

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Інститут інженерії та інформаційних технологій
Кафедра прикладної фізики та вищої математики

УДК 621.548/666.1

ДИПЛОМНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Розробка тестової системи визначення ефективності встановлення
базальтових вітрогенераторів з ротором Оніпко в різних територіальних зонах»

Виконав: студент групи БНТск-20

спеціальності 105 Прикладна фізика та
наноматеріали

освітньої програми Нано – та
мікротехнології в дизайні

Денис ІСАЄВ

Науковий керівник: канд.фіз-мат. наук,
доцент Ірина ОЛЕЙНІКОВА

Рецензент: канд. тех. наук, доцент
Олександр МАНОЙЛЕНКО

Київ 2023

АНОТАЦІЯ

Ісаєв Д.І. Розробка тестової системи визначення ефективності встановлення базальтових вітрогенераторів з ротором Оніпко в різних територіальних зонах.

Дипломна бакалаврська робота за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали,. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

Дипломну бакалаврську роботу присвячено розробці системи моніторингу інтенсивності вітрогенераторів з ротором Оніпко. Проаналізовано переваги та недоліки традиційних та нових конструкцій з вертикальною та горизонтальною віссю обертання. Обґрунтовано вибір спеціальної спіральної конструкції ротора та матеріалу для виготовлення складових його прототипу. Запропоновано використання базальтового композиту, як екологічно чистого матеріалу з особливо високими експлуатаційними властивостями. Замість пошуку аналітичних методів опису роботи генераторів запропонована система моніторингу ефективності в польових умовах.

На основі результатів дослідження була створена мобільна 3D – модель прототипу, яка може виготовлятися за допомогою 3D – друку. Така система дозволить не лише розв’язати фізичну задачу обертання ротору, а і сприятиме комерціалізації української розробки.

Ключові слова: ротор Оніпко, базальтовий композит, 3D – модель, 3D – друку, моніторинг, інтерактивна карта.

SUMMARY

ISAEV D.I. Development of a test system for determining the efficiency of installing basalt wind turbines with Onipko rotor in different territorial zones.

Bachelor's thesis in the speciality 105 Applied Physics and Nanomaterials, - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

The bachelor's thesis is devoted to the development of a system for monitoring the intensity of wind turbines with an Onipko rotor. The advantages and disadvantages of traditional and new designs with a vertical and horizontal axis of rotation are analysed. The choice of a special spiral rotor design and material for the manufacture of its prototype components is substantiated. The use of basalt composite as an environmentally friendly material with particularly high performance properties is proposed. Instead of searching for analytical methods to describe the operation of generators, a system for monitoring efficiency in the field is proposed.

Based on the results of the study, a mobile 3D prototype model was created that can be manufactured using 3D printing. Such a system will not only solve the physical problem of rotor rotation, but will also contribute to the commercialisation of the Ukrainian development.

Keywords: Onipko rotor, basalt composite, 3D model, 3D printing, monitoring, interactive map.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ВІТРОГЕНЕРАТОРИ, ЯК ЕКОЛОГІЧНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕЛІ	10
1.1. Місце вітроенергетики в загальному розподілі екологічних методів отримання електроенергії	10
1.2. Основні принципи роботи вітрогенераторів.....	13
1.1.1. Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання.....	13
1.1.2. Вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання.....	16
1.3. Сучасні нестандартні вітрогенератори вертикального типу..	18
Висновки до першого розділу	21
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ОНІПКО ТА АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ.....	22
2.1. Математична модель лопатевого вітрогенератора	22
2.2 Особливості конструкції вітрогенератора Оніпко та переваги його використання	25
2.3 Основні властивості базальтових композитів	28
Висновки до другого розділу	30
РОЗДІЛ 3. КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕСТОВОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ	31
3.1. Аеродинаміка ротора Оніпко	31
3.2. Створення 3D – моделі генератора Оніпко.	33
3.3. Використання базальтового композиту	36
3.4. Система визначення ефективності ротору Оніпко	37

ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43
ДОДАТКИ	48

ВСТУП

Хоча більшість експертів стверджували про високу ефективність ротору Оніпко на сьогоднішній момент цей тип ВЕС не отримав великого розповсюдження на території України. Це пов'язано з тим, що користувачі не поспішають купувати подібні нові моделі без отримання повної оцінки їх ефективності. На жаль, на сьогоднішній момент реальних показників енергоефективності ротору немає. З іншого боку саме зелена енергетика може стати головним початковим елементом відновлення екосистем в районах, що особливо постраждали від бойових дій і де необхідно прискорювати вторинну sukcesію екосистеми.

Актуальність теми обумовлена тим, що енергетична система України зазнала величезних руйнувань і для її відновлення необхідно значно збільшити обсяги «зеленої енергетики», зокрема використанням вітроенергетичних станцій (ВЕС). Але при цьому слід вирішити проблему аналізу ефективності певних сучасних конструкцій, таких як ротор Оніпко та екологічності матеріалів, з яких може виготовлятися робочі елементи конструкції. Акцентування уваги на поданій темі зумовлене розвитком технологій створення базальтових композитів та їх унікальними властивостями та можливостями стати заміниками металевих конструкцій.

Метою дослідження є опис та аналіз основних характеристик та особливостей базальтових матеріалів та їх переваги над іншими екологічно чистими матеріалами з заданими експлуатаційними властивостями. Основним напрямком цього дослідження є розроблення власної унікальної методики визначення ефективності використання певних конструкцій вітрогенераторів в різних територіальних зонах України та пропозиція створення цифрової системи інформації.

Завдання дослідження:

- Проаналізувати типові та сучасні рішення для різних конструкцій вітрогенераторів.

- Дослідити фізичну модель ротору Оніпко та оцінити можливості отримання високого значення ККД.
- Дослідити та оцінити переваги використання базальтових композитів для створення основних деталей ротора.
- Оцінити можливості використання 3D друку, як основного технологічного процесу при створенні особливої конструкції ротора..
- Запропонувати методикау визначення ефективності вітрогенератора шляхом створення прототипу конструкції.
- Використати цифрові технології для оповіщення та просування технології на ринку енергетичних послуг.

Об'єктом дослідження стала методика оцінки ефективності використання вітрогенераторів особливої конструкції, виготовлених з екологічно чистих матеріалів за допомогою цифрової системи моніторингу.

Предметом дослідження було обрано прототип вітрогенератора Оніпко, виготовлений з базальтового композиту.

Відносно поданої наукової роботи застосовано наступні **методи дослідження**:

- емпіричний метод порівняння був використаний для визначення переваг зазначеної конструкції;
- загальний метод наукового пізнання у вигляді аналізу можливостей використання конструкцій для отримання екологічно чистого джерела невичерпаної енергії;
- метод моделювання дозволив створити 3D – модель ротора за допомогою програми Blender з можливістю її відтворення в певному масштабі на 3D-принтері;
- поєднання методів аналізу та прогнозування було використання для створення системи моніторингу ефективності використання певних конструкцій ВЕС на різних територіальних зонах.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика визначення ефективності вітрогенераторів Оніпко за допомогою спеціальних прототипів з нових екологічних природних матеріалів.

Дослідження проводилося за допомогою експериментальних досліджень, інтернету, наукової літератури, наявних прикладів подібних конструкцій.

Елементи наукової новизни одержаних результатів подано у вигляді вирішення питання доцільності встановлення альтернативних джерел енергії, таких як ротор Оніпко, по якому відсутні матеріали ефективності його реального використання. Вирішення поданої проблеми полягає у створенні власної унікальної методики використання прототипів, створення яких стало можливим завдяки сучасним технологіям 3D – друку та інноваційним екологічним матеріалів з базальту. Ця методика має право називатися оригінальною, оскільки поєднує в собі нові матеріали, навички дизайн-проектування технологічних продуктів та можливості сучасних інформаційних технологій.

Практичне значення одержаних результатів полягає у вирішенні питання електроенергетичного забезпечення зон, що утворилися на територіях, які постраждали від бойових дій з одного боку, та створення систем автономного електропостачання індивідуальних приватних ділянок з іншого. Користь поданого проекту полягає у поєднанні екологічності джерел невичерпної енергії з отриманням максимальної ефективності їх застосування..

Апробація результатів дослідження. Участь в:

- V-TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM CREATIVITY TECHNOLOGY MARKETING 2023 Technical University of Moldova 31 березня 2023 року.
https://fd.utm.md/wp-content/uploads/sites/37/2023/03/PROGRAM-SYMPOSIUM-CTM-2023_Eng.pdf

Структура роботи. Дипломна бакалаврська робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. ВІТРОГЕНЕРАТОРИ, ЯК ЕКОЛОГІЧНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕЛІ

1.1. Місце вітроенергетики в загальному розподілі екологічних методів отримання електроенергії

За прогнозами аналітиків Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), вироблення енергетики за допомогою вітроелектростанцій у 2021 році зазнає рекордного за останні роки річного зростання [1]. Згідно матеріалів того ж сайту: «в Україні запустили 19 вітрових турбін на відстані близько 100 км від лінії фронту, в той час, як у Великій Британії – лише 2. Україна з початку повномасштабного вторгнення побудувала більше потужностей вітрової енергетики (114 МВт на Тілігульській ВЕС) ніж Велика Британія (1 МВт у Стаффордширі)». Це говорить про те, що увага до вітроенергетики зростає з кожним днем. Це можна пояснити значними перевагами вітроелектростанцій над іншими джерелами енергії. Якщо розглядати енергетичний сектор по виробленню електроенергії, то на сьогоднішній момент значна частина належить атомним та гідроелектростанціям. Але зрозуміло, що для України атомна енергетика пов'язується перш за все з аварією на ЧАЕС, а в сучасних умовах з загрозою атаки на атомні електростанції з боку Росії. Строк експлуатації енергоблоків спливає у 2035 році і виникає питання, чи буде Україна вкладати кошти в створення нових АЕС з більш високим рівнем безпеки, але і з значними капіталовкладеннями. Друга складова енергосистеми – це гідроелектростанції (ГЕС), які виробляють близько 8 % електроенергії в Україні. Основними виробниками є крупні ГЕС, а для створення нових станцій необхідно не лише значне фінансування, а можливе затоплення родючих земель. Для аналізу ми не розглядали теплові станції, оскільки вони привносять значне забруднення оточуючого середовища, що негативно впливає на і так досить складну екологічну ситуацію в Україні. Отже для відновлення енергосистеми країни слід використовувати лише відновлювальні джерела енергії (ВДЕ). До

них відносяться: сонячні електростанції (СЕС), вітрові електростанції (ВЕС) та станції на біопаливі.

Щоб аргументувати вибір ВЕС для подальшого розвитку методології їх використання необхідно проаналізувати їх основні позитивні та негативні аспекти використання (Рис. 1.1).



Рис. 1.1. Переваги та недоліки ВЕС.

Переваги вітрової енергетики:

- низька собівартість по відношенню до ядерної, вугільної та газової енергетики
- нульова вартість паливної складової, оскільки є природнім процесом
- екологічно безпечність – відсутність забруднення середовища небезпечними речовинами;
- кон'юнктурна фінансова незалежність - вітроенергетика не залежить від суб'єктивних економічних факторів та коливання цін на паливо

- невичерпаність палива – джерело енергії присутнє в необмеженій кількості;
- національна незалежність – дозволяє уникнути залежності від міжнаціональних відносин;
- модульний дизайн та швидкий територіальний монтаж;
- широкий діапазон потужностей - можливість регулювання кількості енергії
- дружнє ставлення до екосистеми навколо електростанцій.

Але при значних перевагах таких електростанцій слід вказати на ряд недоліків, які стосуються традиційних форм вітрогенераторів.

Недоліки вітрової енергетики:

- територіальна залежність – це основне обмеження, яке пов’язує розташування вітроелектростанцій в зонах з високою швидкістю вітру;
- обмеження експлуатаційних властивостей земель поблизу вітростанцій – обмеження використання земельних ділянок для інших видів господарської діяльності;
- значні фінансові інвестиції у малопотужні установки – в порівнянні з паливними системами отримання електроенергії;
- шумове забруднення – робота лопатей створює низькочастотні звукові хвилі;
- небезпека для птахів та інших летючих видів тварин - можлива шкода при потраплянні в зону обертання;
- стробоскопічний ефект у північних регіонах;
- нерівномірність потужності – різна швидкість вітру буде призводити до виробництва струму змінної частоти.

Для вирівнювання постачання струму слід застосовувати спеціальні акумулятори, що призводить до збільшення вартості установок і знижує їх ефективність.

1.2. Основні принципи роботи вітрогенераторів

Розглянемо яким чином у вітрогенераторах відбувається перетворення механічної енергії в електричну. Звернемо увагу, що будь-яка ВЕС має рухоми частину, яка обертається під дією вітру, подібно тому, як це відбувається у теплових та гідроелектростанціях. Але таке обертання може відбуватися в різних площинах. За цією ознакою ми поділяємо ВЕС на два типи: з вертикальною та горизонтальною віссю обертання.

1.1.1. Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання

Конструкції вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання традиційно поділяють на такі види:

- 1) Ротор Дар'є
- 2) Ротор ортогонального типу (Ротор Еванса)
- 3) Ротор Савоніуса
- 4) Рото карусельного типу (ротатор Масгрува).

Ротор Дар'є складається з тонких, крилоподібних, симетричних лопатей, які прикріплені до валу тільки з двох кінців [2].

Лопаті вигнуті так, щоб забезпечити максимальну продуктивність між двома з'єднаними валами. які вигнуті симетричним вигином. Найчастіше в конструкції для лопатей використовується так звана крива Тропоскієна, хоча також застосовуються і катенарні криві. Як і всі інші вітрогенератори з вертикальною віссю, вітрогенератори Дар'є не потребують система наведення. Ця особливість збору в будь-якому напрямку дозволяє встановлювати його на будь-якій місцевості без необхідності спорудження високих веж, що призводить до значної економії коштів.



