кожній ситуації потрібно розв'язувати комплексні багатопараметричні завдання, враховуючи безліч критеріїв.

В залежності від виробничих умов та цілі створення технологічного процесу, що розробляється, використовуються різноманітні види і форми технологічних процесів. Визначення виду технологічного процесу залежить від обсягу випуску виробів, які охоплюються цим процесом. В цьому проекті, технологічний процес відноситься до дрібносерійного виробництва - технологічний процес, спрямований на виготовлення виробу одного й того ж найменування, типорозміру та конструктивного виконання.

Креслення деталі зображено на рис. 3.2.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

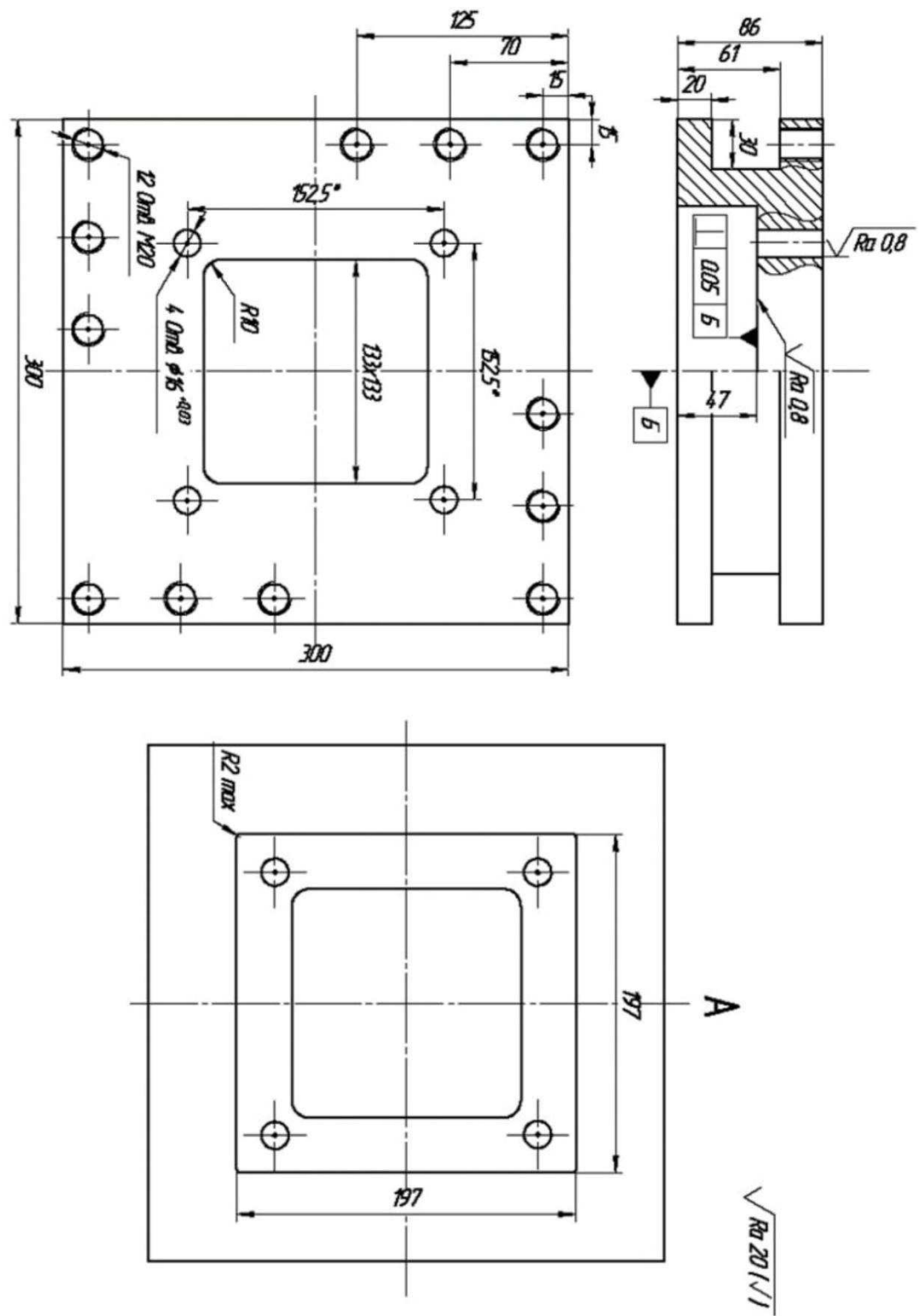


Рисунок 3.2 – Креслення деталі

В процесі дипломного проектування, подібно до реальних виробничих обставин, кожна конструкція (машина, агрегат, деталь) вимагає ретельного

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

вивчення. Завдання цього аналізу – знайти недоліки конструкції на основі даних, вказаних у кресленнях і технічних умовах, а також потенційне поліпшення технологічності об'єкту.

