

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ
УСТАНОВКИ

Виконав студент VI курсу, групи ЕММ-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кулієвич С.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Шелестовський Б.Г.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 63 сторінки, 23 аркуші презентації, 23 ілюстрацій та 21 використане першоджерело.

Метою роботи є запропонувати нову енергоефективну конструкцію ВЕУ, що має спіральні лопаті, яка може бути використана для підвищення надійності енергопостачання віддалених та ізольованих споживачів.

Обґрунтовано конструктивно-компонувальну схему ВЕУ зі спіральними лопатями малої потужності. ВЕУ зі спіральними лопатями має принципово нову лопатеву систему і дозволяє: знизити навантаження, що діють на максимально віддалені частини лопатей, викликані силою опору вітру, що підвищує надійність установки, знизити вібрацію лопатей, за рахунок відсутності вільного кінця лопаті і кріплення підставки лопаті в двох точках, що в свою чергу знижує шумові впливи на навколишнє середовище і підвищує надійність установки. Також установка самопозиціонується на вітер за рахунок присутності ексцентриситету осі обертання.

Ключові слова: ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА, ВІТРОКОЛЕСО, ЛОПАТЬ, ВІТЕР, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 Вітрова енергетика	11
1.2 Аналіз конструкцій безфлюгерних вітрогенераторів малої потужності.....	17
1.3 Аналіз експериментальних досліджень вітроенергетичних установок.....	20
1.4 Висновки до розділу	24
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	25
2.1 Особливості ротора ВЕУ зі спіральними лопатями	25
2.2 Геометрична модель ротора ВЕУ зі спіральними лопатями.....	27
2.3 Форма профілю лопаті.....	30
2.4 Висновки до розділу	35
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Методика розрахунку профілю лопаті.....	37
3.2 Результати аналізу та вибору форми лопатей	41
3.3 Кут установки лопаті	43
3.4 Висновки до розділу	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	51
4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок	51
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В.....	53

4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у

воєнний час	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61

ВСТУП

В даний час розвиток енергетики більшості країн світу базується на використанні традиційних викопних видів палива. Подальший розвиток енергетики в цьому напрямку в довгостроковій перспективі буде стримуватися екологічними, ресурсними і соціальними обмеженнями. Екологічні обмеження обумовлені прагненням світового співтовариства обмежити, а в перспективі і знизити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих викидів в навколишнє середовище. Ресурсні обмеження пов'язані з вичерпністю традиційних видів палива вже в осяжній перспективі. Соціальні обмеження обумовлені, небажанням великих мас людей жити в довкіллі що погіршується. Наявність цих об'єктивних стримуючих обмежень привело нині до широкомасштабного розвитку відновлюваної енергетики як у промислово розвинених, так і в країнах, що розвиваються.

Відновлювана енергія існує в навколишньому середовищі постійно і не потребує спеціальних витрат на своє вивільнення. Прогноз розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) показує, що їх частка в світовому балансі енергоспоживання до 2030 року може скласти до 20 % (без обліку великої гідроенергетики). При цьому необхідно інтенсивне і набагато більш широке впровадження ВДЕ, так як кожне нове джерело потребує від 30 до 50 років для того, щоб його частка в загальному енергобалансі зростає з 1 до 10 %.

Сьогодні у всьому світі спостерігається інтенсивний приріст потужності відновлюваної енергетики. Важливим фактором її випереджального розвитку в різних країнах, незалежно від їх розмірів, географічного положення, економічного стану та ресурсної бази енергетики, є екологічні переваги поновлюваних джерел і постійно розвиваються технології підвищення екологічної безпеки установок на основі ВДЕ. У багатьох країнах відбувається вирівнювання вартості енергії традиційних джерел і ВДЕ, насамперед, у зв'язку з жорсткістю екологічних вимог і підвищення вартості енергії традиційних електростанцій, особливо вугільних. Між тим, вартість обладнання

відновлюваної енергетики безперервно знижується за рахунок технологічної досконалості.

Враховуючи сумарну кінетичну енергію вітрового потоку в приземному шарі Землі, оцінюється величиною порядку $19,6 \cdot 10^{10}$ МВт, важливе значення набувають наукові розробки, спрямовані на залучення цього енергетичного потенціалу для корисного використання його різними споживачами.

Сучасний період характеризується високими темпами освоєння світового вітроенергетичного потенціалу. Так, на кінець 2005 року загальна встановлена потужність вітроелектричних станцій (ВЕС) в світі склала 60 ГВт (у Європі - 40,8 ГВт). Бурхливий розвиток світової вітроенергетики зробили вітроенергетичні установки (ВЕУ) конкурентоспроможними по відношенню до традиційних джерел енергії. Оцінка світового вітроенергетичного ринку складає зараз близько 11 млрд. доларів на рік. До 2012 року сумарна встановлена потужність ВЕС у світі повинна скласти 160 ГВт, до 2020 року - 1200 ГВт, а до 2040 року - до 3100 ГВт.

Лідерами по введеної потужності ВЕС в 2005 р. стали наступні країни: США (2431 МВт), Німеччина (1808 МВт), Іспанія (1764 МВт), Індія (143 МВт), Португалія (500 МВт) і Китай (4998 МВт). Країнами з найбільшою сумарною встановленою потужністю ВЕС на кінець 2005 р. є Німеччина (18 428 МВт), Іспанія (10 027 МВт), США (9149 МВт), Індія (4 430 МВт), Данія (3122 МВт). Італія, Великобританія, Нідерланди, Китай, Японія, Португалія перевершили рубіж в 1000 МВт, що вважається в даний час необхідним для самопідтримки розвитку в країні. У Данії вже стався перехід вітроенергетики на комерційну основу. Однак, у Німеччині, Іспанії та ряді інших країн ця галузь розвивається завдяки державній підтримці.