Рис. 1.2. Ротор Дар'є

Елерони Дар'є зазнають сильної відцентрової сили. Проблема з цим ротором полягає в тому, що він не може запускатися самостійно. Доводиться використовувати вторинну систему запуску, хоча після запуску він здатен підтримувати себе завдяки своїй аеродинаміці та конструкції лопатей. Зазвичай встановлюється індукційний генератор, підключений до електромережі. Як тільки Ротор Дар'є досягає робочої швидкості, він починає виробляти електроенергію. Цей тип генератора простий, надійний і недорогий порівняно з іншими типами генераторів, що використовуються у вітроенергетиці.

Другий тип ротора обертання в вертикальній площині ротор ортогонального типу або Н - ротор Еванса [3]. Цей варіант (рис. 1.3) має прямі лопаті ротора, які кріпляться до вертикального валу за допомогою кронштейна. Для невеликих вітрових турбін з малою потужністю (< 10 кВт) ротори з прямими лопатями дуже поширені, оскільки їх легко та дешево побудувати.



Рис. 1.3. H-ротатор Еванса

Ротор Савоніуса (рис. 1.4) є одним з найвідоміших роторів [4]-[6] з вертикальною віссю, оскільки має найпростішу конструкцію. В порівнянні з іншими вітрогенераторами ця конструкція характеризується самим низьким значенням коефіцієнта корисної дії (ККД), що складає приблизно 15 %. Цей генератор використовується лише в певних випадках, тих, як низька потужність із високим крутним моментом, запуск при низькій швидкості вітру тощо. Такі конструкції можна зустріти у невеликих насосних системах, рекламах, вентиляторах на фургоних та іграшках.

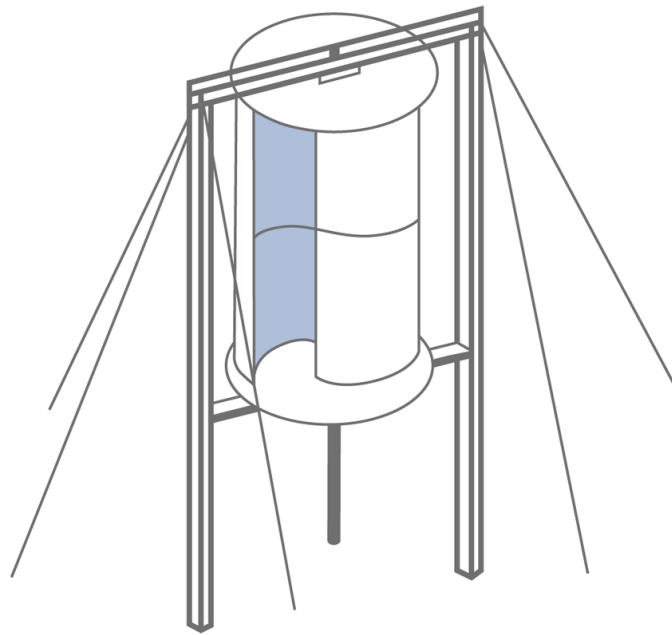


Рис. 1.4. Ротор Савоніуса

Остання модель ротора – модель карусельного типу, яку інколи називають ротор Масгрува (рис. 1.5). Але для нього характерні всі ті обмеження, що характеризують інші генератори вертикального типу, головний з яких – необхідність початкового обертового моменту.

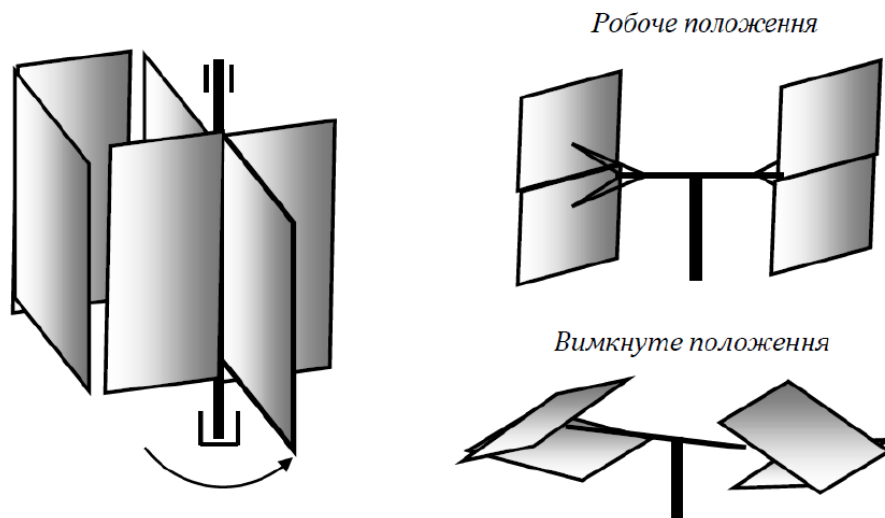


Рис. 1.5. Ротор Масгрува

1.1.2. Вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання

Тепер розглянемо основні елементи конструкції для горизонтально осьових вітрогенераторів. Основними елементами таких вітрогенераторів є

чотири частини: лопаті, гондола, щогла для кріплення та рама для кріплення щогли до землі.

Принцип роботи такої системи [7] – [9] полягає в наступному (рис. 1.6). При невеликих поривах вітру від 3- 5 м/с починають обертатися лопаті, що мають спеціальну аеродинамічну форму. Ці лопаті обертають рухому частину - ротор, що прикріплений до низько швидкісного валу. Через зубчасту передачу обертання передається на високошвидкісний вал.

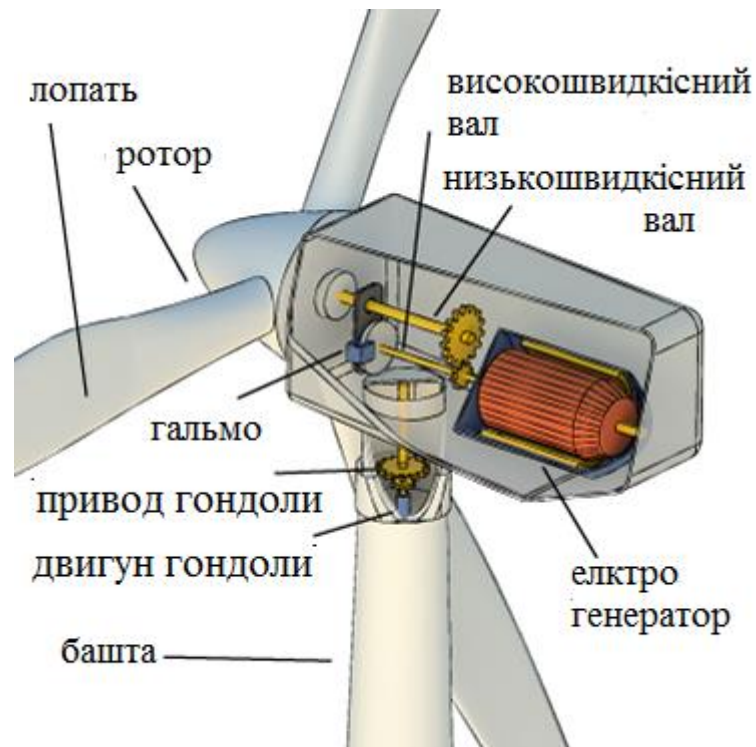


Рис. 1.6. Основні елементи ВЕУ з горизонтальною віссю обертання

На цьому валу знаходиться електрогенератор та до нього кріпиться спеціальне гальмо, яке спрацював при високих швидкостях вітру (більше за 25 м/с). Генератор перетворює механічну енергію обертання в електричну. Вся конструкція розміщується в спеціальній гондолі, яка встановлюється на башті. Щоб забезпечити стійкість та стабільність конструкції встановлюється привод та двигун гондоли. Система може доповнюватися спеціальним флюгером для визначення напрямку та аерометром, що визначає значення швидкості вітру. Потужність таких ВЕУ може мати широкий діапазон і від потрібного значення може змінюватися місце розташування самого електрогенератора.

1.3. Сучасні нестандартні вітрогенератори вертикального типу

ІВ якості аналога запропонованого в роботі ротора Оніпко можна розглянути новітній проект вітрогенеруючої установки іспанських розробників з компанії Vortex Bladeless [101]. Основна відмінність цієї конструкції полягає в особливій формі частини, що обертається та напрямку обертання. Конструкція, що представлена на рис. 1.7 складається з фіксованої основи та циліндричної щогли, що може вільно коливатися в напрямку перпендикулярному, до напрямку вітру. Система з'єднується за допомогою вуглецевого стрижня. Конструкція зроблена так, що всередині щогли частини не торкаються одна одної.

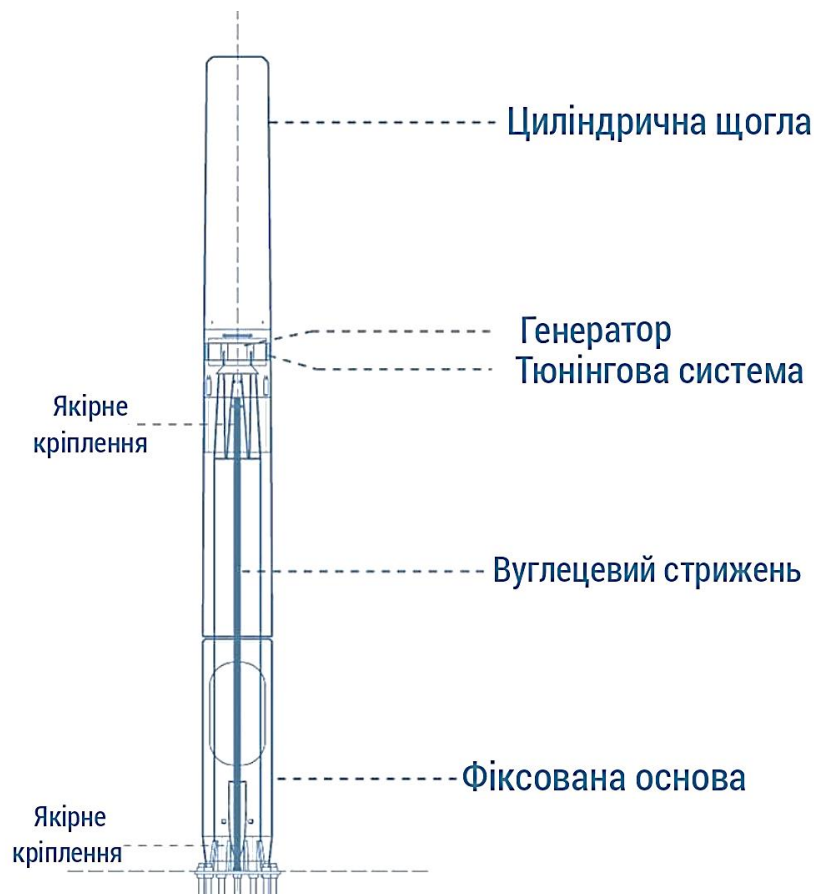


Рис. 1.7. Конструкція вітрогенератора компанії Vortex Bladeless.

Принцип вироблення енергії також відрізняється від стандартної системи ротор – статор.

Внутрішні частини ніколи не стикаються одна з одною, а взаємодіють, виробляючи електроенергію. Система працює за принципом розхитування вертикального циліндру під впливом вітрових повітряних потоків. При цьому в результаті коливальних рухів щогли буде створюватися вихри, як показано на рис. 1.8.

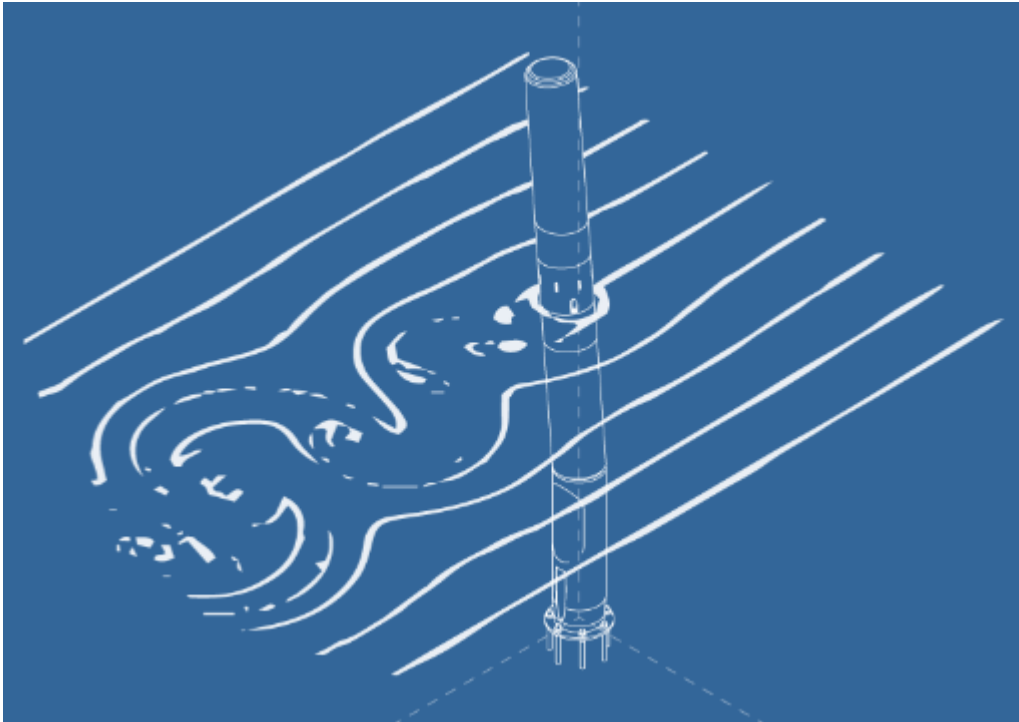


Рис. 1.8. Вихрові потоки навколо вертикальної башти, що здійснює коливальні руху в різних напрямках.