Технологічний контроль креслень передбачає їх детальне дослідження. Робочі креслення деталей, що підлягають обробці, зобов'язані містити всю інформацію, необхідну для повного розуміння деталі, а саме: всі проєкції, розрізи та перерізи, які зрозуміло та недвозначно визначають її форму та можливі варіанти виготовлення заготовки. На кресленні слід зазначити усі габарити з необхідними похибками, класи чистоти поверхонь, що підлягають обробці, припустимі відхилення від ідеальних геометричних форм, а також взаємного розташування площин. Креслення повинно вміщувати всю потрібну інформацію щодо матеріалу деталі, термічної обробки, захисних та декоративних покриттів, які було використано, ваги деталі та інше. Відтак, технологічний контроль є ключовим етапом проектування технологічних процесів і часто сприяє виявленню та уточненню згаданих вище факторів.

Технологічний аналіз конструкції сприяє вдосконаленню техніко-економічних характеристик технологічного процесу, який проектується. Відтак, технологічний аналіз є ключовим етапом технологічної розробки, включаючи й дипломне проектування.

Аналізуючи цю деталь, варто виокремити кілька моментів:

- 1) усі габарити, а також потрібна точність, досягаються за допомогою обладнання, що є у наявності з технологічної точки зору;
- 2) поверхні, які підлягають обробці, є легкодоступними для різальних інструментів.

З огляду на технологічність, негативними чинниками є:

- 1) пропорції $\frac{l}{D} \ll 1$ та $\frac{l}{D} \ll 10$;
- 2) присутність конічної площини;
- 3) значна шорсткість певних ділянок.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3.3 Визначення типу та методу виготовлення деталі

Головним критерієм при підборі заготовки є гарантія потрібної якості кінцевої деталі при мінімально можливій собівартості. Собівартість виробу визначається сумою вартості заготовки згідно калькуляції заготівельного підрозділу та витрат на її подальшу обробку до досягнення зазначених в кресленні вимог до якості. Вибір заготовки обумовлюється формою і розмірами деталі, вихідним матеріалом, типом та видом виробництва, а також наявністю необхідного обладнання.

Існують різноманітні методи отримання заготовок. Дрібносерійне виробництво відзначається тим, що значна частина металу перетворюється на стружку, у зв'язку з чим форма заготовки суттєво відрізняється від форми готового виробу.

Вивчаючи технічну документацію, робимо висновок: найефективніший метод формування вихідного матеріалу – прокатування.

Заготовкою беремо сортовий гарячекатаний прокат круглого перерізу зі сталі марки Сталь 45, діаметром 56 мм, звичайною точністю виготовлення, згідно з вимогами ДСТУ 2590-71.

У даному контексті, застосовуючи сортовий прокат як вихідний матеріал, його форма та габарити будуть суттєво наближені до параметрів кінцевої деталі. Крім того, гарячекатаний сортовий прокат характеризується гомогенною структурою, що сприяє збереженню стабільних механічних характеристик матеріалу.

Окрім прокату, як варіант, застосовують штампування з сортового прокату для виготовлення заготовки. Це дозволить створити заготівлю, що за своєю формою максимально відповідатиме готовій деталі.

Згідно з поставленим завданням, слід здійснити розрахунок припусків на обробку та проміжних граничних розмірів для лінійного розміру, що має позначення 86k7.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заготовка буде отримана методом лиття у піщані форми. Технологічна послідовність обробки цього розміру охоплює три технологічні операції.

Оскільки заготівля розміщується на пласкій поверхні, похибку встановлення та закріплення вважаємо такою, що дорівнює нулю, і не включаємо її до розрахунків.

Для заготівельної операції вибираємо параметри Rz і T .