Незаперечна перевага вітроенергетики - відсутність емісії парникових газів. За даними EWEA, кожен млн. кВт·год електроенергії, що виробляється на ВЕУ, у порівнянні з вугільними станціями запобігає викидам: вуглекислого газу - 600-750 т, двоокису сірки - 5-8 т, окислів азоту -3-6 т, золи - 40-70 т, пилу - 270-470 кг.

Подальший розвиток вітроенергетики дозволить вирішити проблеми якісного і надійного енергопостачання віддалених та ізольованих споживачів, а також знизить вплив енергетики на навколишнє середовище.

Можна виділити наступні основні фактори, які визначають вітроенергетику як перспективний екологічно чистий напрям:

- світова вітроенергетика розвивається прискореними темпами, випереджаючи існуючі прогнози, що обумовлено її екологічними та економічними перевагами;

- ціна виробництва енергії на ВЕС практично така ж сама, як ціна від традиційних джерел;

- у ряді держав (Німеччина, Данія, Іспанія, Індія) вітроенергетика перетворилася в самостійну і значну галузь електроенергетики.

За останні десятиліття досягнуто значного прогресу в розвитку технологій практичного використання відновлюваних джерел енергії. Це дозволяє очікувати швидкого подолання все ще існуючих технічних і економічних бар'єрів на шляху широкого комерційного застосування автономних джерел на основі ВДЕ. Це насамперед відноситься до регіонів, де інфраструктура централізованого енергопостачання відсутній або недостатньо розвинена.

Результати досліджень, проведених в різних країнах, показують, що автономні енергетичні установки, що працюють з використанням ВДЕ, мають сприятливі економічні перспективи для енергопостачання споживачів, які характеризуються наступними ознаками :

- відсутністю зв'язку з централізованими системами електро- і теплопостачання, неможливістю або надмірно високою вартістю підключення до таких мереж;

- високою вартістю завезення палива для генерування електроенергії і тепла на місці;

- сприятливими умовами для використання первинних поновлюваних джерел енергії, насамперед сонячної і (або) вітрової,

- високими вимогами до охорони навколишнього середовища.

Більшості автономних споживачів енергії потрібні невеликі потужності (від декількох сотень ват до декількох десятків кіловат), причому для багатьох з них вартість енергоустановки не є головним фактором; найбільш важливими виявляються показники надійності, тривалого ресурсу, низьких поточних експлуатаційних витрат. Цим вимогам відповідають автономні енергоустановки, що працюють з використанням поновлюваних джерел енергії, наприклад вітроенергетичні установки.

У сучасних умовах існує необхідність у розробці нових видів технічних систем перетворення енергії вітру та підвищення ефективності вже існуючих.

Всі вище перелічені аргументи і обґрунтовують **актуальність вибору теми даної роботи.**

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є запропонувати нову енергоефективну конструкцію ВЕУ, що має спіральні лопаті, яка може бути використана для підвищення надійності енергопостачання віддалених та ізольованих споживачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналітичний огляд публікацій за темою кваліфікаційної роботи.
2. Проаналізувати зарубіжний та вітчизняний досвід конструювання вітроколес, та вибрати власну конструкцію;
3. Доопрацювати існуючу конструкцію з метою збільшення ефективності використання вітрового потоку;
4. Дослідити та виконати розрахунок енегоефективного профілю лопаті удосконаленої конструкції вітроколеса

Об'єкт дослідження – процеси перетворення енергію поступального руху повітряних мас у енергію обертання вітроколеса.

Предмет дослідження – вітроколесо вітоенергетичної установки.

Наукова новизна отриманих результатів.

Сформульовано вимоги та запропоновано складну конструкцію

вітроколеса із спіральними лопатями, розрахунок геометричних розмірів яких виконується за запропонованою методикою.

Практичне значення отриманих результатів.

Впровадження, отриманих в результаті розрахунків та досліджень, конструктивних рішень спіральних лопатей забезпечить підвищення енергетичних характеристик та покращення експлуатаційних характеристик вітроенергетичної установки.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на ІХ Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 2020 року. ТНТУ [1].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань (19 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 63 сторінки, 23 рисунки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вітрова енергетика

Два останніх десятиліття для країни були і залишаються економічно дуже складними з усіх питань, в тому числі і в плані стану, тобто безпеки роботи, атомних блоків. Через недоотримання грошей ядерним енергетичним комплексом України АЕС не мали коштів для проведення серйозних ремонтних робіт, достатню закупівлю атомного «палива» - ТВЕЛ-ів, ТВСА, створення баз для їх сухого (або будь-якого іншого) способів зберігання після закінчення терміну їх роботи. Сьогодні в Україні не стоїть питання про достатній рівень безпеки АЕС, а про саму технічної можливості їх експлуатації, тому що встановлене обладнання практично відпрацювало або знаходиться на межі закінчення відпрацювання свого ресурсу. В даний час всі АЕС вимагають модернізації. За інженерно - економічними оцінками, [2, 3], модернізація одного енергоблоку АЕС оцінюється в 130 млн. доларів.

Стан класичної теплової енергетики (ТЕС, ТЕЦ) ще більш серйозней на 104 енергетичних блоках теплоелектростанцій України, які працюють на вугіллі, 96 % (а за деякими оцінками 100 %) обладнання відпрацювало проектний ресурс, а 75 % - перевищили граничний ресурс. ККД станцій знизився до 30 – 35 %. ТЕС України не розраховані на роботу при спалюванні високозольного низькокалорійних вугілля, що добуваються сьогодні в Україні, тому доводиться купувати імпортне вугілля. Необхідний вугілля є в деяких шахтах Донбасу, але багато шахт закриті, а інші працюють в режимі постійних аварій, що також не сприяє збільшенню видобутку вугілля і забезпечення їм ТЕС.