Зазвичай при проектуванні ВЕУ намагається різними шляхами мінімізувати вплив турбулентних потоків та знизити вітрове навантаження. Це було пов'язано з тим, що положення вертикального башти мало бути строго вертикальним. В новому ВЕУ навпаки – турбіни будуть посилювати турбулентність. Запропонована концепція установки наступна: на опорному стовпі розташовується конструкція у формі перевернутого конуса, що розширюється у верхній частині. Цей конус буде певним чином “вбирати” в себе повітряні вихори і, засмоктуючи їх на кшталт торнадо, примножувати їх силу.

У підставці конструкції встановлені кільцеподібні магніти (рис. 1.9). Ці магніти створюють поля, що протидіють одне одному. Саме ці магніти будуть виконувати роль своєрідного мотору.

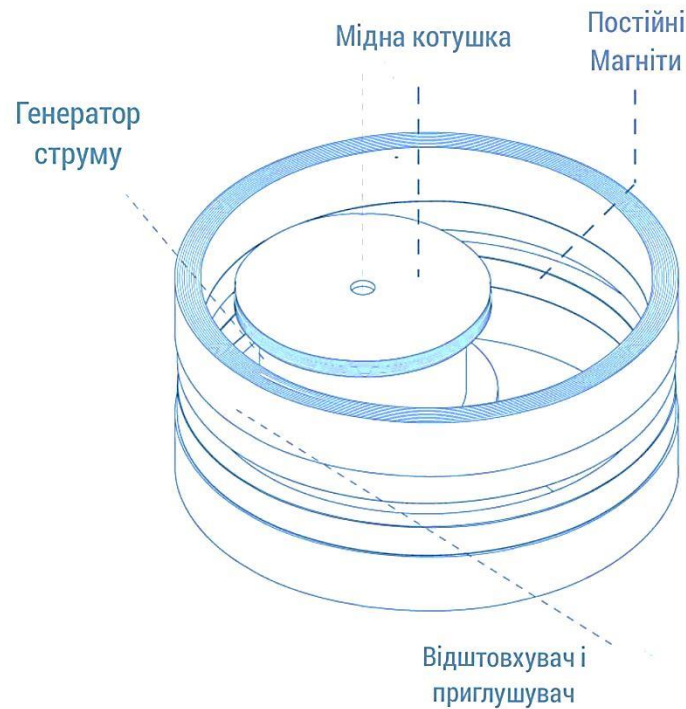


Рис. 1.9. Система генерації струму

Ці магніти штовхають воронку в сторону, протилежну до напрямків повітряних потоків. Це призводить до збільшення вібрацій, а таким чином до збільшення кінетичної енергії, яка надалі перетворюється в енергію електричного струму. Подібна конструкція має ту перевагу, що безпосередньої взаємодії рухомих та нерухомих частин конструкції в даному випадку немає, а тому зменшується і тертя. Це дозволяє збільшити строк експлуатації ВЕУ без технічного обслуговування.

Кожна окрема ВЕУ подібної конструкції має більш низький ККД, ніж традиційні лопатеві конструкції, але завдяки компактності таких генераторів можна розташувати значно більше на одній і тій території. Це сприятиме безперебійному постачанню електрики в масовому обсязі, коли разом будуть застосовуватися десятки подібних ВЕУ. Матеріали конструкції, до складу яких

входить вуглецеве скловолокно є більш екологічно чистим матеріалом, ніж той, з якого виготовляються звичайні ВЕУ,

Екологів також привабить подібна модель, оскільки вона набагато безпечніша для птахів та летючих тварин. Такі конструкції вітряків є майже безшумними і не створюють шумове забруднення.

Подібно до традиційного генератора змінного струму, даний пристрій взаємодіє між котушками та магнітними полями, виробляючи електроенергію за допомогою електромагнітної індукції без необхідності обертання на валу чи коробці передач. Магніти також можуть діюти як "система налаштування".

Висновки до першого розділу

З аналізу стану енергосистеми України можна зазначити що вникає значна потреба у застосуванні ефективних моделей ВЕУ, як в якості альтернативного виробника електроенергії.

Враховуючи всі плюси та мінуси вітроенергетики актуальним є проектування таких установок, які будуть мінімізувати екологічну шкоду, використовувати екологічно чисті матеріали з подовженим строком експлуатації.

Порівняння двох основних типів ВЕС з горизонтальною та вертикальною віссю обертання продемонструвало, що більшість традиційних конструкцій з вертикальною віссю обертання потребують прикладання початкового крутного моменту для отримання початкового руху. В той час, системи з горизонтальною віссю починають обертатися при досягненні вітром швидкості більш за 3-5 м/с. Але така швидкість не завжди присутня на широтах України і конструкції не будуть давати стабільну енергію.

Розглянутий в роботі аналог має ряд переваг і може використовуватися лише в якості складового елемента в системі ВЕС, що в кількості 10-20 одиниць розташовуються на значних площах. Але подібна конструкція не бути мати високу ефективність у випадку одиничного використання.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ОНІПКО ТА АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

2.1. Математична модель лопатевого вітрогенератора

Під час обертання вітротурбіни за весь час експлуатації її складові мають справу з численними видами взаємодії. Точний розрахунок цієї аеродинамічної взаємодії, обумовленої розвитком хвильового ефекту має вирішальне значення при проектуванні вітроелектростанцій. Раніше часто використовували дуже спрощені моделі, оскільки складна геометрія призводила до значних обчислень, що потребувала великих потужностей та часу [11]. В більшості робіт ротори турбін розглядалися, як диски, що поглинають імпульси вітру. В деяких роботах для більш точної апроксимації використовували моделі, в яких включався радіально змінний коефіцієнт тяги [12].

В більшості випадків при встановленні комплексу вітроелектростанцій слід враховувати не лише природні особливості вітрових потоків, а і вплив оточуючих ВЕС. В більшості випадків наявність інших станцій призводить до дефіциту хвиль, а відповідно і зниженню потужності та збільшенню втрат. Отже в такому випадку, слід проводити більш детальніший розрахунок і складні математичні моделювання. В першу чергу ці процеси призводять до підвищеного рівня турбулентності.

При моделюванні процесів у вітрогенераторах використовують різні чисельні методи, але умовно їх можна розділити на дві групи: напівемпіричні аналітичні моделі та моделі турбулентної аеродинаміки. Для оптимізації роботи ВЕС слід розглядати фізику процесу та отримання крутного моменту і так отримати механічну складову процесу. З іншого боку слід правильно прогнозувати хвильовий ефект при умові послідовного розташування декількох електростанцій. Оптимізація «хвильового» ефекту дозволить знизити

експлуатаційні витрати за термін повної експлуатації вітрогенератора з меншою кількістю загальних відмов [13].

Для прогнозування хвильового навантаження на лопасті вітрогенератрів були розроблені певні моделі. Останнім часом найбільшу увагу привернули до себе методи моделювання за допомогою комп'ютерної гідродинаміки. Так за допомогою цього методу вдалося отримати трьохвимірне розв'язання рівняння Нав'є-Стокса, які представляють поле течії з високою точністю [14].

Ще один з варіантів досліджування полягав у розв'язанні фізичної задачі з обтікання двох однакових вітрових турбін, розташованих поспіль, в контрольованих умовах аеродинамічної труби [15].

Визначальними рівняннями поля течії є рівняння неперервності та збереження імпульсу:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (2.1)$$

та

$$\frac{\partial(\rho \vec{u})}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla(\rho \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \tau + \vec{S}_M, \quad (2.2)$$

де ρ – густина повітря, \vec{u} – вектор швидкості течії, p – тиск, τ – тензор зсувних напружень, а \vec{S}_M – член, що описує момент імпульсу джерела. Тензор напружень пов'язаний зі швидкістю деформації за формулою:

$$\tau = \mu \left[\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T - \frac{2}{3} \cdot \delta \cdot \nabla \vec{u} \right] = 0, \quad (2.3)$$

де δ – дельта Кронекера, а μ – динамічна в'язкість рідини.

Такі рівняння важко розв'язувати, якщо не провести певні спрощення та врахувати особливості конструкцій.

Розглянемо як діє сила \vec{F} (рис. 1.13) на звичайну пластину в вітровому потоці. Вона розкладається на силу, що паралельна потоку та є силою лобового опору та підйомну силу, що намагається підняти лопать.

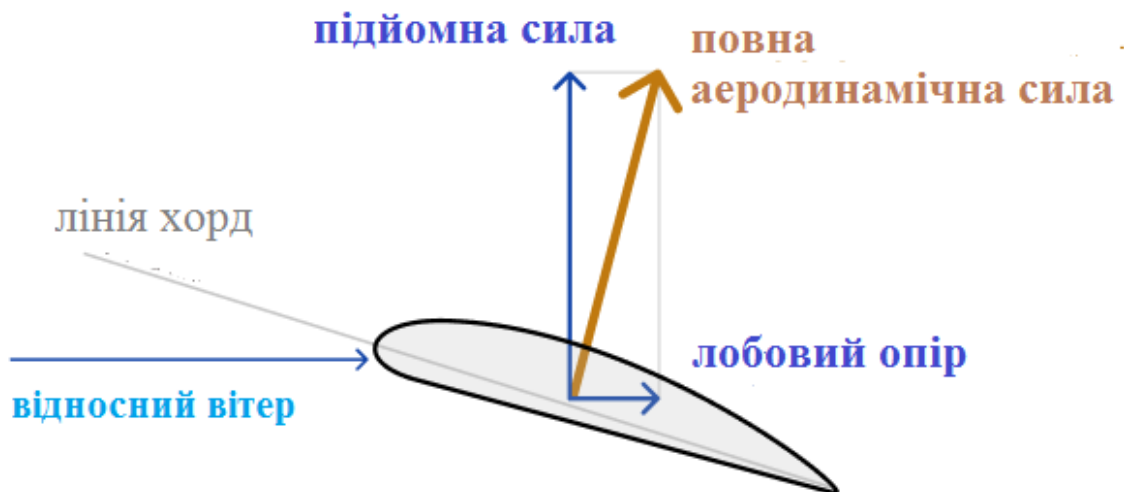


Рис. 2.1. Схема аеродинамічної сили

Для тіл, що знаходяться в аеродинамічному потоці характеристичними є два параметри: коефіцієнт опору та коефіцієнт підйомної сили які будуть залежати від геометрії тіла та кута атаки, якій утворює потік вітру з лінією хорд. Експериментальні значення коефіцієнтів отримуються в аеродинамічній трубці. Профілі, що використовуються у вітроенергетиці мають асиметричний профіль, один з прикладів якого наведений на рис.1.5. Це стандартний профіль для горизонтального кріплення NASA 4415, який був представлений в [16].

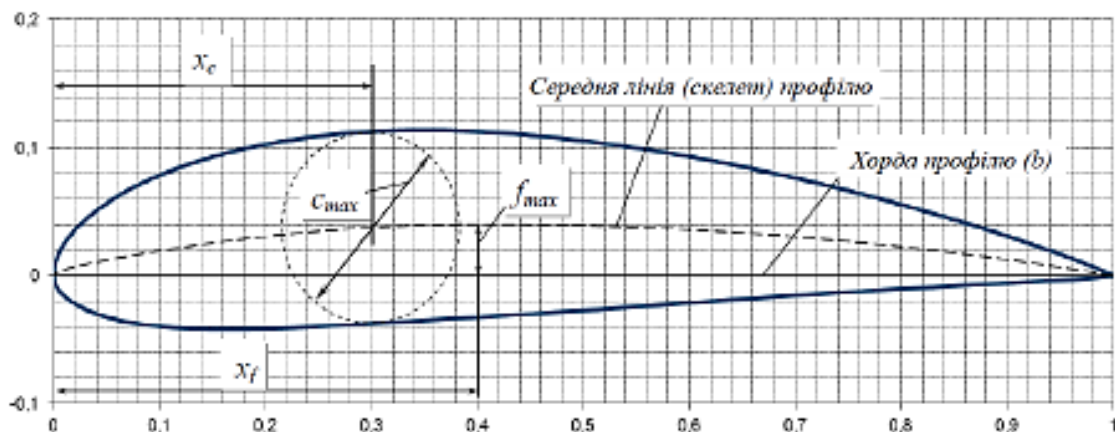


Рис. 2.2. Параметри профілю NASA 4415.

Основними параметрами профілю є:

- максимальна товщина профілю C_{max} ;
- положення максимальної товщини вздовж профілю x_s ;

- хорда профілю b ;
- положення максимальної угнутості x_f ;
- максимальна угнутість f_{\max} .

Під час обертання лопатей слід врахувати, що при обертанні кутова швидкість залишається незмінною, але при цьому змінюється швидкість окремих частин лопаті. Схема зміни швидкості представлена на рис. 2.3.