Під час обробки призми ρ_{Σ} визначається:

$$\rho_{\Sigma} = \rho_{\text{кор}}, \quad (3.1)$$

Розрахунок загального відхилення осі від прямолінійності:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{кор}} &= \Delta_K \times l_K, \\ \rho_{\text{кор}} &= 1.5 \times 86 = 130 \text{ мкм}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

Залишкова просторова деформація поверхонь заготовки після їхньої обробки визначається таким виразом:

$$\rho_{\Sigma i-1} = K_y \times \rho_{\Sigma}, \quad (3.3)$$

Де коефіцієнт уточнення $K_y = 0,06$;

Для чорнового фрезерування:

$$\begin{aligned} \rho_{\Sigma i-1} &= 0,06 \times 130 = 8 \text{ мкм}, \\ \rho_{\Sigma i-1} &= 0,06 \times 8 = 0.5 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

Для чистового фрезерування:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,04 \times 0,5 = 0,02 \text{ мкм,}$$

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,04 \times 0,02 = 0,0008 \text{ мкм,}$$

Для попереднього шліфування:

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,03 \times 0,0008 = 0,000024 \text{ мкм,}$$

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,03 \times 0,000024 = 7,2 \times 10^{-6} \text{ мкм,}$$

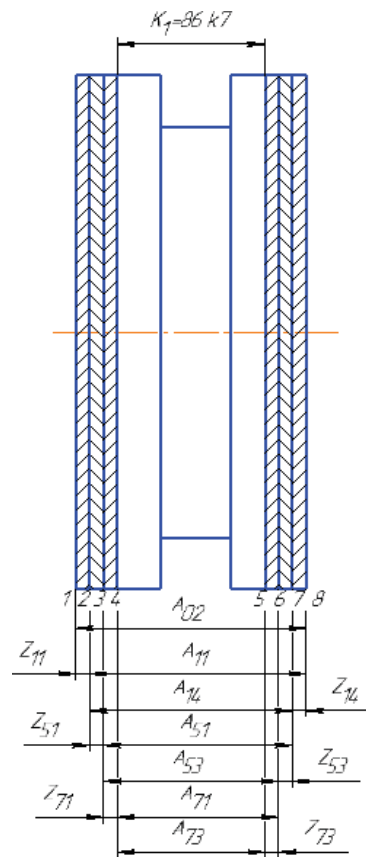


Рисунок 3.2 - Розмірна схема технологічного процесу виготовлення
ПЛИТИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3.4 Розрахунок параметрів та технічних розмірів

Для Z_{73} :

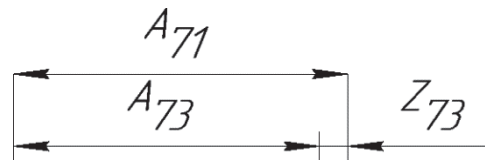


Рисунок 3.3 - Технологічна розмірна схема для припуску Z_{73}

A_{73} – розмір збігається з конструкторським розміром.

Приймемо замикаючу ланку Z_{73} зменшуючою, тоді й A_{73} ланк розмірного ланцюга буде зменшуючою, а ланка A_{71} буде збільшуючою.

Визначимо значення розміру A_{71}^{min} з рівнянь:

$$Z_{73} = A_{71} - A_{73}, \quad (3.4)$$

$$Z_{73}^{min} = A_{71}^{min} - A_{73}^{max}, \quad (3.5)$$

$$A_{71}^{min} = Z_{73}^{min} + A_{73}^{max}, \quad (3.6)$$

$$A_{71}^{min} = 0.03 + 86.038 = 86.068 \text{ мм},$$

Визначимо максимальний припуск для даної операції Z_{73}^{max} :

$$Z_{73}^{max} = A_{71}^{max} - A_{73}^{min}, \quad (3.7)$$

$$Z_{73}^{max} = 86.128 - 86.003 = 0.125 \text{ мм},$$

Визначимо номінальний припуск для даної операції $Z_{73}^{НОМ}$:

$$A_{71}^{НОМ} = 86.128_{-0.06} \text{ мм},$$

$$Z_{73}^{НОМ} = A_{71}^{НОМ} - A_{73}^{НОМ}, \quad (3.8)$$

$$Z_{73}^{НОМ} = 86.128_{-0.06} - 86_{+0.003}^{+0.038} = 0.128_{-0.098}^{-0.003}$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для Z_{71}

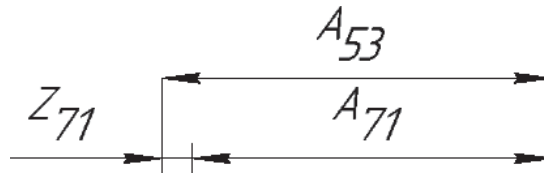


Рисунок 3.4 - Технологічна розмірна схема для припуску Z_{71}

Приймемо замикаючу ланку Z_{71} зменшуючою, тоді і ланка розмірного ланцюга A_{71} буде зменшуючою, а ланка A_{53} буде збільшуючою.