Поганий технічний стан електромереж, недосконалі системи обліку, злодійство електроенергії призводить до того, що різко збільшується рівень втрат електроенергії: втрати в мережах всіх напруг складають близько 15-18%. В Україні чітко виражені годинник пікового споживання електроенергії, тому,

крім проблем з базовими потужностями, стоїть питання про брак маневрених потужностей. Створення гідроакумулюючих і парогазових електростанцій дозволяє, в деякій мірі, покривати пікові навантаження, тобто їх слід оцінювати, як джерела маневрених потужностей. Вітроенергетика, як уже зазначалося, [2, 3], не може замінити класичні електростанції.

Проблеми класичних ТЕС нерозв'язні, тому що використання органічного палива має кінцеву межу, викиди в атмосферу йдуть щохвилини, проблеми зольних відвалів на сьогодні також не мають остаточного рішення.

Гідроенергетика України через малу кількість повноводних річок виконує швидше допоміжну функцію, функцію покриття в деякому обсязі пікових навантажень. А порушення екології, з урахуванням затоплення земель, теж сильно, ніж відчуження територій під АЕС. Але при цьому енергії виробляється на порядок менше. Відсутність розвинених ліній електропередач, досить великі відстані роблять доцільним забезпечувати електроенергією цих споживачів не від централізованої СЕС України, а від автономних джерел енергії: дизельних електроустановок, сонце-і вітроустановок. Однак і тут перевагу слід віддавати використанню поновлюваних джерел енергії, тобто сонячної і вітрової, тому що вони не мають потреби в паливі.

Економічний стан країни передбачає вважати першочерговим завданням економічну рентабельність, що також дозволяє говорити про перспективність вітроенергетики. В даний час частка вітрових і сонячних електростанцій в світовій виробленні електроенергії становить близько 1,5%, [3].

За деякими оптимістичними оцінками, до середини майбутнього століття ВЕС, можливо, будуть забезпечувати 10% споживання електроенергії в світі [2,3]. Але це вирішує питання енергопостачання для країн без енергоємних виробництв, що імпортують електроенергію.

При цьому значну роль відіграють вітроустановки невеликої потужності. З досвіду розвинених країн відомо, що добова потреба сім'ї в сільській місцевості становить до 2 кВт·год, для великого фермерського господарства - до 10 кВт, для невеликого села (близько 50 сімей) - 50 кВт·год. Отже, для

підтримки рівня життя в дрібних населених пунктах і в одиничних господарствах необхідно створювати системи малих енергоустановок.

Мала вітроенергетика не вимагає великих територій. Локальні вітроенергетичні установки (ВЕУ) можуть бути встановлені практично скрізь, де середньорічна швидкість вітру не менше 4,5 м / с, а для тихохідних ВЕУ не менше 3 м / с. ВЕУ потужністю 250 - 400 кВт створюються, як уніфіковані агрегати для роботи паралельно з енергосистемою. ВЕУ потужністю 100 кВт призначені для електро- і теплопостачання споживачів, віддалених від центральних електромереж і знаходяться в зонах зі сприятливими вітровими навантаженнями. Одиначна потужність ВЕУ, які працюють спільно з мережею, зростає, основною введень по потужності відноситься зараз до установок 250 - 500 кВт, вважається за доцільно переходити до установок мегаватного класу. Досліджуються нові установки потужністю 1,5 - 3,0 МВт. Переважають установки з горизонтальним валом турбіни. Установки найбільших потужностей, зазвичай, працюють в режимах зі змінною частотою обертання.

У світовій практиці встановлено, що доцільно використовувати ВЕУ, що розміщуються в морі поблизу від берега, на мілинах. Дослідження режимів роботи електричних мереж, зокрема Криму, довели, що робота вітроелектростанцій (ВЕС) призводить до зниження втрат потужності у всій електричній мережі, оскільки ВЕС, в більшості випадків, перебувають на периферійній частині мереж енергопостачальних компаній, але поблизу від віддалених споживачів. Середнє зниження втрат потужності в електричній мережі на 1 кВт встановленої потужності при використанні ВЕС становить 0,04 кВт. З урахуванням прийнятого коефіцієнта використання потужності (25%) зниження втрат енергії на протязі року оцінюється в 92,5 кВт.год на 1 кВт ВЕУ, що забезпечує річну економію коштів енергопостачальних компаній 3,1 дол. / кВт.

На видобуток вугілля йде державна дотація (за даними Донецького інституту вугілля - 15%). Але в разі роботи ВЕС економиться не тільки 15% вартості палива, які держава оплачує шахтам у вигляді прямих субсидій, а всі

100% палива. Річний ефект в цьому випадку міг би перевищити 30 дол. / кВт потужності ВЕС. Але ця економія не враховується, механізм використання 100% «паливного» ефекту є проблемним і тому цей річний ефект носить скоріше теоретичний характер, [2,3]. Річний технічний вітроенергетичний потенціал в Україні дорівнює 30 млрд. кВт / год, [2, 3], тобто за допомогою ВЕУ можна перетворювати в електроенергію 15 – 19 % річного обсягу енергії вітру. Найбільш сприятливими районами для використання енергії вітру за рахунок спорудження ВЕС є узбережжя та акваторії Чорного і Азовського морів, гірські райони Криму і Карпат, степові райони на півдні країни. Як район можливого спорудження ВЕС, може бути і Чорнобильська зона відчуження.