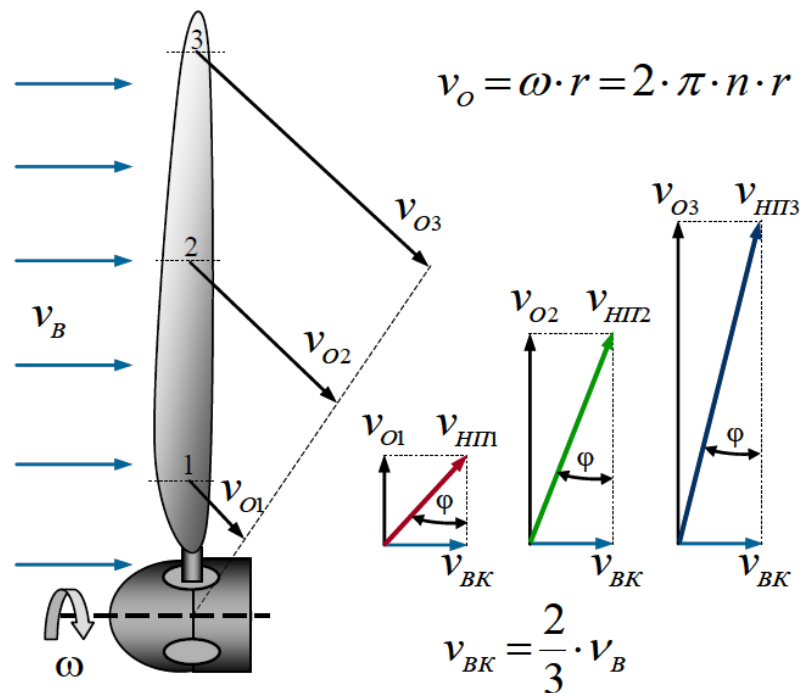


Рис. 2.3. Схема впливу потоку на лопать

Оскільки згідно теорії ідеального вітряка, швидкість при наближенні до вітрового колеса зменшується і буде дорівнювати:

$$v_{BK} = \frac{2}{3} v_B \quad (2.4)$$

2.2 Особливості конструкції вітрогенератора Оніпка та переваги його використання

Ротор Оніпка - це винахід українського вченого-винахідника Віктора Оніпка, який пропонує новий підхід до конструкції вітроенергетичних турбін. Замість традиційних лопатей в своєму винаході вчений пропонує використовувати об'ємні спіралі, які можуть обертатися навіть при невеликих

швидкостях руху вітру. В патенті [17] (Додаток А) заявлено, що це «ротор для перетворення енергії руху потоку в енергію обертового руху і навпаки, має конусоподібний корпус зі спіралеподібними лопатями. Площа однієї бокової поверхні спіралеподібної лопаті щонайменше в два рази більша за площу протилежної бокової поверхні лопаті. Вона плавно нахилена навкруги і до основи конусоподібного корпуса. Під час обертання ротора перетікання потоку через вершину лопаті і його завихрення дещо гальмується похилою поверхнею зворотного боку лопаті». Також в патенті вказано, що така конструкція дозволяє зменшувати турбулентні потоки і таким чином збільшує ККД установки. На сьогоднішній момент, на жаль немає огляд результатів тестування даної конструкції. Проте, цей ротор зацікавив багатьох науковців і фахівців у галузі вітроенергетики. Саме тому виникла ідея розробити концепції випробувань ефективності ротора в польових умовах.

Розглянемо докладніше, як працює ротор Оніпко в якості складової частини вітродвигуна (рис. 2.4) .

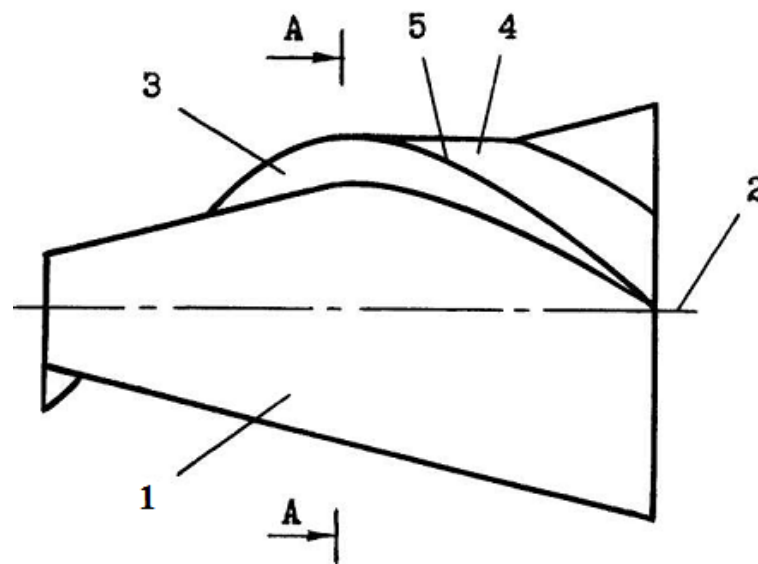


Рис. 2.4. Конструкція ротору Оніпко: 1- конусоподібний корпус, 2 – вісь конуса, 3 – внутрішня поверхня спіралеподібної лопаті, 4 – зовнішня поверхня, 5 – ребро лопаті.

В першу чергу, вітровий потік завдяки флюгерній системі орієнтує вершину конусу корпусу 1 та вісь конуса 2 проти свого руху. Вітровий потік «розрізається» поверхнею корпусу і починає тиснути на внутрішню поверхню 3 спіральної лопаті. Таким чином, утворюється крутий момент, який починає обертати ротор. Частина потоку, що передала імпульс внутрішній частині лопаті відбивається від цієї поверхні. Але завдяки текучості потоку, друга частина потоку перетікає через ребро 5 і плавно обтікає зовнішню частину лопаті 4. Цей потік або зустрічає внутрішню поверхню наступної лопаті, або виходить з відкритої частини конусоподібного корпусу. Та частина потоку, що утворюється за ребром 5 не має великого кута атаки з наступною перешкодою. Таким чином, знижується кількість турбулентних потоків, які б могли спричинити гальмування рухомої системи, що обертається навколо осі 2. Також зменшується інтенсивність турбулентних потоків.

Спробуємо виділити основні переваги вітрогенератору Оніпко:

- широкий діапазон потужностей одного генератора, можливість виробляти енергію від 500 Вт (мобільний варіант вітростанції) до 10 кВт, що дозволяє обслуговувати один заміський будинок;
- відсутність шумового забруднення – вітрогенератор працює тихо за рахунок власної форми;
- дружність до екосистеми – відсутня небезпека для різних тварин, що літають;
- можливість працювати при малих швидкостях вітру - в умовах, коли інші генератору зупиняються;
- можливість низького розміщення на опорі – відсутня необхідність спеціальних щогл, які важко встановлювати;
- можливість у випадку інерційного обертання використовувати не лише силу вітру, а і різницю тисків;
- турбіна ротора може виготовлятися, як з металу, так і з композитів та пластмаси.

2.3 Основні властивості базальтових композитів

Останнім часом натуральні волокна все частіше розглядаються як альтернатива традиційним синтетичним волокнам, таким як скло і вуглецеве волокно, які негативно впливають на навколишнє середовище. Особливе місце серед таких матеріалів займає базальтове волокно (БВ). Це волокно, що складається з базальтової породи з хімічним складом, який може змінюватися в певних межах.

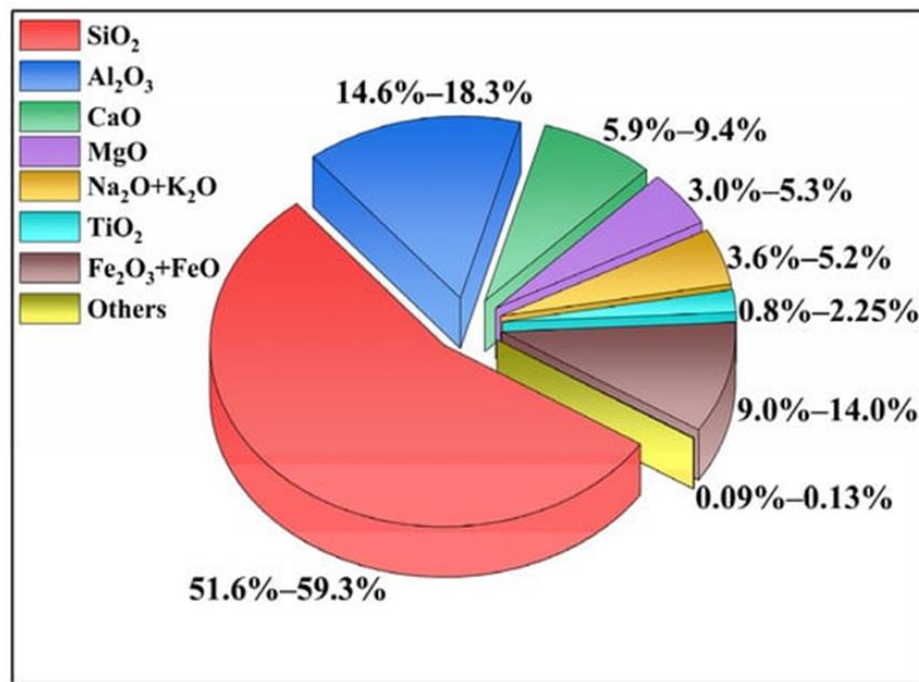


Рис. 2.5. Хімічний склад базальтового волокна (БВ) [18]

Базальтові волокна є мінеральними волокнами з унікальними механічними та термодинамічними властивостями. Особливу увагу привертають різні композити, які утворюються шляхом додавання різних натуральних волокон. Базальтові волокна не розкладаються, але при цьому залишаються природним матеріалом. Враховуючи величезні запаси базальтових порід в усьому світі галузь, що сприяє розвитку технології вироблення базальтових волокон є досить перспективною.

Базальт — природний матеріал, який міститься у вулканічних породах, що утворені із застиглої лави, з температурою плавлення від 1500°C до 1700°C [19]. Діаметр базальтових волокон може змінюватися від 9 до 13 мікрометрів.

Композити, що отримуються додаванням базальтових волокон, отримують ряд властивостей характерних для базальту. До таких відносяться висока міцність, стійкість до агресивних середовищ, тепло- та звукоізоляція та висока термостійкість. Таким чином, загальними перевагами базальтових волокон є натуральними, негорючими, екологічно чистими, нетоксичними, легкими, мають гарну хімічну стійкість, стійкість до високих температур і низьке водопоглинання, вплив лугів, кислот, звукоізоляційні властивості, недорогі та мають високу міцність, модуль пружності та відносне подовження до розриву. Такі характеристики зробили базальтове волокно універсальною складовою у виробництві композитів. Крім того, базальтові волокна можна використовувати від дуже низьких температур (тобто близько -260°C) до порівняно високих температур (тобто в діапазоні від 600 до 900°C) [20] - [23]. Такі матеріали, що утворюються внаслідок поєднання полімерів з базальтовими волокнами можуть стати дуже корисним матеріалом у будівництві, а особливо у створенні елементів критичної інфраструктури. В Україні проводиться процес заміни металевих конструкцій на композитні. Особливо базальтові композити можуть значно підвищити терміни експлуатації таких елементів, як стовпи, щогли, будівельні конструкції заданої форми. Щоб оцінити перспективи використання базальту замість металу спробуємо порівняти властивості звичайного стовпа для електропередачі один з яких виготовлений з металу, а інший з базальтового композита (рис. 2.6). Зрозуміло, що метал під впливом атмосферних факторів починає окислюватися. Один зі способів уповільнити цей процес – фарбувати поверхню, але це додаткові витрати на матеріали та роботу. На відміну від металевого стовпа для базальтового характерне самоочищення та стійкість до корозії. Отже, тут перевага, як економічна, так і фінансова. Другий момент пов'язаний з вагою обох стовпів. Зрозуміло, що металевий стовп вважить набагато більше за базальтовий, що також робить базальтові конструкції більш привабливими. Ну і діелектричні властивості базальту також є корисними при створенні конструкцій для виробництва та передачі енергії.



Рис. 2.6 Порівняння властивостей стовпа, що виготовлений з металу з тим, що виготовлені з базальтового композиту.

Висновки до другого розділу

Конструкції лопатей вітрогенераторів можуть бути різними і тому не існує загального розв'язання Нав'є – Стокса для різних конфігурацій. ВЕС з ротором Оніпко була обрана в якості джерела електроенергії.

Розглянута конструкція ротора Оніпко та можливості його роботи навіть при малих поривах вітру. Також ця конструкція не потребує високого розташування.

Обґрунтований вибір базальтових матеріалів замість стандартних металевих, оскільки вони мають високу корозійну стійкість, екологічність, довгий строк експлуатації, а також конструкції з них легкими, що забезпечує їх

мобільність. Важливою перевагою базальтових матеріалів є величезні запаси базальту в Україні.

РОЗДІЛ 3. КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКРНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕСТОВОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

3.1. Аеродинаміка ротора Оніпко

Для опису аеродинаміки ротора з конусоподібним корпусом (рис. 3.1) та спіралеподібними лопатями можна використовувати просте рівняння, що описує залежність між силою аеродинамічного тяги та параметрами потоку повітря.

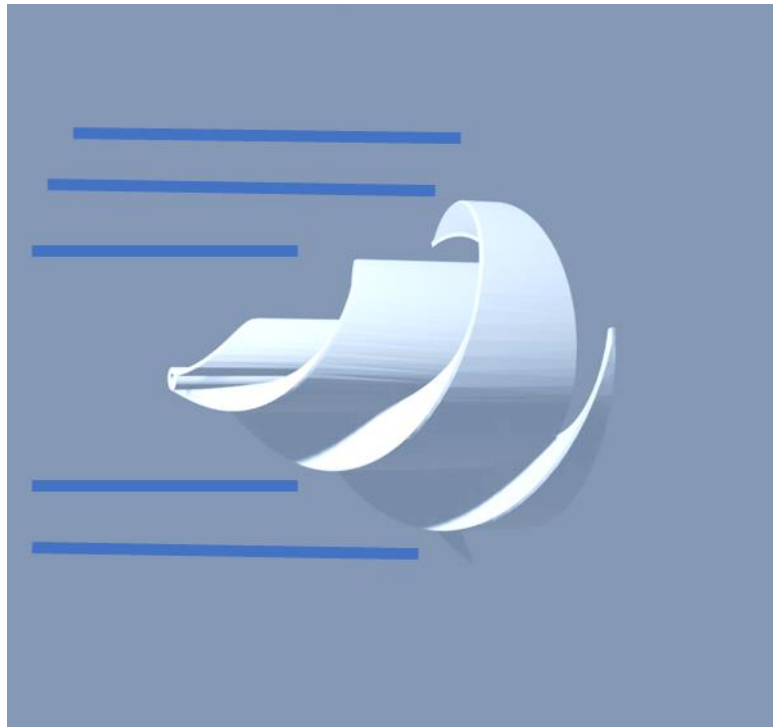


Рис. 3.1 Спрощена схема розташування ротора в повітряному потоці

Одним з таких рівнянь є рівняння тяги Лангмура-Бернштейна, яке може бути використане для цієї конфігурації ротора. Воно виглядає так:

$$F = 0,5 \cdot \rho \cdot s \cdot v^2 \cdot C_1 \quad (3.1)$$

де: F – сила аеродинамічного тяги, ρ - густина повітря, s - площа поперечного перерізу лопаті, v - швидкість повітря, C_1 - коефіцієнт аеродинамічного підйому.