Визначимо значення розміру A_{53}^{min} з рівнянь:

$$Z_{71} = A_{53} - A_{71}, \quad (3.9)$$

$$Z_{71}^{min} = A_{53}^{min} - A_{71}^{max}, \quad (3.10)$$

$$A_{53}^{min} = Z_{71}^{min} + A_{71}^{max}, \quad (3.11)$$

$$A_{53}^{min} = 0.05 + 86.128 = 86.178 \text{ мм},$$

Визначимо значення розміру A_{53}^{max} з рівнянь:

$$A_{53}^{max} = A_{53}^{min} + Td_A, \quad (3.12)$$

$$A_{53}^{max} = 86.178 + 0.1 = 86.278 \text{ мм},$$

Визначимо максимальний припуск для даної операції Z_{71}^{max} :

$$Z_{71}^{max} = A_{53}^{max} - A_{71}^{min}, \quad (3.13)$$

$$Z_{71}^{max} = 86.278 - 86.068 = 0.21 \text{ мм},$$

Визначимо номінальний припуск для даної операції $Z_{73}^{ном}$:

$$A_{53}^{ном} = 86.278_{-0.1} \text{ мм},$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{73}^{\text{НОМ}} = A_{53}^{\text{НОМ}} - A_{71}^{\text{НОМ}}, \quad (3.14)$$

$$Z_{73}^{\text{НОМ}} = 86.278_{-0.1} - 86.128_{-0.06} = 0.15_{-0.1}^{+0.06}$$

Для Z_{53} :

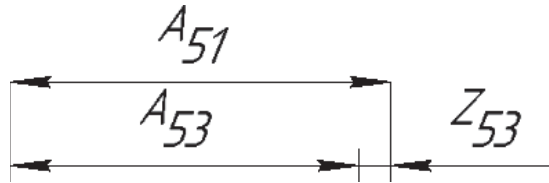


Рисунок 3.5 - Технічна схема для припуску Z_{53}

Припускаємо, що заключна ланка Z_{53} є спадною, отже, і ланка A_{53} розмірного ланцюга буде спадною, а ланка A_{51} буде зростаючою.

Визначимо значення розміру A_{51}^{min} , використовуючи рівняння:

$$Z_{53}^{\text{min}} = A_{51}^{\text{min}} - A_{53}^{\text{max}}, \quad (3.16)$$

$$A_{51}^{\text{min}} = Z_{53}^{\text{min}} + A_{53}^{\text{max}}, \quad (3.17)$$

$$A_{51}^{\text{min}} = 0.05002 + 86.278 = 86.328 \text{ мм},$$

Визначимо максимальне значення A_{51}^{max} , спираючись на подані рівняння:

$$A_{51}^{\text{max}} = A_{51}^{\text{min}} + Td_{A_{51}}, \quad (3.18)$$

$$A_{51}^{\text{max}} = 86.328 + 0.14 = 86.468 \text{ мм},$$

Обчислимо найбільшу похибку для операції Z_{53}^{max} :

$$Z_{53}^{\text{max}} = A_{51}^{\text{max}} - A_{53}^{\text{min}}, \quad (3.19)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$Z_{53}^{max} = 86.468 - 86.178 = 0.29 \text{ мм},$$

Визначимо номінальну поправку для операції $Z_{53}^{НОМ}$:

$$A_{51}^{НОМ} = 86.468_{-0.14} \text{ мм},$$

$$Z_{53}^{НОМ} = A_{51}^{НОМ} - A_{53}^{НОМ}, \quad (3.20)$$

$$Z_{73}^{НОМ} = 86.468_{-0.14} - 86.278_{-0.1} = 0.19_{-0.14}^{+0.1}$$

Для Z_{51} :