Промислова вітроенергетика має всі передумови для успішного розвитку, вона дуже важлива при вирішенні регіональних енергетичних проблем, але недолік фінансування стримує цей процес. Майже всі роботи проводяться за кошти підприємств або за рахунок залучених ними інвестицій. Поліпшення економічної ситуації в країні сприятиме ширшому розвитку альтернативної енергетики.

До звичайних завдань створення і експлуатації ВЕС і її елементів можна віднести: 1) ефективність, безпека, надійність, облік впливу на навколишнє середовище; 2) вибір розрахункових параметрів ВЕУ, визначення розрахункової швидкості вітру; 3) визначення методів, способів, умов монтажу та експлуатації ВЕУ; 4) вибір конструктивних і компоновальних рішень основних вузлів вітротурбіни, визначення оптимального аеродинамічного профілю, одиничної потужності, розмірів і конструкції вітроколеса; 5) визначення встановленої потужності і типу генератора для ВЕУ; 6) визначення системи регулювання, стабілізації частоти і напруги, випрямлення, інвертування, боротьби з вищими гармоніками перетворювачів, встановлення типів джерел реактивної потужності.

Удосконалення аеродинаміки вітротурбін, впровадження нових матеріалів, вивчення та врахування при проектуванні втомних явищ в вітротурбін, оптимізація перетворювальних систем і систем регулювання

дозволяє істотно підвищити надійність і ефективність ВЕУ, які працюють паралельно з мережею, і наблизити вартість вироблюваної ними електроенергії до вартості енергії, виробленої на теплових електростанціях, рис. 1. Значний вплив на роботу ВЕУ надає форма і матеріал лопатей турбіни (рис. 2, 3). Форми (рис. 2) відрізняються нижньою поверхнею секцій. Несиметричні форми крил оптимізовані для створення найбільшої підйомної сили, при якій нижня сторона крила найбільш близька до траєкторії руху повітря.

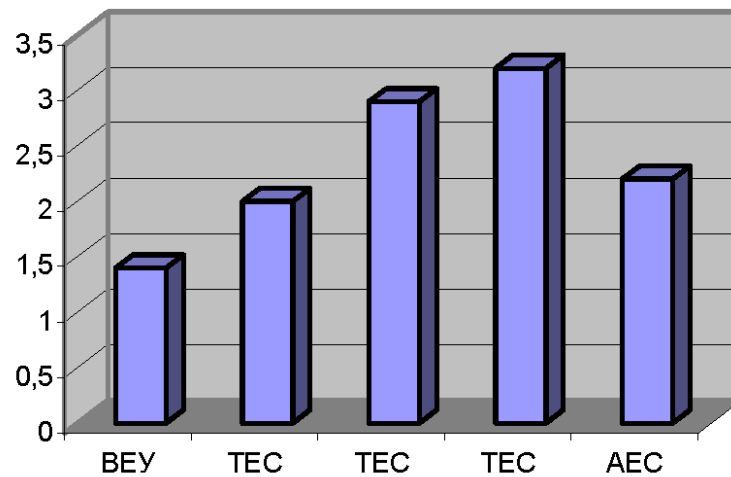


Рисунок 1.1 - Сумарні витрати (в центах) за 1 кВт.год

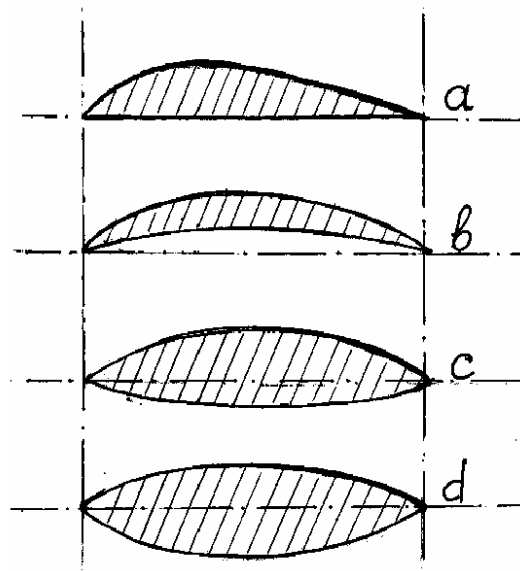


Рисунок 1.2 - Різні форми видів перетинів крила: а, b і с - несиметрична секція крила; d - симетрична секція крила

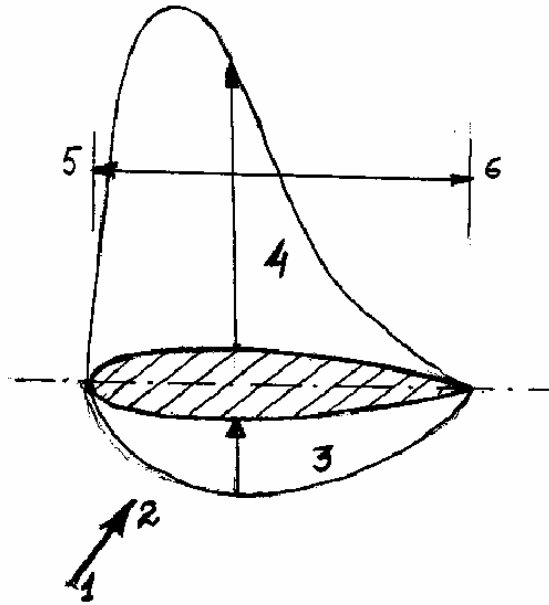


Рисунок 1.3 - Зони низького (3) і високого тиску (4) навколо секції крила в повітряному потоці (1-2); зона (5-6) - зона дії підйомної сили

Крила симетричної форми можуть однаково добре створювати підйомну силу при будь-якому напрямку обтікання їх повітрям. Величина підйомної сили і сили тяги пропорційні величині вироблюваної електроенергії. Кожне крило має певний кут атаки, при якому коефіцієнт, що дорівнює відношенню підйомної сили до сили тяги, (C_L / C_D), максимальний. Цей кут атаки визначається значенням максимальної сили і є тому найефективнішим критерієм настройки повороту лопатей вітрогенератора. Інша важлива характеристика розташування крила - його кут повороту до осі дії вітру. Це кут атаки, при якому слід використовувати кут установки площині перетину крила.