Це спрощене рівняння, яке не враховує втрати від турбулентності, вплив форми та інших чинників. Однак, воно може бути використане для оцінки загальної аеродинамічної сили, яку генерує ротор.

Для більш детального аналізу аеродинаміки ротора Оніпко в математичному моделюванні необхідно використовувати більш складні моделі, такі як моделі турбулентного потоку або обчислювальну гідродинаміку (CFD). Так можна буде враховувати більше деталей і таким чином визначати аеродинамічні характеристики точніше.

Рівняння турбулентного потоку може бути описане за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса разом параметрами, що характеризують турбулентні ефекти. Одним з таких підходів є модель к-ε (k-epsilon). Вона використовує два додаткових рівняння для моделювання кінетичної енергії турбулентних вихрів, яку позначимо, як $W_{\text{кін}}$ та розмірного параметра турбулентної дисипації, позначену, як ε .

Рівняння для кінетичної енергії турбулентних вихрів запишеться як:

$$\frac{\partial(\rho \cdot W_{\text{кін}})}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot W_{\text{кін}} \cdot v) = \nabla[(\mu + \mu_t/\sigma_W)\nabla W_{\text{кін}}] - \rho\varepsilon, \quad (3.2)$$

де ρ - густина повітря, $W_{\text{кін}}$ - кінетична енергія турбулентних вихрів, t - час, v - вектор швидкості, ∇ - оператор градієнту, μ - динамічна в'язкість повітря, μ_t - турбулентна в'язкість, σ_W - коефіцієнт переносу для кінетичної енергії турбулентних вихрів, ε - розмірний параметр турбулентної дисипації.

Рівняння для розмірного параметра турбулентної дисипації (ε) має наступний вигляд:

$$\frac{\partial(\rho \cdot \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho\varepsilon \cdot v) = \nabla[(\mu + \mu_t/\sigma_W)\nabla\varepsilon] + C_{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{W_{\text{кін}}}\right) \rho\delta - C_{\varepsilon_2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\varepsilon^2}{W_{\text{кін}}}\right), \quad (3.3)$$

де ε - розмірний параметр турбулентної дисипації, C_{ε_1} та C_{ε_2} - коефіцієнти моделі, δ - величина деформація повітря.

Ці рівняння загального вигляду моделюють рух та зміну кінетичної енергії турбулентних вихрів та їх розмірний параметр у потоці повітря. Також в

рівняння входять параметри, які залежать від моделі турбулентності. Як видно рівняння є досить складними багатопараметричними і розв'язувати їх в загальному вигляді досить важко. Також до рівняння входять модельні константи, коефіцієнти переносу та в'язкість потоку, які також залежать від конкретних умов, в яких рухається об'єкт. З записаних рівнянь можна зробити висновок, що кожного разу проводити моделювання враховуючі такі вхідні параметри, як тиск, в'язкість, геометричні параметри ротору, граничні умови на поверхні ротору, швидкість вітру є задачею, яку майже неможливо розв'язати. Тим більш, що і вибір моделі турбулентності також слід обирати, виходячи з цих умов. Це можуть бути такі моделі, як модель $k-\epsilon$, $k-\omega$ [24], Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) або Large Eddy Simulation (LES) [25], кожна з яких має свої власні параметри.

Ці моделі враховують більше деталей конфігурації ротора та дозволяють докладніше вивчити його аеродинамічні характеристики.

3.2. Створення 3D – моделі генератора Оніпко.

Щоб створити 3D – модель ротора були використані дві програми Blender [26] – [28] та Solid Work [29] – [31]. Існують декілька моделей ротора Оніпко, але принцип залишається схожим. На рис. 3.3. а представлена модель ротора, що була розроблена в програмі Blender і яка стала основою для реальної моделі, яка після була надрукована на 3-D принтері (рис.3.3. б). Дана модель була виготовлена зі спеціального полімеру, в складі якого додано флюорисцентний матеріал, щоб елемент міг світитися в темряві. Даний ротор складається з трьох спіральних елементів, і зроблений так, щоб внутрішня площа суцільної спіральної конструкції була вдвічі меншою за зовнішню. При створенні вітрового потоку швидкість обертання ротору була досить високою і не потребувала початкового крутного моменту.

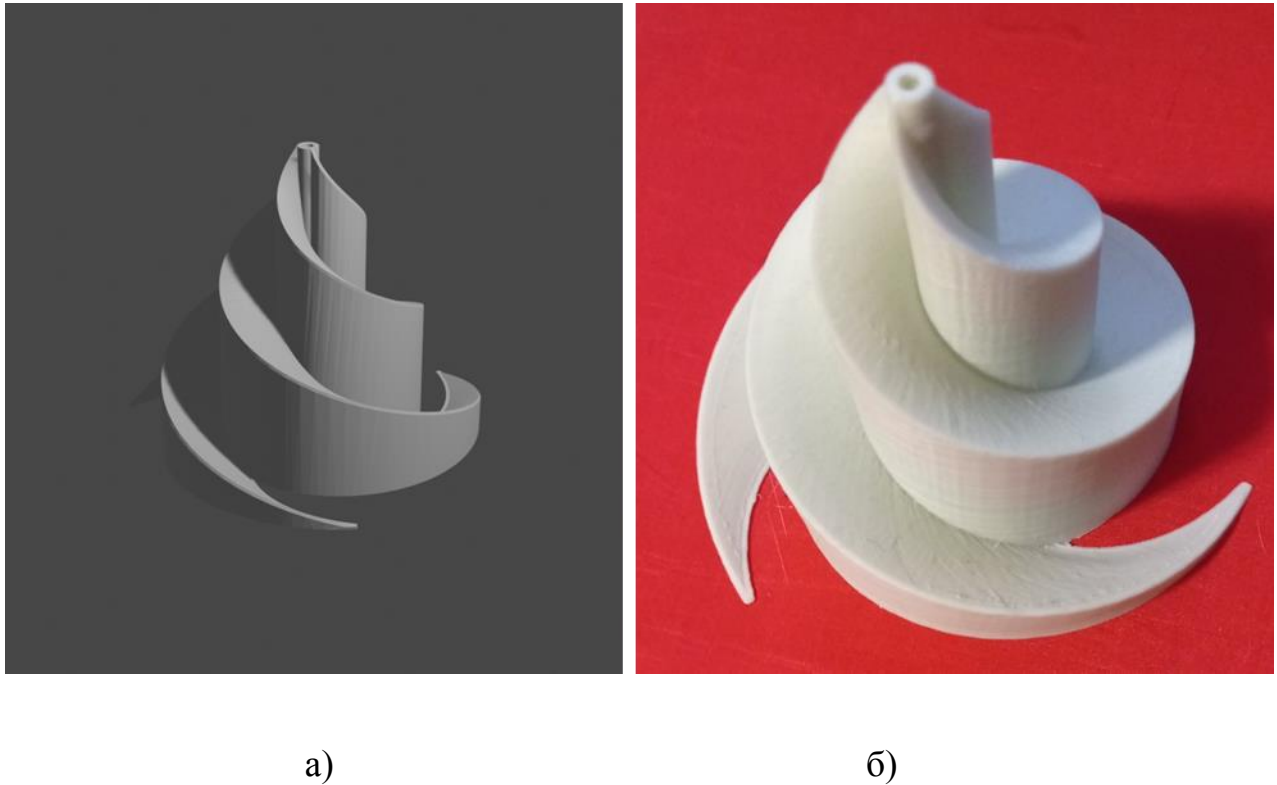


Рис. 3.2. Модель ротора Оніпка в програмі Blender (а), та модель надрукована на 3D – принтеры (б).

Оскільки ідея самого проєкту полягає у створенні повного прототипу ВЕС з описаним ротором, було виконано 3D – моделювання не лише самого ротора, а і системи передавання обертального руху до ротору електрогенератора. Для цього був використаний спеціальний механізм (рис. 3.3). Кожна механічна частина цього механізму може бути виконана за допомогою 3D – друку. Це забезпечить повне спряження всіх деталей механізму

Він складається з конічної зубчатої передачі (рис. 3.4 та рис. 3.5), за допомогою якої передається крутний момент від ротора Оніпка до системи генерації струму. Вибір такої передачі зумовлений необхідністю передачі крутного моменту з горизонтального на вертикальний вал.

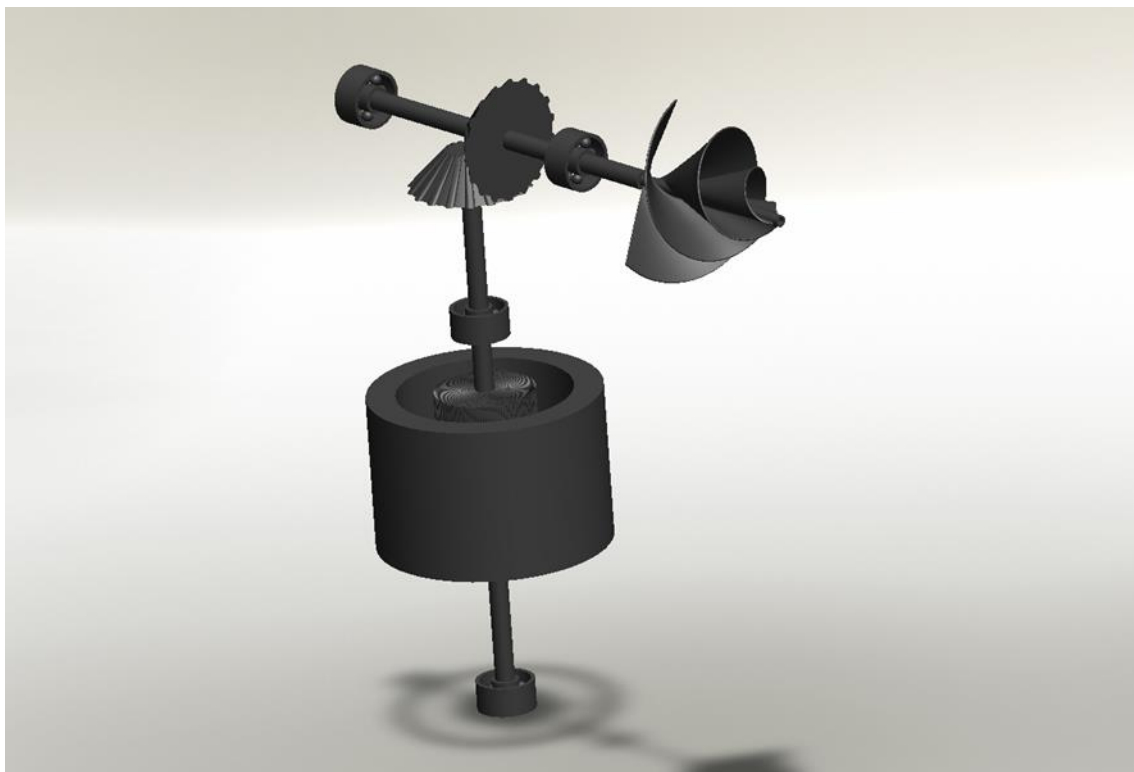


Рис. 3.3 Робоча частина ВЕС

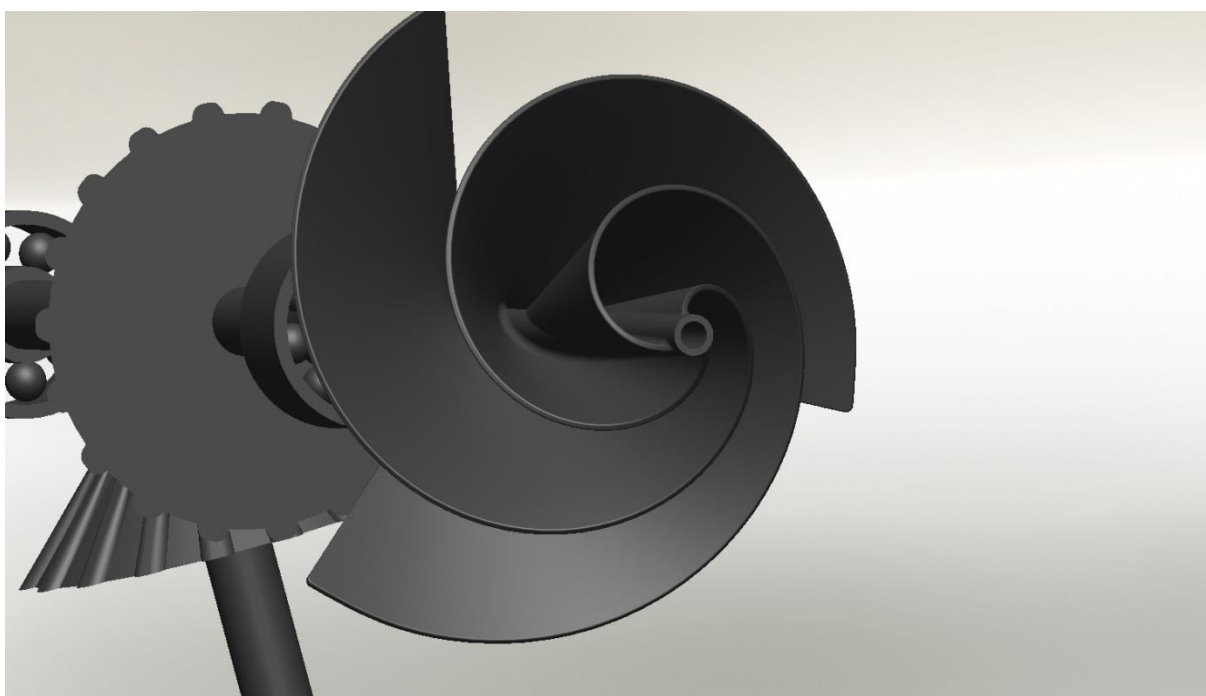


Рис. 3.4 Конічна зубчата передача (вид 1)