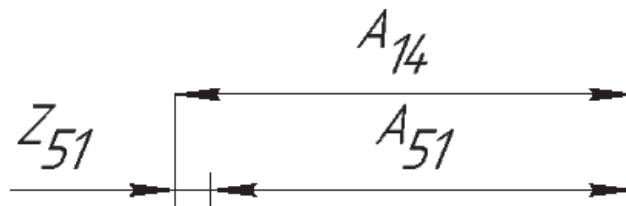


Рисунок 3.6 - Технологічна розмірна схема для припуску Z_{51}

Припустимо, замикальна ланка Z_{51} є зменшувальною, відповідно, і ланка A_{51} розмірного ланцюга буде зменшувальною, а ланка A_{14} – збільшувальною.

Визначимо величину розміру A_{14}^{min} з рівнянь:

$$Z_{51} = A_{14} - A_{51}, \quad (3.21)$$

$$Z_{51}^{min} = A_{14}^{min} - A_{51}^{max}, \quad (3.22)$$

$$A_{14}^{min} = Z_{51}^{min} + A_{51}^{max}, \quad (3.23)$$

$$A_{14}^{min} = 0.1 + 86.468 = 86.528 \text{ мм},$$

З'ясуємо значення величини A_{14}^{max} , спираючись на наведені рівняння:

$$A_{14}^{max} = A_{14}^{min} + Td_{A_{14}}, \quad (3.24)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_{14}^{max} = 86.568 + 0.35 = 86.918 \text{ мм},$$

З'ясуємо найбільший допустимий припуск для операції Z_{51}^{max} :

$$Z_{51}^{max} = A_{14}^{max} - A_{51}^{min}, \quad (3.25)$$

$$Z_{51}^{max} = 86.918 - 86.328 = 0.59 \text{ мм},$$

Визначення номінального припуску для операції $Z_{51}^{НОМ}$:

$$A_{14}^{НОМ} = 86.918_{-0.35} \text{ мм},$$

$$Z_{51}^{НОМ} = A_{14}^{НОМ} - A_{51}^{НОМ}, \quad (3.26)$$

$$Z_{51}^{НОМ} = 86.468_{-0.35} - 86.278_{-0.14} = 0.19_{-0.35}^{+0.14}$$

Для Z_{14} :

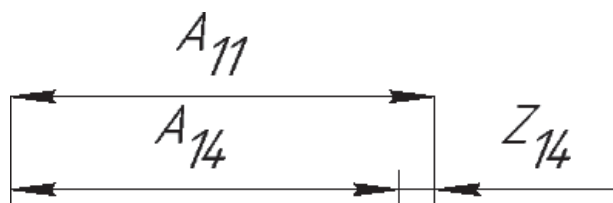


Рисунок 3.7 – Технічна схема для припуску Z_{14}

Припустимо, що замикальна ланка Z_{14} є зменшувальною, у такому разі і ланка A_{14} розмірного ланцюга теж буде зменшувальною, а ланка A_{11} буде збільшувальною.

Визначимо величину розміру A_{11}^{min} , використовуючи рівняння:

$$Z_{14} = A_{11} - A_{14}, \quad (3.27)$$

$$Z_{14}^{min} = A_{11}^{min} - A_{14}^{max}, \quad (3.28)$$

$$A_{11}^{min} = Z_{14}^{min} + A_{14}^{max}, \quad (3.29)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$A_{11}^{min} = 0.108 + 86.918 = 87.026 \text{ мм},$$

Визначимо найбільше значення A_{11}^{max} , використовуючи такі рівняння:

$$A_{11}^{max} = A_{11}^{min} + Td_{A_{11}}, \quad (3.30)$$

$$A_{11}^{max} = 87.026 + 0.6 = 87.626 \text{ мм},$$

Обчислимо найбільший можливий припуск для операції Z_{14}^{max} :

$$Z_{14}^{max} = A_{11}^{max} - A_{14}^{min}, \quad (3.31)$$

$$Z_{14}^{max} = 87.626 - 86.568 = 1.058 \text{ мм},$$

Визначимо номінальний припуск для даної операції Z_{14}^{HOM} :

$$A_{11}^{HOM} = 87.626_{-0.6} \text{ мм},$$

$$Z_{14}^{HOM} = A_{11}^{HOM} - A_{14}^{HOM}, \quad (3.32)$$

$$Z_{14}^{HOM} = 86.626_{-0.6} - 86.918_{-0.35} = 0.708_{-0.6}^{+0.35}$$

Для Z_{11} :