Для вітрогенераторів з м'яким кріпленням осі, тобто з віссю ротора, здатної постійно орієнтуватися у напрямку подиху вітру для отримання постійної відносної швидкості вітру і постійної частоти обертання, кут атаки встановлюється такий, щоб частота обертання була постійною, [4]. Вітрогенератори з жорстко закріпленими віссю обертання при зміні умов (кута атаки повітря) для забезпечення постійної частоти обертання розгортають всю вісь обертання. Протягом періоду нормальної роботи вітрогенератора з

горизонтальною віссю лопаті вітротурбіни встановлюються так, щоб кут атаки залишався позитивним.

Максимально можливе значення потужності, яку реально можна отримати від вітроустановки, в порівнянні з теоретично можливим значенням, визначається співвідношенням $16/27$ (59,3%). Це відбувається в разі, якщо швидкість вітру на вільному просторі («вільна швидкість») зменшується в три рази, тобто коли інтерференційний показник $\alpha = 1/3$. Значення 59,3% часто називають межею Betz-а в теорії вітротурбін і з вертикальною, і з горизонтальними осями, [6]. Удосконалення аеродинаміки вітротурбін, впровадження нових матеріалів, вивчення та врахування при проектуванні втомних явищ в вітротурбін, оптимізація перетворювальних систем і систем регулювання дозволяє істотно підвищити надійність і ефективність ВЕУ, які працюють паралельно з мережею і наблизити вартість вироблюваної ними електроенергії до вартості енергії, виробленої на теплових електростанціях

1.2 Аналіз конструкцій безфлюгерних вітрогенераторів малої потужності

Крім класичного виконання вітряків з вертикальною віссю обертання (рис. 1.4) існує їх чисельна різноманітність, яка проілюстрована на рисунках 1.5. – 1.7. Їх інноваційні форми дають можливість встановлення у садку або на даху будинку в якості елемента архітектури. Найбільш поширена конструкцій вітротурбін із S-подібними лопатями. Їх представником є вітротурбіна Quietrevolution (англ. тиха революція) - вітрогенератор з вертикальною віссю і трьома S-подібними лопатями, виробляється у Великобританії.

Завдяки своїм конструкторським особливостям вітряки Quietrevolution майже безшумні і пристосовані до міських умов, де напрям вітру може мінятися дуже часто. Висота установки - 5 метрів, діаметр - 3 метри. Одна установка потужністю 6 кВт може забезпечити електрикою п'ять будинків, виробляючи 10 тисяч кВт·годин в рік при середній швидкості вітру 5,8 м/сек.



Рисунок 1.4 - ВЕУ із вертикальною віссю обертання



Рисунок 1.5 - Мікровітроенергетична установка потужністю 1 кВт
(розробник архітектор Філіп Старк (Philippe Starck) з компанією "Pramac")



Рисунок 1.6. - Мікровітроенергетична установка потужністю 400 Вт
(розробник архітектор Філіп Старк (Philippe Starck) з компанією "Pramac")
Установка працездатна при швидкості вітру в межах 4,5-16 м/сек. Розробка отримала декілька премій, включаючи «Sustainable Innovation Award» в 2006

році. Є плани по установці ветрогенераторов цієї моделі у ряді проектів в Нью-Йорку і Шанхаї.

Іншим типом вітроенергетичних установок є вітрильні. Розробником однієї із таких є Пошукайло В.М. В неї корпус містить дві лопаті, розміщених у перпендикулярних площинах і закріплених в елементах корпусу установки одним кутом (рис. 1.8, рис. 1.9). Обертаючи від впливу вітру за допомогою передавальних механізмів корпусу установки, вони мають можливість поперемінно здійснювати поворот в елементах корпусу.