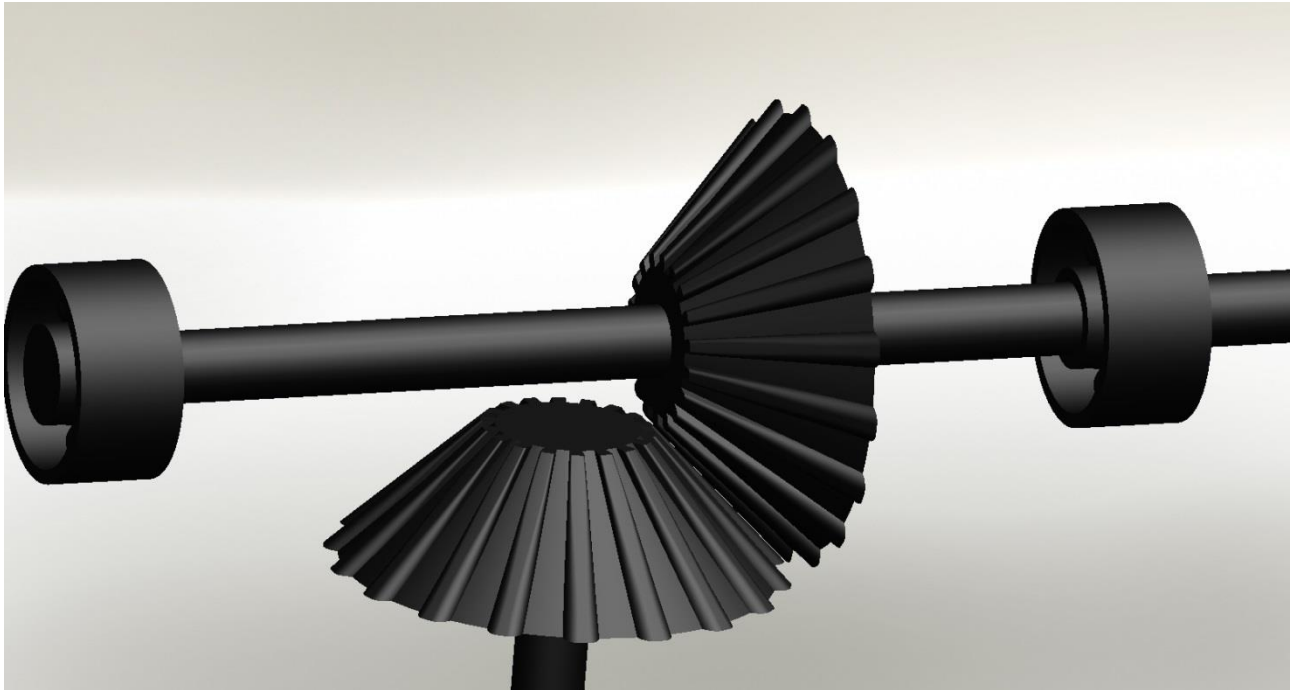


Рис. 3.5 Конічна зубчата передача (вид 2)

3.3. Використання базальтового композиту

Питання безпечної роботи енергосистеми (safe operation of the power) grid) може бути вирішеним шляхом використанням матеріалів з додаванням базальтових волокон. Композит, що пропонується для створення прототипу ВЕС, складається з поліпропелена та базальтової нитки товщиною 13 мкм, що складає 17 %. Структура композита у масштабі 1:30 представлена на рис. 3.6.

Вибір такого композиту зумовлено наступними причинами [33] – [45]. Оскільки місце розміщення конструкцій передбачає наявність несприятливих погодних умов, матеріали конструкції мають бути стійкими до фізичних впливів та хімічно активних середовищ, а також мати високі антикорозійні властивості. Стійкість та міцність конструкції забезпечить її надійність в експлуатації. Легкість матеріалів дозволить зробити конструкцію мобільною. Високі діелектричні показники базальту забезпечують електричний захист ВЕС. Порівняння виробів з металу та базальтового композиту демонструють

збільшення довговічності експлуатації в декілька разів. важливо при використанні в місцях з високим градієнтом температури.



Рис. 3.6 Структура композита у масштабі 1:30

Також базальтові матеріали мають високий рівень звуко- та теплоізоляції, що важливо при використанні в місцях з високим градієнтом температури.

3.4. Система визначення ефективності ротору Оніпко

Аналіз виявлених переваг та недоліків вітряних електростанцій з ротором Оніпко демонструє неоднозначність їх раціонального використання. Для

споживача встановлення такого генератора може викликати певні сумніви. В першу чергу це пов'язано з високою собівартістю самої конструкції. Виникає питання: що може допомогти споживачу обрати саме такий вид нетрадиційного джерела енергії? Ефективність роботи вітрової електричної станції (ВЕС), як зазначалося раніше, в першу чергу пов'язано з природними умовами та територіальними особливостями місцевості її локації. Хоча в технічних характеристиках пристрою зазначено, що він може виробляти енергію навіть при швидкості вітру 3 м/с, для реального споживача така інформація не буде сприйматися на віру. На сьогоднішній момент проведено дослідження потенціалу використання ВЕС в різних регіонах України. На рис 3.7 [46] видно, що в деяких зонах західної України та Київщини стандартна конструкція ВЕС не буде достатньо ефективною і використання конструкцій з ротором Оніпко є особливо актуальним.

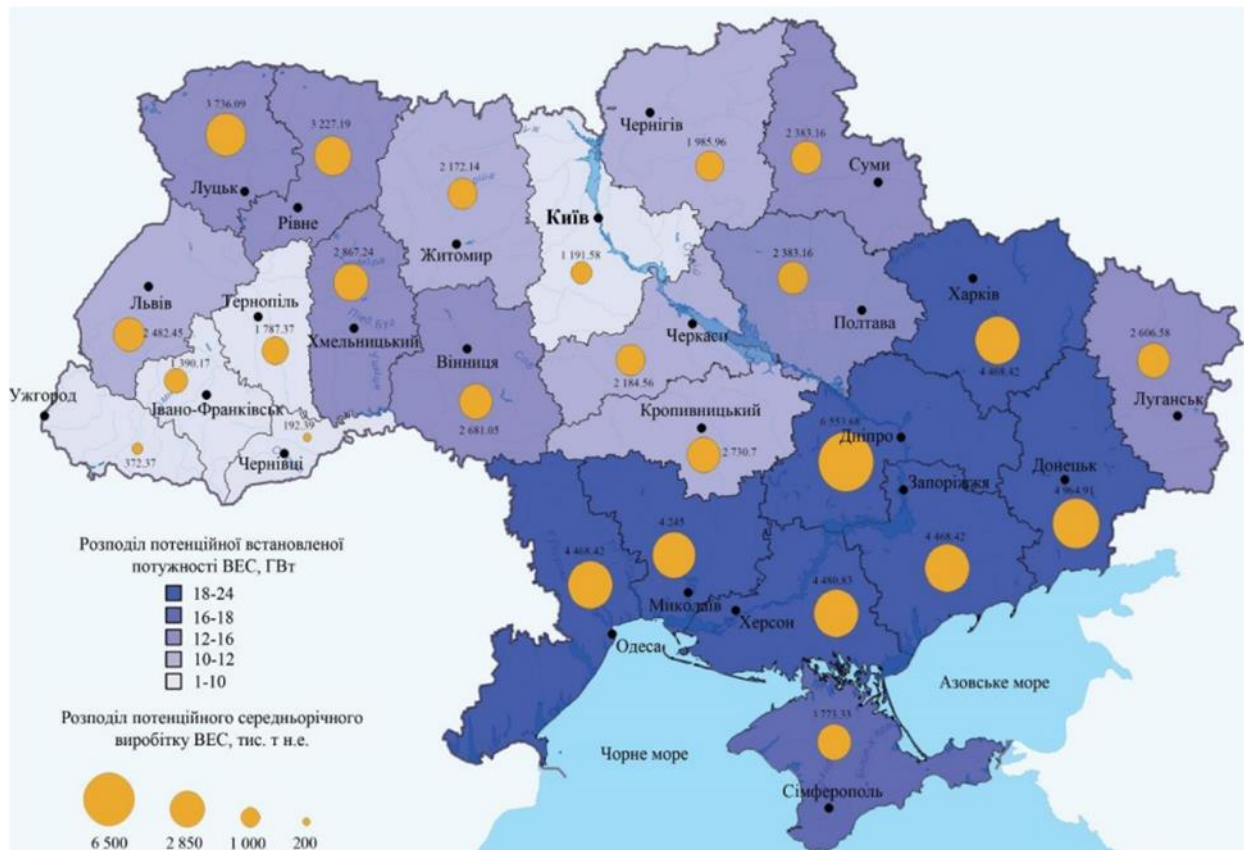


Рис. 3.7 Карта потенційних потужностей ВЕС України

Щоб допомогти споживачам прийняти рішення щодо встановлення даної конструкції, ми пропонуємо використання мобільних прототипів невеликих розмірів. Тимчасова експлуатація орендованих конструкцій дозволить

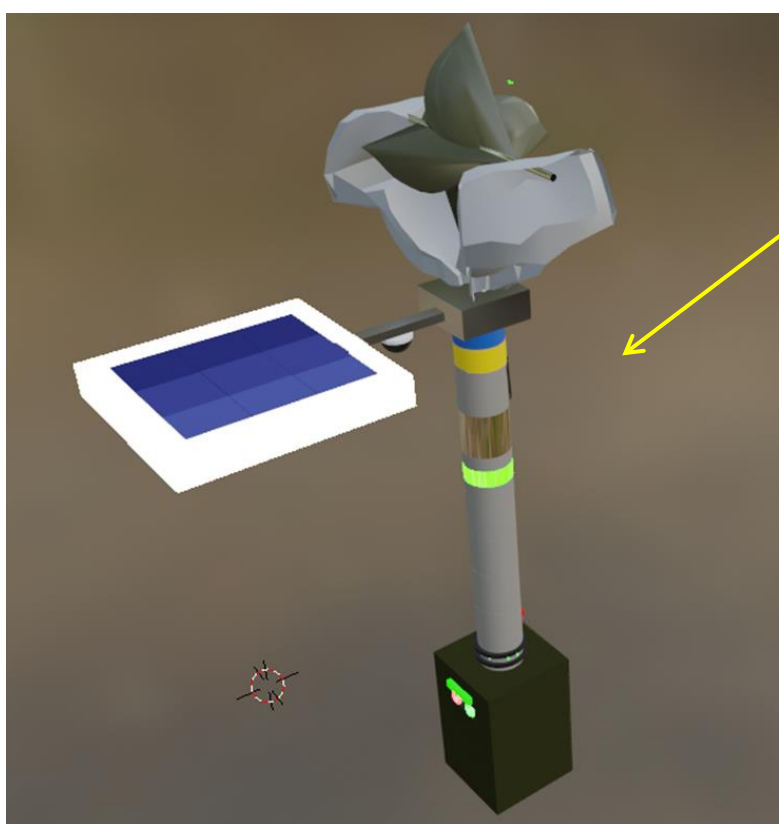
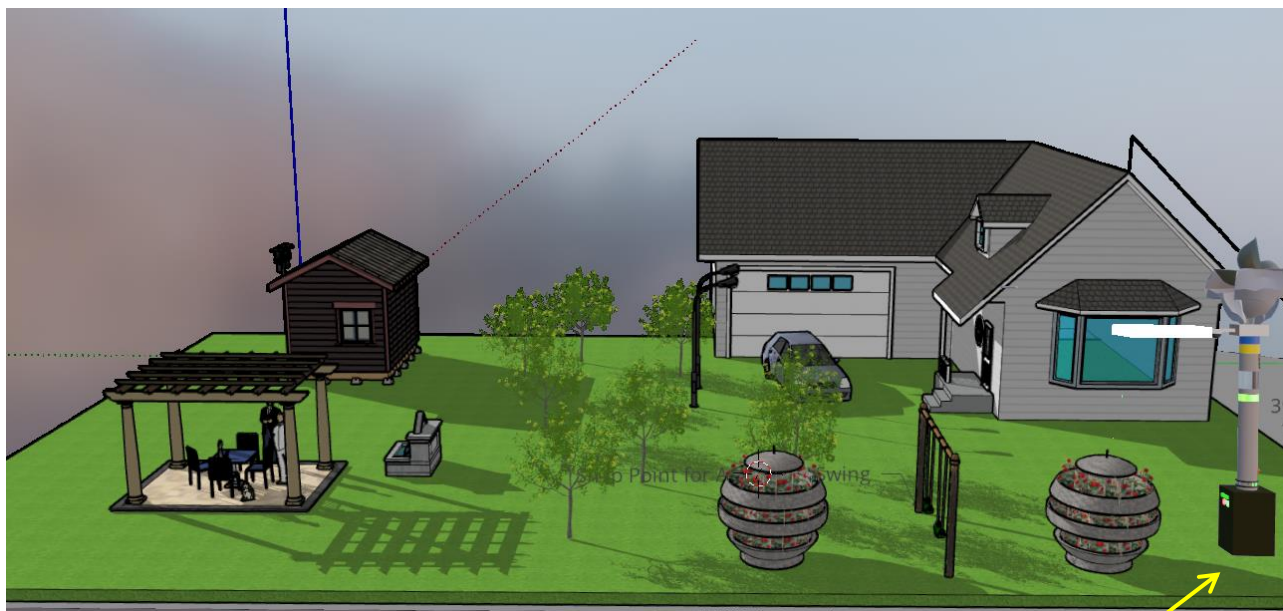


Рис. 3.8 Розміщення прототипів ротору Оніпко для тестування ефективності (рис. 3.8).