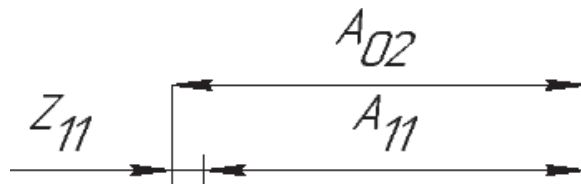


Рисунок 3.8 - Технологічна розмірна схема для припуску Z_{11}

Припустимо, що замикальна ланка Z_{11} є зменшувальною, отже, й ланка A_{11} розмірного ланцюга буде зменшувальною, а ланка A_{02} – збільшувальною.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо значення розміру A_{02}^{min} з наведених рівнянь:

$$Z_{11} = A_{02} - A_{11}, \quad (3.33)$$

$$Z_{11}^{min} = A_{02}^{min} - A_{11}^{max}, \quad (3.34)$$

$$A_{02}^{min} = Z_{11}^{min} + A_{11}^{max}, \quad (3.35)$$

$$A_{11}^{min} = 0.53 + 87.626 = 88.156 \text{ мм},$$

Визначимо величину A_{02}^{max} з наявних рівнянь:

$$A_{02}^{max} = A_{02}^{min} + Td_{A_{02}}, \quad (3.36)$$

$$A_{02}^{max} = 88.156 + 3.2 = 91.356 \text{ мм},$$

Визначимо найбільший можливий припуск для операції Z_{11}^{max} :

$$Z_{11}^{max} = A_{02}^{max} - A_{11}^{min}, \quad (3.37)$$

$$Z_{11}^{max} = 91.356 - 87.026 = 4.33 \text{ мм},$$

Визначимо номінальну надбавку для операції $Z_{11}^{НОМ}$:

$$A_{02}^{НОМ} = 91.356_{-3.2} \text{ мм},$$

$$Z_{11}^{НОМ} = A_{11}^{НОМ} - A_{14}^{НОМ}, \quad (3.38)$$

$$Z_{14}^{НОМ} = 91.356_{-3.2} - 87.626_{-0.6} = 3.73_{-3.2}^{+0.6}$$

3.5 Вибір інструменту та розрахунок режимів

Режими різання слід обчислити для операції 055 з технологічної карти.
На цій операції передбачено чорнове та чистове зенкерування циліндричних

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отворів, а також дворазове розгортання: спочатку чорнове, потім чистове, для досягнення потрібної точності.

Чорнова зенківка отворів:

Інструмент:

Зенкер GRIFF a400053 Ø 16 ДСТУ 14953-80;

Зенкерувати отвори 15.555 до 15.855. Зенкеруємо за один прохід.

Глибина різання:

$$t = 0.5(D - d), \quad (3.39)$$

$$t = 0.5(15.855 - 15.555) = 0,15 \text{ мм},$$

Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} \times K_v [20, \text{с. 140}], \quad (3.40)$$

подача $S = 0.7 \text{ мм/об}$;

стійкість інструмента $T = 30$;

$C_v = 16.3$; $q = 0.3$; $m = 0.3$; $x = 0.2$; $y = 0.5$ [20, с.279]

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{Mv} K_{Iv} K_{lv} [20, \text{с. 276}], \quad (3.41)$$

Поправочний коефіцієнт K_{Mv} :

$$K_{Mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} [20, \text{с. 261}], \quad (3.42)$$

$$K_{Mv} = 1.2 \times \left(\frac{750}{640} \right)^{1.05} = 1.42$$

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поправочний коефіцієнт K_{lv} :

$$K_{lv} = 1; \text{ таб. 6 [20, с. 263]}$$

Поправочний коефіцієнт K_{lv} :

$$K_{lv} = 1; \text{ таб. 31 [20, с. 280]}$$

Розрахунок:

$$K_v = 1.42 \times 1 \times 1 = 1.42$$

Розрахунок швидкості різання:

$$v = \frac{16.3 \times 16^{0.3}}{30^{0.3} \times 0.15^{0.2} \times 0.7^{0.5}} \times 1.42 = 23.7 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