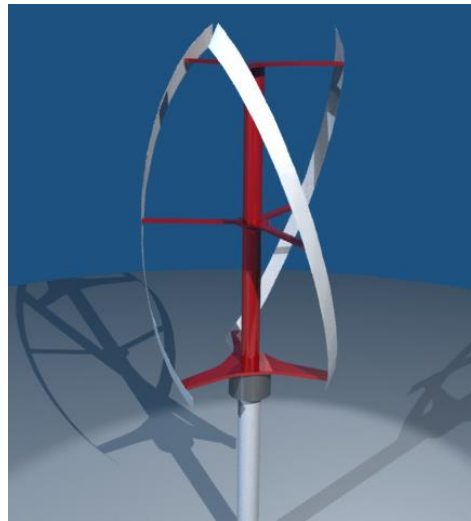


Рисунок 1.7 - Мікрівітроенергетична установка Quietrevolution
потужністю

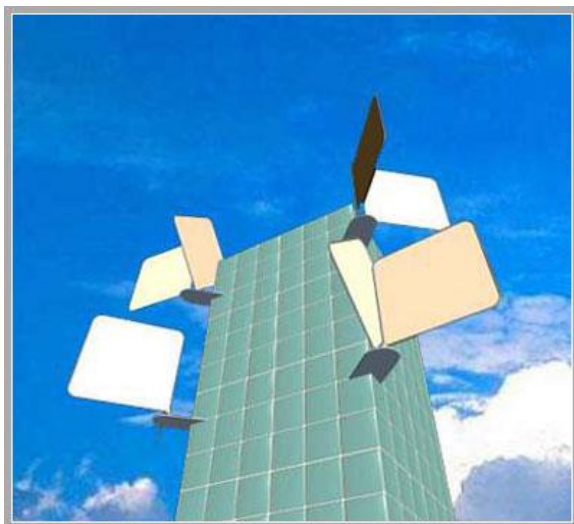


Рисунок 1.8 - Вітрильна
вітроенергетична установка. Загальний
вигляд

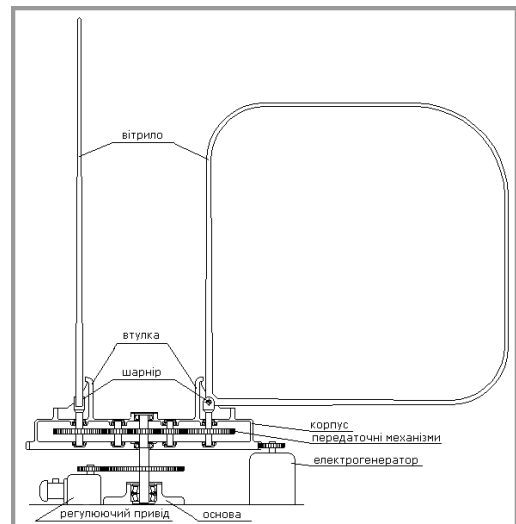


Рисунок 1.9 - Схема будови вітрильної
вітроенергетичної установки

Міжнародна група дизайнерів і інженерів Home-energy представила свій новий продукт - вітрогенератор Energy Ball (рис. 1.10), який, на думку розробників, є новим словом в аеродинаміці вітряних генераторів електрики.

Головна особливість нового вигляду вітряка - компоновка на нім лопатей за типом сфери. Така схема розташування лопатей хороша тим, що всі вони сполучені з ротором обома кінцями, і коли вітер проходить крізь них, він дме паралельно ротору, що збільшує ККД вітряного генератора. Через незвичайні форми лопатей, Energy Ball може створювати потоки повітря, що діють на ротор ривками, - також як пороги в річці діють на потік води (так званий ефект Вентурі).



Рисунок 1.10 - Зовнішній вигляд вітрогенератора Energy Ball

Всі вищеперелічені достоїнства вигідно відрізняють нові вітряні електрогенератори від аналогічних стандартних вітрогенераторів. При цьому Energy Ball може працювати при дуже низькій швидкості вітру і чинить менше шуму, чим звичайні вітряки.

1.3 Аналіз експериментальних досліджень вітроенергетичних установок

На стадії розробки вітроелектричних установок велику роль відіграє науково-дослідний етап. Розробки в цій галузі вітчизняної вітроенергетики

почав ще близько століття тому видатний російський учений Н.Є. Жуковський (1847-1921), яким був заснований найбільший в країні науково-дослідний інститут, що працює в області аерогідродинаміці «Центральний аерогідродинамічний інститут» (ЦАГІ). До кінця 60-х років в ЦАГІ проводилися великі наукові дослідження в області вітроенергетики. Теоретичні дослідження поєднувалися і доповнювалися експериментальними. Значний внесок у розвиток вітчизняної вітроенергетики внесли роботи Г.Х. Сабініна, В. Ветчинкіна, М.О. Франкфурта, В. Волосних, К.П. Вашкевича, Е.М. Фатєєва, І.Д. Могильницького, Я.І. Шефтер, В.Н. Андріанова, Д.М. Бистрицького, В.Р. Секторова та інших. На підставі цих досліджень було розроблено велику кількість конструкцій ВЕУ малої потужності (до 30 кВт), які успішно експлуатувалися в сільському господарстві для підйому води, електрифікації невеликих об'єктів, на метеостанціях і на інших об'єктах.

У 1920 р. З. Є. Жуковський сформулював класичну теорію ідеального вітродвигуна. Відповідно до його теорією максимально можливий коефіцієнт використання енергії вітру становить 0,593. У 1931 році Г. Х. Сабінін створив імпульсну теорію ідеального вітродвигуна. [7] За теорією Сабініна максимальний коефіцієнт використання енергії вітру становить 0,687. Ця різниця викликана тим, що при визначенні сили лобового тиску потоку на ротор розглядалися перетину в різних місцях потоку. За класичної теорії - в момент утворення вихрового соленоїда, по імпульсній теорії в тому місці, де соленоїд прийняв циліндричну форму і має площу трохи більшу, ніж поверхня, описувана ротором. При порівнянні цих двох теорій з експериментальними результатами, виявилось, що при деяких режимах роботи ротора ближче до істини одна теорія, при інших режимах інша. За кордоном використовують теорію Бетца, яка практично повторює теорію Є.Г. Жуковського, тому класичну теорію вітродвигуна у нас в країні іноді називають теорією Бетца-Жуковського [8].