Окрім того, в опору можна встановити блок з автоматичною фіксацією виробленої електричної енергії. Це дозволить створювати діаграми розподілу електричної енергії в залежності від часу експлуатації. Така інформація може бути корисною не лише для користувача орендованої конструкції, а і для мешканців сусідніх територій. Створення спеціального мобільного додатку забезпечить доступ всіх потенційних споживачів до результатів роботи конструкції. Це можливо забезпечити шляхом створення активних віртуальних карт, де буде відображатися потужність ВЕС в різні часові інтервали. Загальна схема системи моніторингу представлена на рис. 3.9.



Рис. 3.9 Система моніторингу ефективності використання ВЕС з ротором Оніпко

Подібна інформація щодо стану радіоактивного забруднення середовища вже неодноразово використовувалася для створення інтерактивних карт. Так,

наприклад, в Інституті ядерних досліджень (IRSN) у Франції це реалізовувалося за допомогою спеціальних дозиметрів та додатку «Open Radiation».

Мобільність конструкції з ротором Оніпко буде забезпечуватися шляхом використання легкого матеріалу – композиту на основі базальту.

Така система надасть можливість не лише отримувати електроенергію з екологічно чистих джерел, а і надати можливість мешканцям отримувати прибуток за рахунок продажу «зеленої енергії». Також створені прототипи можуть бути використані для визначення правильної орієнтації ВЕС. При необхідності такі системи можуть доповнюватися сонячними панелями (див. рис. 3.8), що забезпечить більшу потужність. В даному випадку ми не розглядаємо систему накопичення електроенергії від різних джерел, але на сьогоднішній момент розробляються подібні генератори з акумуляторами.

Висновки до третього розділу

Розглянуті рівняння турбулентного потоку для ротора Оніпко, розв'язання яких потребують використання однієї з моделей турбулентності. Проаналізовані параметри, які впливають, як на вибір моделі, так і на граничні умови задачі. Кількість параметрів, що мають бути враховані при моделюванні процесу є досить значною, а також можуть спонтанно змінюватися при експлуатації ротора в реальних умовах.

Така складність аналітичного розв'язання задачі обертання ротора в потоці стала причиною пошуку альтернативного методу оцінки ефективності ротору за допомогою прототипу.

Завдяки сучасним методам 3D – друку можна створити прототип генератора з ротором Оніпко для діагностики ефективності його встановлення в певних регіональних зонах України. З метою створення прототипу була розроблена 3D – модель, як самого ротора в програмі Blender, так і системи передачі руху між вертикальними та горизонтальними валами в програмі SolidWork.

Розроблений алгоритм передачі інформації на інтерактивну карту України для відкритого доступу всіх потенціальних споживачів.

ВИСНОВКИ

Подана диплома робота присвячена розробці системи моніторингу інтенсивності вітрогенераторів з ротором Оніпко. Отримавши велику кількість нагород цей винахід не отримав широкого застосування в реальних умовах. Тому метою даного проекту стало створити систему визначення ефективності генератора з ротором Оніпко в різних територіальних зонах України.

Щоб не вдаватися до складних процесів моделювання режимів роботи генератора, які можуть не передбачити поведінку ротора в реальних умовах було запропоновано створення мобільних прототипів роторів.

Для дотримання екологічності використання прототипів було обрано спеціальний матеріал – композит, до складу якого входить базальтове волокно. Були досліджені властивості цього волокна, а особливо його стійкість до різних атмосферних явищ.

Оскільки конструкція ротору може мати декілька варіацій для створення прототипу було використано 3-D моделювання. Після отримання такої моделі її можна роздрукувати на 3D принтері, використовуючи різні матеріали. Такими матеріалами можуть бути і спеціальні композити з базальтовим волокном. Виготовлений прототип має бути модульним, легким та мобільним для використання в різних територіальних зонах України.

Він може бути використаний для досліджень та тестування в різних умовах, щоб підтвердити його ефективність та надійність. Зважаючи на те, що вітроенергетика стає все більш популярною, можна очікувати, що інші країни також проявлять інтерес до цієї технології та проведуть відповідні дослідження.

Систему моніторингу ефективності вітрогенератора пропонується проводити за допомогою спеціальних мобільних додатків, які в режимі

реального часу зможуть передавати інформацію на інтерактивну карту України. Всі бажаючі встановити у себе подібний генератор зможуть оцінити його ефективність за даними карти, а також зв допомогою створеного прототипу. Так кожний потенціальний споживач зможе вирішити питання доцільності встановлення подібного генератора.

Система виготовлення прототипів за допомогою моделювання дозволить вносити зміни в конструкції та створювати конструкції потрібного розміру та дизайну. В цьому і полягає основна перевага використання 3D друку, як основного технологічного процесу. розроблено з урахуванням усіх норм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/biznes-zaklikav-radu-ne-stvorjuvati-pereshkod-dlya-vitrovoi-energetiki/>
2. Mohan Kumar, P.; Sivalingam, K.; Lim, T.-C.; Ramakrishna, S.; Wei, H. Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Large Wind Turbines. *Clean Technol.* **2019**, *1*, 205-223.
<https://doi.org/10.3390/cleantechnol1010014>
3. Sarkar, D., Sengupta, A.R. (2022). Performance Study of a Cambered Blade H-Rotor by CFD Analysis. In: Sikdar, B., Prasad Maity, S., Samanta, J., Roy, A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Communication, Devices and Computing. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 851. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9154-6_30
4. What's the Difference Between Vertical and Horizontal Wind Turbines?
<https://www.semprius.com/vertical-vs-horizontal-wind-turbines/>
5. Menet, Jean-Luc & Bourabaa, Nachida Increase in the Savonius rotors efficiency via a parametric investigation, 2004
6. Freehill-Maye, Rotating Sails Help to Revive Wind-Powered Shipping. Scientific American. Retrieved November 11, 2021.

7. Основи вітроенергетики / Г. Півняк [та ін.] // Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2015.
8. MingYang Smart Energy launches MySE 16.0-242, the world's largest offshore Hybrid Drive wind turbine. — 2021. — URL: <http://www.myse.com.cn/en/jtxw/info.aspx?itemid=825>.
9. Обухов С.Г. Вітроенергетичні установки малої потужності. Технічні характеристики, моделювання, раціональний вибір // Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. №3. 88 с.
10. David Jesús Yáñez Villarreal VIV resonant wind generators, Vortex Bladeless S.L., 2020.
11. Sanderse, B., van der Pijl, S.P. and Koren, B. Review of computational fluid dynamics for wind turbine wake aerodynamics. *Wind Energy*, 2011, 14, 799–819.
12. Vafiadis, K, Stergiannis, N, & Turlidakis, A. "Computational Flow Analysis of Wind Farms Using a Simplified Rotor Disc Model With Radially Varying Thrust Coefficient." *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition. Volume 3B: Oil and Gas Applications; Organic Rankine Cycle Power Systems; Supercritical CO2 Power Cycles; Wind Energy*. Düsseldorf, Germany. June 16–20, 2014. V03BT46A001. ASME. <https://doi.org/10.1115/GT2014-25006>
13. Larsen, G. C., Carlen, I., and Schepers, J. G.: Fatigue life consumption in wake operation, *Proceedings: European Wind Energy Conference 25 and Exhibition 1998*, Dublin, Ireland, Irish Wind Energy Association, pp. 605—610.
14. Mikkelsen, R.: Actuator disc methods applied to wind turbines, Ph.d thesis, Technical University of Denmark, 2003.
15. Stergiannis, N., van Beeck, J., and Runacres, M. C.: Full HAWT rotor CFD simulations using different RANS turbulence models compared with actuator disk and experimental measurements, *Wind Energ. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/wes-2017-6>, 2017.

- 16.NACA 4415 airfoil. — 2022. — URL:
<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4415-ild>.
- 17.Ротор Оніпка для перетворення руху енергетичного потоку в обертовий рух і навпаки : пат. 102689 Україна : F03D 1/06, F03B 3/12, B64C 11/00, B63H 1/14 / О.Ф. Оніпко. - № а 2010 13524 ; заявл. 15.11.2010 ; опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15. – 5 с
18. Acar, Volkan, Ferit Cakir, Elif Alyamaç and M.Özgür Seydibeyoğlu. Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites. 169-185, Chapter 8. Woodhead Publishing, 2017.
- 19.Dhand, Vivek, Garima Mittal, Kyung-Yop Lee, Soo-Jin Park and David Hui. "A brief review of basalt fibre reinforced polymer composites". Composite Materials, Part B: Engineering 73 (2015): 166-180.
20. Fiore, V., T. Scalici, G. Di Bella and A. Valenza. "A review of basalt fibre and its composites". Composite Materials, Part B: Engineering 74 (2015): 74-94.
- 21.Matykiewicz, D.; Barczewski, M.; Knapski, D.; Skorczewska, K. Hybrid effect of basalt fibres and basalt powder on thermomechanical properties of epoxy composites. Compos. B Engl. 2017, 125, 157-164.
- 22.Dick, T.; Czigany, T. Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibres: a comparison. text. res. J. 2009, 79, 645-651
23. Antonov, M.; Kers, J.; Liebert, L.; Shulyak, V.; Smirnov, A.; Bartolomé, JF Influence of the type and content of basalt reinforcement on abrasive wear of polymer composites. Key Engl. Mater. 2016 , 674 , 181-188.
- 24.Stergiannis, N., van Beeck, J., and Runacres, M. C.: Full HAWT rotor CFD simulations using different RANS turbulence models compared with actuator disk and experimental measurements, Wind Energ. Sci. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/wes-2017-6>, 2017.
- 25.Frendi, A.; Harrison, C. Partially Averaged Navier-Stokes: A $(k-\omega)/(k-\epsilon)$ Bridging Model. Fluids 2020, 5, 129. <https://doi.org/10.3390/fluids5030129>

26. Stefan Heinz, Reza Mokhtarpour, Michael Stoellinger; Theory-based Reynolds-averaged Navier–Stokes equations with large eddy simulation capability for separated turbulent flow simulations. *Physics of Fluids* 1 June 2020; 32 (6): 065102. <https://doi.org/10.1063/5.0006660>
27. blender3d.com.ua/blender-basics
28. <https://docs.blender.org/manual/uk/latest/index.html>
29. <https://www.blender.org/>
30. Трьохмірне моделювання у програмі SolidWORK. Методичні вказівки та інструкція до виконання індивідуальних контрольних робіт. // Шпак Я.В., Ланець О.С., Гурський В.М. – Львів: Рукопис, 2011. – 30 с
31. Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В. Інженерна графіка в SolidWorks. Навчальний посібник для студентів ВНЗ технічних спеціальностей, Луцьк 2018
32. Betz A. Introduction to the theory of flow machines. — Elsevier, 2014
33. Kim, Hodong. "Enhancement of thermophysical properties of basalt fibre reinforced epoxy composite". *Fibres and Polymers* 14(8), (2013): 1311-1316.
34. Manikandan, V., J. T. Vinovlin Japps, S. M. Suresh Kumar and P. Amuthakkannan. "Investigation of the effect of surface modifications on the mechanical properties of polymer composites reinforced with basalt fibre". *Composite Materials Part B: Engineering* 43(2), (2012): 812-818.
35. Song, Jianbin, Jianxun Liu, Huiliang Zhang, Wenbin Yang, Lihong Chen, Yumei Zhong and Changcheng Ma. "PVDF/PMMA/basalt fibre composite materials: morphology, melting and crystallisation, structure, mechanical properties and thermal stability". *Journal of Applied Polymer Science* 131(13), (2014): 40494.
36. Баштанник П.І., Кабак А.І., Яковчук Ю.Ю. «Вплив адгезійної взаємодії на механічні властивості термопластичних базальтопластиків». *Механіка композиційних матеріалів* 39(1), (2003): 85-88.

37. Varley, Russell J., Wendy Tian, K.H. Leong, Alan Y. Leong, Flavio Fredo, and Marino Quaresmin. "Effect of surface treatments on the mechanical properties of basalt reinforced epoxy composites". *Polymer Composites* 34(3) (2013): 320-329
38. Zhang, Xinrui, Xiangqiang Pei and Qihua Wang. "Friction and wear properties of polyimide matrix composites reinforced with short basalt fibres". *Journal of Applied Polymer Science* 111(6) (2009): 2980-2985.
39. Zhang, Xinrui, Xiangqiang Pei and Qihua Wang. "Friction and wear properties of basalt fibre reinforced polyimide composites/solid lubricants under different sliding conditions". *Journal of Applied Polymer Science* 114(3), (2009): 1746-1752.
40. Shokri, Mahmoud M. and Mahdi Memar. "Corrosion cracking of basalt/epoxy composites under bending load". *Applied Composites* 17 (2) (2010): 121-135.
41. Dorigato, A. and A. Pegoretti. "Fatigue resistance of laminates reinforced with basalt fibres". *Journal of Composite Materials* 46 (15) (2012): 1773-1785.
42. Deak, Tamás and Tibor Csihanyi. "Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibres: a comparison". *Textile Research Journal* 79 (7) (2009): 645-651.
43. King, M., V. Srinivasan and T. Purushothaman. "Basalt fibre - an ancient material for innovative and modern applications". *Middle East Journal of Scientific Research* 22(2) (2014): 308-312.
44. Colombo, K., L. Vergani and M. Burman. "Static and fatigue performance of novel basalt fibre reinforced composites". *Composite Structures* 94(3), (2012): 1165-1174.
45. Cerny, M., P. Glogar and Z. Suharda. "Mechanical properties of basalt fibre-reinforced composites prepared by partial pyrolysis of a polymeric precursor". *Journal of Composite Materials* 43(9), (2009): 1109-1120.
46. 1.ДСТУ – Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія.