Обертний момент:

$$M_{об} = 10C_M D^q t^x s^y K_p \text{ [20, с. 277]}, \quad (3.43)$$

$C_M = 0.09; q = 1; x = 0.9; y = 0.8$ таб.32 [20, с.281]

Поправочний коефіцієнт K_p :

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n \text{ таб. 9 [20, с. 264]}, \quad (3.44)$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{640}{750}\right)^1 = 0.853$$

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок обертового моменту:

$$M_{об} = 10 \times 0.09 \times 16^1 \times 0.15^{0.9} \times 0.7^{0.8} \times 0.853 = 1.68 \text{ Н} \times \text{м},$$

Осьова сила:

$$P_0 = 10C_p t^x s^y K_p [20, \text{с. 277}], \quad (3.45)$$

$$C_p = 67; x = 1.2; y = 0.65; \text{ таб.32 [20, с.281]}$$

Поправочний коефіцієнт K_p див. вище.

Розрахунок осьової сили:

$$P_0 = 10 \times 67 \times 0.15^{1.2} \times 0.7^{0.65} \times 0.853 = 45.52 \text{ Н},$$

Потужність зенкерування:

$$N_B = \frac{M_{об} n}{9750}; [20, \text{с. 280}], \quad (3.46)$$

Частота обертання інструмента:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}; [20, \text{с. 280}], \quad (3.47)$$

$$n = \frac{1000 \times 23.7}{3.14 \times 16} = 471.74 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

Необхідна потужність приводу верстата:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_B = \frac{1.68 \times 471.74}{9750} = 0.081 \text{ кВт},$$

Чистова зенківка отворів:

Інструмент:

Зенкер GRIFF a400053 \emptyset 16 ДСТУ 14953-80;

Зенкерувати отвори 15.855 до 15.955. Зенкеруємо за один прохід.

Глибина різання:

$$t = 0.5(D - d), \quad (3.48)$$

$$t = 0.5(15.955 - 15.855) = 0.05 \text{ мм},$$

Швидкість різання:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s^y} \times K_v; [20, \text{с. 276}], \quad (3.49)$$

подача $S = 0.7 \text{ мм}/\text{об}$ [20, с.277];

стійкість інструмента $T = 30$ [20, с. 280];

$C_v = 16.3$; $q = 0.3$; $m = 0.3$; $x = 0.2$; $y = 0.5$; таб.29 [20, с.279];

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{Mv} K_{Iv} K_{lv}; [20, \text{с. 276}], \quad (3.50)$$

Поправочний коефіцієнт K_{Mv} :

$$K_{Mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}; [20, \text{с. 261}], \quad (3.51)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{Mv} = 1.2 \times \left(\frac{750}{640}\right)^{1.05} = 1.42$$

Поправочний коефіцієнт K_{Iv} :

$$K_{Iv} = 1; [20, \text{с. 263}]$$

Поправочний коефіцієнт K_{lv} :

$$K_{lv} = 1; [20, \text{с. 280}]$$

Розрахунок:

$$K_v = 1.42 \times 1 \times 1 = 1.42$$

Розрахунок швидкості різання:

$$v = \frac{16.3 \times 16^{0.3}}{30^{0.3} \times 0.05^{0.2} \times 0.7^{0.5}} \times 1.42 = 41.7 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Обертний момент:

$$M_{об} = 10C_M D^q t^x s^y K_p; [320, \text{с. 277}], \quad (3.52)$$

$$C_M = 0.09; q = 1; x = 0.9; y = 0.8; \text{таб.32 [20, с.281]}$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до третього розділу

Внаслідок проведеної роботи було розроблено технологічний процес виробництва плити в умовах серійного виробництва невеликими партіями. Це проектування навчає використанню довідкових матеріалів, державних стандартів України (ДСТУ), таблиць та відповідних норм. Вибір заготовки для плити був обґрунтований, розроблено технологічний маршрут обробки, здійснено розрахунок припусків на механічну обробку лінійного розміру, підібрано необхідне обладнання, згідно з режимами різання, для операції 055, проведено нормування технологічного процесу. Отже, було здобуто потрібні вміння та розуміння з цього розділу та інших загальнотехнічних предметів через самостійне розв'язання практичних технологічних задач у процесі проектування технології.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті роботи над випускною дипломною роботою було спроектовано вітровий генератор. Здійснено аналіз альтернативних енергоджерел та огляд наявних технічних рішень, де визначено певні недоліки і переваги.