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень в області вітроенергетики відображені у періодичних виданнях ЦАГІ. У цих виданнях висвітлені наступні питання:

- аеродинамічна теорія ротора Г. Х. Сабініна і методика побудови відносних аеродинамічних характеристик.
- регулювання ВЕУ висновком ротора з під вітру.
- теорія регулювання вітродвигуна поворотом лопатей відцентрово-пружинним регулятором.
- теорія регулювання вітродвигунів поворотом лопатей аеродинамічними силами.
- визначення розрахункових навантажень ротора і розрахунок лопатей на міцність.
- аналіз надійності функціонування ВЕУ.
- дослідження роботи систем орієнтації ротора на вітер.
- дослідження профілю лопаті ВЕУ.
- дослідження проблеми підвищення моменту страгивання ротора.
- дослідження стійкості роботи вітроелектричної станції на мережу нескінченно великої потужності.
- дослідження перевантажувальної здатності ротора при регулюванні поворотом лопаті і способи її зменшення.
- методи підвищення достовірності результатів випробування моделей ротора в аеродинамічних трубах.
- дослідження роботи ветронасосних установок та ін.

Відзначимо наступні особливості проведених в ЦАГІ досліджень. Результати теоретичних досліджень звичайно підкріплювалися експериментом, тому розглянута література містить дуже цінні матеріали експериментальних досліджень. При дослідженні систем регулювання ВЕУ, як правило, приводиться не тільки статична модель, а й динамічна. ЕОМ у той час були недоступні, тому для полегшення ручного розрахунку і аналітичних досліджень багато співвідношень спрощувалися, лінійнізувалися і т.п. Деякі інженерні

методики, які пропонувалися для проектування ВЕУ, були дуже громіздкими через великого обсягу обчислень.

Велике значення мають роботи Є.М. Фатєєва. У даних роботах автор спробував систематизувати основні результати експериментальних досліджень в області вітроенергетики.

Значні теоретичні та експериментальні дослідження в області вітроенергетики були проведені за кордоном в останні 20-30 років. Успіхи в наукових дослідженнях вітроенергетичних послужили базою для бурхливого розвитку вітроенергетики за кордоном. Зокрема, в роботі [8], розглянута математична модель і методика для визначення параметрів системи регулювання висновком ротора з-під вітру; представлена аеродинамічна теорія Бетца. У роботі [9] розглядаються питання стійкості роботи вітроелектричної станції на мережу нескінченно великої потужності.

Більшість зарубіжних робіт присвячено установкам великої потужності [10], [11], [12]. Останнім часом значна увага приділяється офшорним ВЕС і офшорним випробувальним ветрополігонам [12].

Серйозні сучасні експериментальні дослідження в області вітроенергетики проводяться фірмами, що роблять ВЕУ, і тому результати таких досліджень становлять значний інтерес.

У вітроенергетиці експериментальні дослідження ВЕУ можуть проводитися в аеродинамічних трубах або на вітроенергетичних полігонах [13].

1.4 Висновки до розділу

1. З урахуванням того, що на 70 % території України середня швидкість вітру 4 м/с (на висоті спостережень 10-12 м), ВЕУ малої потужності повинні мати розрахункову швидкість не більше 7-8 м / с

2. Удосконалення аеродинаміки вітротурбін, впровадження нових матеріалів, вивчення та врахування при проектуванні втомних явищ в вітротурбін, оптимізація перетворювальних систем і систем регулювання

дозволяє істотно підвищити надійність і ефективність ВЕУ, які працюють паралельно з мережею, і наблизити вартість вироблюваної ними електроенергії до вартості енергії, виробленої на теплових електростанціях,

3. Максимально можливе значення потужності, яку реально можна отримати від вітроустановки, в порівнянні з теоретично можливим значенням, визначається співвідношенням $16/27$ (59,3%).

4. Головна особливість досліджуваного виду вітряка - компоновка на ньому лопатей за типом сфери. Така схема розташування лопатей хороша тим, що всі вони сполучені з ротором обома кінцями, і коли вітер проходить крізь них, він дме паралельно ротору, що збільшує ККД вітряного генератора.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Особливості ротора ВЕУ зі спіральними лопатями

У світі ведуться розробки нових видів перетворення відновлюваної енергії. Однією з таких розробок є ВЕУ з принципово нової лопатевої системою, покликаної підвищити ефективність перетворення енергії вітру. На основі огляду найбільш перспективних конструкцій нами запропоновано зразок вітроагрегата з об'ємним профілем лопатей (рис. 2.1), дозволяє говорити не про захоплювану площу, а про захоплюваний об'єм. Основне завдання даної розробки - підвищення ККД вітроенергетичної установки з можливістю її роботи при слабких вітрах від 3,5 м / с.

1) Запропонована ВЕУ має складну лопатеву систему, яка дозволяє:

- 1) двічі перетворювати енергію вітрового потоку, один раз на передній частині лопатей, другий раз - на задній, що підвищує загальну ефективність установки.
- 2) знизити навантаження, що діють на максимально віддалені частини лопатей, викликані силою опору вітру, що підвищує надійність установки.
- 3) істотно знизити вібрацію лопатей, за рахунок відсутності вільного кінця лопаті і кріплення підстави лопаті в двох точках, що в свою чергу знижує шумові впливи на навколишнє середовище і підвищує надійність установки.

2) Запропонована ВЕУ має ексцентриситет осі обертання щодо геометричної осі симетрії, що дозволяє відмовитися від додаткових пристроїв орієнтації на вітер.