ДОДАТКИ



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102689** (13) **C2**

(51) МПК (2013.01)
F03D 1/06 (2006.01)
F03B 3/12 (2006.01)
B64C 11/00
B63H 1/14 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2010 13524</p> <p>(22) Дата подання заявки: 15.11.2010</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 12.08.2013</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 25.05.2012, Бюл.№ 10</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.08.2013, Бюл.№ 15</p>	<p>(72) Винахідник(и): Оніпко Олексій Федорович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Оніпко Олексій Федорович, вул. Ватутіна, 29, с. Осикове, Макарівський р-н, Київська обл., 08063 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 69486 C2, 15.09.2004 CN 201100213 Y, 13.08.2008 DE 3312977 A1, 18.10.1984 EP 2012006 A1, 07.01.2009 GB 219189 A, 24.07.1924</p>
---	--

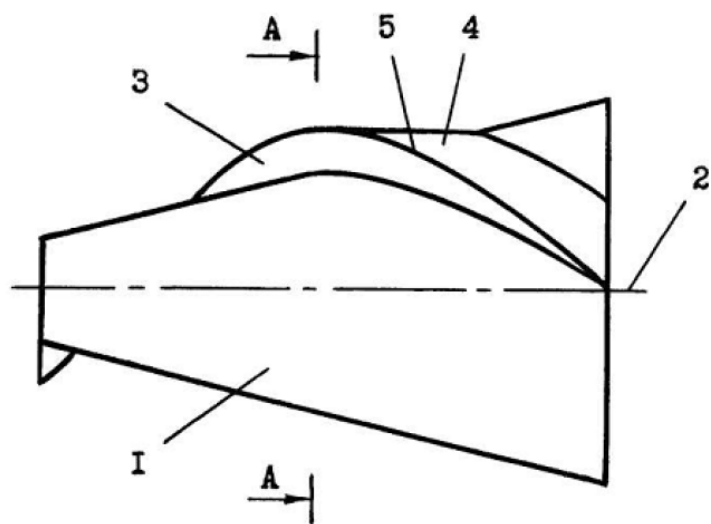
(54) РОТОР ОНІПКА ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ РУХУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТОКУ В ОБЕРТОВИЙ РУХ І НАВПАКИ**(57) Реферат:**

Винахід належить до рушіїв або насосів, що працюють у плинному середовищі. Ротор для перетворення енергії руху потоку в енергію обертового руху і навпаки має конусоподібний корпус зі спіралеподібними лопатями. Площа однієї бокової поверхні спіралеподібної лопаті щонайменше в два рази більша за площу протилежної бокової поверхні лопаті. Вона плавно нахилена навкруги і до основи конусоподібного корпуса. Під час обертання ротора перетікання потоку через вершину лопаті і його завихрення дещо гальмується похилою поверхнею зворотного боку лопаті. Винахід сприяє зменшенню завихрень у потоці і підвищенню ККД.

UA 102689 C2

Продовження Додатку А

UA 102689 C2



Фиг. 1

Продовження Додатку А

UA 102689 C2

Винахід належить до галузі машинобудування, зокрема до виробництва роторів для вітрогенераторів, гідротурбін, вентиляторів і двигунів літальних апаратів.

Відомий ротор (RU № 2336669 H05K 7/20) містить циліндричний корпус з конусоподібним торцем, з'єднаний із багатьма спіралеподібними лопатями у вигляді багатозахідного шнека, які розташовані на поверхні конусоподібного корпуса навкруги його осі. Кожна з лопатей розташована на початковій ділянці циліндричної поверхні корпуса з кутом атаки не більше 10° зі збільшенням кута атаки до 90° на кінцевій конусоподібній його ділянці. Перша і друга бокові поверхні спіралеподібної лопаті з'єднані на її вершині.

Збігаються зі суттєвими ознаками відомого ротора конусоподібний корпус, з'єднаний із багатьма спіралеподібними лопатями, які розташовані на поверхні конусоподібного корпуса навкруги його осі. Перша і друга бокові поверхні кожної спіралеподібної лопаті з'єднані на її вершині.

При обертанні лопаті відомого ротора частина енергетичного потоку утворює безпосередньо за вершиною лопаті турбулентні потоки надмірної інтенсивності, що сприяє надмірному обміну енергією цієї частини енергетичного потоку та лопаті і, як наслідок, надмірному гальмуванню лопаті.

Відомий ротор (RU № 2378155 B64C 11/00) містить корпус у вигляді втулки, з'єднаний із багатьма лопатями, утвореними плоскими поверхнями і розташованими навкруги його осі. Група перших бокових поверхонь лопатей своїм переднім краєм встановлена під позитивним кутом, група других бокових поверхонь лопатей - під від'ємним кутом до площини, перпендикулярній вектору окружної швидкості перерізу лопаті. Кінці обох груп бокових поверхонь лопатей з'єднані між собою.

Збігаються зі суттєвими ознаками відомого ротора корпус, з'єднаний з багатьма лопатями, які розташовані навкруги його осі. Перша і друга поверхні кожної лопаті з'єднані на її вершині. Площа другої бокової поверхні кожної лопаті нахилена до поверхні корпуса.

Недолік відомого ротора такий, як у першого аналога.

Відомий ротор (RU № 2156883 F03B 3/12, 3/04) містить корпус з конусом, з'єднаний із багатьма спіралеподібними лопатями, розташованими навкруги його осі у вигляді пропелера. Кожна з них закріплена на корпусі з'єднувальними фланцями у формі прямокутника. Перша і друга бокові поверхні кожної спіралеподібної лопаті з'єднані на її вершині.

Збігаються зі суттєвими ознаками відомого ротора корпус, з'єднаний з багатьма спіралеподібними лопатями, які розташовані навкруги його осі. Перша і друга поверхні кожної лопаті з'єднані на її вершині.

Недолік відомого ротора такий, як у першого аналога.

Відомий ротор (UA № 69486 F03D 1/00, 1/06, 7/04), вибраний за прототип, містить конусоподібний корпус, з'єднаний із багатьма спіралеподібними лопатями, які розташовані на поверхні конусоподібного корпуса навкруги його осі. Кожна спіралеподібна лопать виконана як стрічка, площа якої збільшується до основи конусоподібного корпуса. Перша і друга бокові поверхні спіралеподібної лопаті з'єднані на її вершині.

Збігаються зі суттєвими ознаками відомого ротора конусоподібний корпус, з'єднаний із багатьма спіралеподібними лопатями, які розташовані на поверхні конусоподібного корпуса навкруги його осі. Перша і друга бокові поверхні кожної спіралеподібної лопаті з'єднані на її вершині.

Недолік відомого ротора такий, як у першого аналога.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення відомого ротора, у якому шляхом зміни конструкції зменшено інтенсивність турбулентних потоків за вершиною лопаті, їх обмін механічною енергією з лопаттю і, як наслідок, зменшено гальмування лопаті.

Ця задача вирішуються тим, що в роторі для перетворення руху енергетичного потоку в обертотий рух і навпаки, який містить конусоподібний корпус, з'єднаний із щонайменше однією спіралеподібною лопаттю, яка розташована на поверхні конусоподібного корпуса навкруги його осі, перша і друга бокові поверхні спіралеподібної лопаті з'єднані на її вершині, згідно з винаходом площа другої бокової поверхні спіралеподібної лопаті щонайменше в два рази більша площі першої бокової поверхні спіралеподібної лопаті і плавно нахилена навкруги і до основи конусоподібного корпуса

Сукупність наведених основних ознак ротора для перетворення руху енергетичного потоку в обертотий рух і навпаки забезпечує зменшення інтенсивності турбулентних потоків і гальмування ними лопаті. Крім того, як додатковий позитивний ефект, зменшується інтенсивність побічних звукових коливань в повітряному середовищі і побічних хвильових або кавітаційних процесів у рідині.

Продовження Додатку А

UA 102689 C2

На фіг. 1 схематично зображено ротор для перетворення руху енергетичного потоку в обертотий рух і навпаки, на фіг. 2 - його поперечний переріз, на фіг. 3 - поперечний переріз подібного ротора з чотирма лопатями.

5 Конусоподібний корпус 1 з'єднаний біля своєї центральної осі 2 з елементом кріплення до двигуна, наприклад валом, який на рисунках не показаний. На поверхні конусоподібного корпуса 1 навкруги його осі розташована спіралеподібна лопать з першою боковою поверхнею 3 і другою боковою поверхнею 4. Обидві бокові поверхні 3 і 4 утворюють у місці їх дотику вершину 5. Площа другої бокової поверхні 4 в три-п'ять разів більша площі першої бокової поверхні 3 і плавна нахилена навкруги і до основи конусоподібного корпуса 1. У варіанті, коли кількість 10 лопатей три і більше, друга бокова поверхня 4 може бути подовжена до місця кріплення першої бокової поверхні 3 до поверхні конусоподібного корпуса 1, як показано на фіг. 3.

Ротор для перетворення руху енергетичного потоку в обертотий рух і навпаки працює таким чином.

Варіант 1. При використанні ротора у складі вітрогенератора вітровий потік через тиск на 15 флюгер орієнтує вершину конусоподібного корпуса 1 з центральною віссю 2 проти напрямку свого руху. Вітровий потік розтинається поверхнею конусоподібного корпуса 1, стикається з першою боковою поверхнею 3 спіралеподібної лопаті, утворює крутий момент, який спричиняє обертання ротора. Одна частина вітрового потоку відбивається під кутом від першої бокової поверхні 3, інша його частина переходить через вершину 5 і плавно обтікає другу бокову 20 поверхню 4 до зустрічі з відкритою поверхнею конусоподібного корпуса 1, з першою боковою поверхнею 3 або виходить за лінію основи конусоподібного корпуса 1. При цьому частина вітрового потоку за вершиною 5 не зустрічає перешкод під великими кутами атаки, утворює турбулентні потоки невеликої інтенсивності, які невеликою мірою передають механічну енергію лопаті і гальмують її рух.

25 Крім того, частина вітрового потоку за вершиною 5 утворює прилеглі до другої бокової поверхні 4 ламінарні потоки, швидкість яких суттєво перевищує швидкість навколишнього вітрового потоку, що спричиняє появу сил, які сприяють обертанню ротора.

Варіант 2. При використанні ротора у складі гідротурбіни потік води через тиск на руль орієнтує вершину конусоподібного корпуса 1 з центральною віссю 2 проти напрямку свого руху. Потік води взаємодіє з елементами ротора аналогічно тому, як викладено у варіанті 1 з 30 урахуванням відмінностей у фізичних властивостях енергетичних потоків.

Варіант 3. При використанні ротора у складі вентилятора його встановлюють за вибраним напрямком і обертають навкруг осі 2 із набіганням першої бокової поверхні 3 на навколишнє повітря. Повітря взаємодіє з елементами ротора аналогічно тому, як викладено у варіанті 1 з 35 урахуванням того, що його приток здійснюється зі сторони основи конусоподібного корпуса 1 та із радіальних напрямків, а нагнітання - в бік вершини конусоподібного корпуса 1.

Варіант 4. При використанні ротора як повітряного гвинта гелікоптера його встановлюють вершиною конусоподібного корпуса 1 вниз і обертають навкруг осі 2 із набіганням першої бокової поверхні 3 на навколишнє повітря. Повітря взаємодіє з елементами ротора аналогічно 40 тому, як викладено у варіанті 3. При збільшенні числа обертів і за умов виконання необхідних аеродинамічних узгоджень щодо параметрів гелікоптера і його повітряного гвинта, механічної енергії повітряного потоку, яка діє на першу бокову поверхню 3, стає достатньою для початку руху гелікоптера. Прискоренню цього моменту сприяє обтікання повітрям другої бокової 45 поверхні 4.

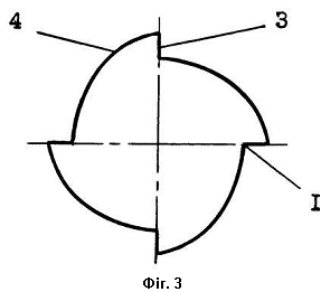
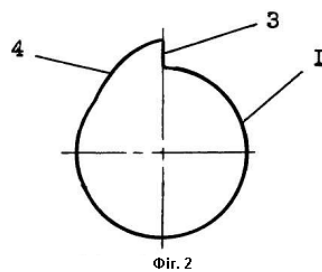
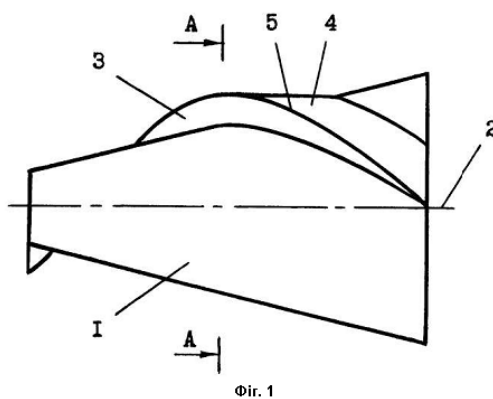
Ротор для перетворення руху енергетичного потоку в обертотий рух і навпаки, який пропонується, має високу ефективність і сприяє зменшенню шумів та вібрацій сполучених з ним механізмів.

ФОРМУЛА ВНАХОДУ

50 Ротор для перетворення руху потоку в обертотий рух і навпаки, який містить конусоподібний корпус, зв'язаний із щонайменше однією спіралеподібною лопаттю, яка розташована на поверхні конусоподібного корпуса навкруги його осі, перша і друга бокові поверхні спіралеподібної лопаті зв'язані на її вершині, який відрізняється тим, що площа другої бокової 55 поверхні спіралеподібної лопаті щонайменше в два рази більша площі першої бокової поверхні спіралеподібної лопаті і плавно нахилена навкруги і до основи конусоподібного корпуса.

Продовження Додатку А

UA 102689 C2



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601