Розроблено схему електричну та кінематичну схему для вітрового генератора. Відібрано компоненти, котрі необхідні для функціонування установки, а також створено конструктивні рішення для якнайкращого застосування вітрового генератора у домашніх умовах.

В процесі розробки технологічного розділу дипломної роботи здійснено проектування технологічного процесу виробництва плити з урахуванням умов дрібносерійного виробництва. Було раціонально підібрано заготовку для плити, здійснено розрахунок припусків на механічну обробку, вибрано потрібне обладнання, з урахуванням режимів різання, проведено нормування технологічного процесу.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лісніченко А.В., Василенко В.С. Альтернативні джерела енергії // "Журнал механічних систем." – 2017. – № 13. – С. 56–61.
2. Шевченко О.М., Кравчук І.В. Розробка компактних вітрових турбін для побутового використання // "Вісник енергетичних технологій." – 2018. – № 5. – С. 44–49.
3. Петренко Д.С., Мельник А.О. Оптимізація конструкції вітрогенераторів середньої потужності // "Наукові записки енергомеханіки." – 2019. – № 4. – С. 30–36.
4. Коваль С.П., Гринько Н.В. Ефективність вертикальних вітрових установок у міських умовах // "Альтернативна енергетика України." – 2019. – № 6. – С. 52–59.
5. Черненко Р.Б., Ткаченко Л.С. Конструктивні особливості роторів для малих вітрогенераторів // "Енергетика та автоматика." – 2020. – № 2. – С. 61–67.
6. Бондар А.Є., Луценко І.М. Використання композитних матеріалів у конструкції вітряків // "Журнал енергоефективності." – 2020. – № 3. – С. 48–54.
7. Савченко Ю.І., Дорошенко О.В. Системи керування малими вітровими електростанціями // "Вісник технічних наук." – 2020. – № 7. – С. 66–72.
8. Павлюк Т.І., Кириленко С.Г. Вітрогенерація для автономного живлення сільських об'єктів // "Сільське господарство та енергетика." – 2021. – № 1. – С. 35–40.
9. Олійник Л.А., Іваненко Д.М. Дослідження аеродинаміки лопатей мікровітряків // "Фізико-технічні дослідження." – 2021. – № 3. – С. 41–47.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Чорний В.О., Литвиненко С.В. Стабілізація напруги у вітрових установках // "Автоматизація та приладобудування." – 2021. – № 5. – С. 58–63.

11. Тищенко П.О., Гнатюк І.Ю. Інтеграція вітрогенераторів у локальні мережі // "Електротехнічні системи і мережі." – 2022. – № 2. – С. 36–43.

12. Семенюк Н.М., Діденко О.С. Техніко-економічна ефективність малих вітряків // "Енергетичний огляд." – 2022. – № 4. – С. 29–34.

13. Крамаренко О.Г., Білоус В.П. Акумуляція енергії у вітроенергетичних установках // "Сучасна енергетика." – 2022. – № 6. – С. 49–55.

14. Хоменко С.І., Іщенко В.В. Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання // "Наука і техніка в енергетиці." – 2022. – № 3. – С. 38–44.

15. Дубовик Р.А., Григоренко А.В. Побутові вітряки: вимоги до безпеки та надійності // "Журнал електротехнічних систем." – 2023. – № 1. – С. 54–60.

16. Ніколаєнко І.В., Зозуля С.Т. Експериментальні дослідження роботи вітрогенераторів при низькій швидкості вітру // "Прикладна енергетика." – 2023. – № 2. – С. 43–48.

17. Тарасюк В.С., Смик Ю.Р. Інтелектуальні системи керування вітровими установками // "Системи управління і автоматика." – 2023. – № 4. – С. 31–37.

18. Іванченко П.М., Соловей І.О. Застосування вітрогенераторів у гібридних енергосистемах // "Гібридна енергетика." – 2023. – № 5. – С. 66–72.

19. Мельничук В.О., Колісник І.М. Моделювання роботи малопотужних вітрогенераторів у MATLAB // "Математичне моделювання в техніці." – 2024. – № 1. – С. 45–50.

20. Прокопенко А.С., Голуб І.В. Перспективи розвитку побутової вітроенергетики в Україні // "Енергетична стратегія." – 2024. – № 2. – С. 39–46.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		