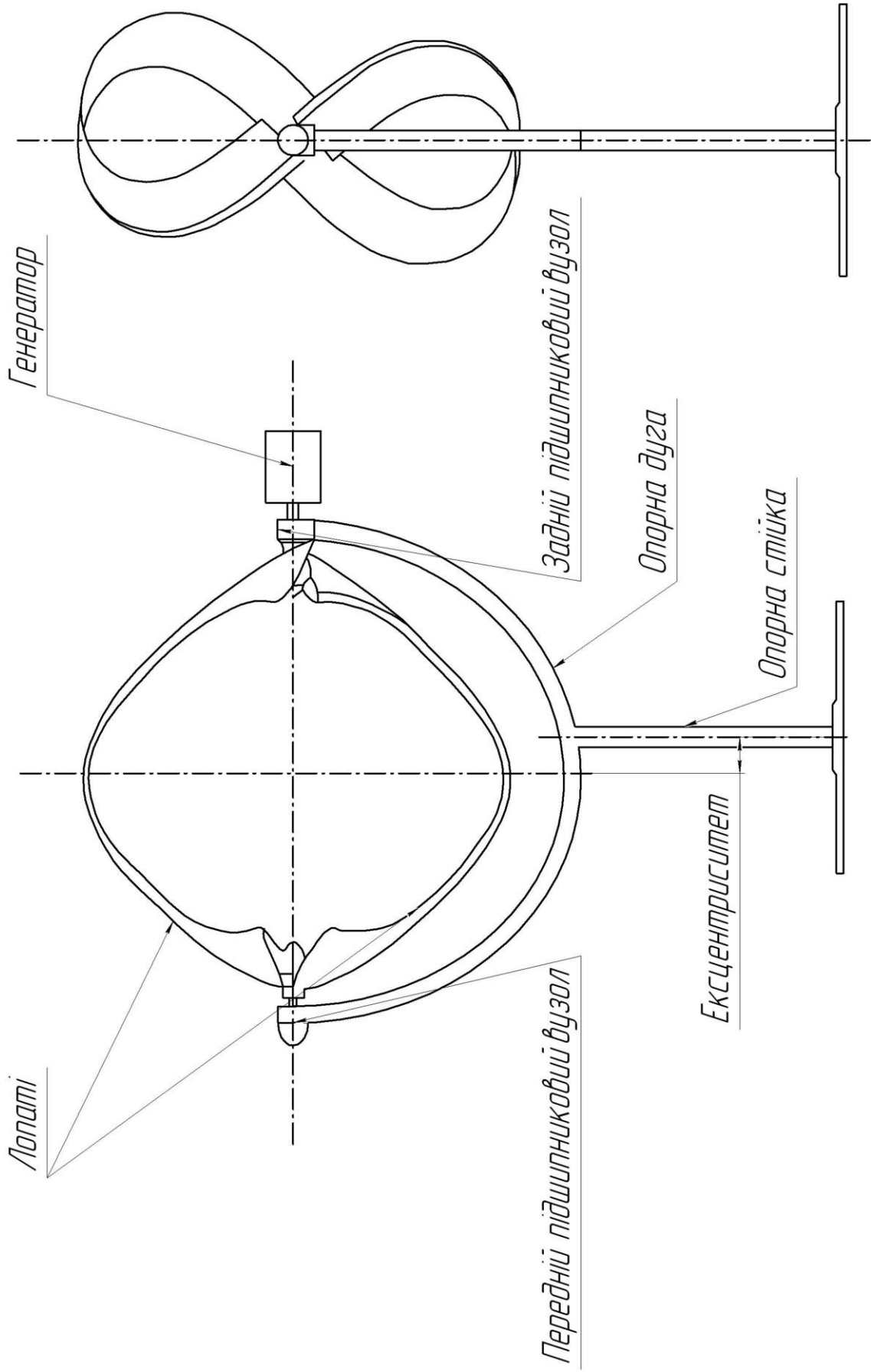


Рисунок 2.1 - Загальний вид вітроагрегата зі спіральними лопатями

2.2 Геометрична модель ротора ВЕУ зі спіральними лопатями

Запропонована ВЕУ, має геометрично складний ротор. Для отримання геометричної форми лопатей даного агрегату, необхідно знати:

- систему рівнянь серединної лінії лопаті;
- форму профілю лопаті;
- кут закрутки профілю по довжині лопаті. Систему рівнянь середньої лінії лопаті

Нами запропонована математична модель, що описує середню лінію лопаті, яка представляє собою лінію в просторі. Лінія в просторі може вийти як результат перетину (тобто як загальна частина) двох поверхонь або як наслідок траєкторія руху точки. У першому випадку рівняння обох поверхонь в декартових координатах можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} F_1(x, y, z) = 0; \\ F_2(x, y, z) = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

Тоді, оскільки точки лінії їх перетину належать одночасно обом поверхням, ця лінія буде представляти собою сукупність точок, координати яких задовольняють одночасно обом рівнянням (2.1), тобто (2.1) потрібно розглядати як систему двох рівнянь з трьома невідомими.

При другому підході рівняння лінії виходить в параметричному вигляді:

$$x = \phi t ; y = \psi t ; z = \chi t \dots \quad (2.2)$$

Для переходу від цього виду до виду (2.1) потрібно з рівнянь (2.2) виключити t (наприклад, з першого рівняння виразити t через x і поставити результат в два інших рівняння), якщо це вдасться і якщо це доцільно. Для зворотного переходу від (2.2) до (2.1) треба (при тих же «якщо») в (2.1)

підставити, наприклад, $x = t$, після чого розв'язати ці два рівняння відносно y і x в результаті y і x виразяться через t .

При виникненні необхідності знайти проекцію (L') заданої лінії (L) на одну з координатних площин, наприклад на площину xOy . Це означає, що потрібно знайти співвідношення між y і x для точок цієї лінії. Якщо (L) задана рівняннями (2.1), то для знаходження (L') з них треба виключити x , а якщо (L) задана у вигляді (2.2), то треба просто залишити дві перші рівності.

Для завдання середньої лінії лопатей зручніше використовувати перший спосіб, і задати її як систему двох рівнянь поверхонь, які в перетині дають шукану лінію.

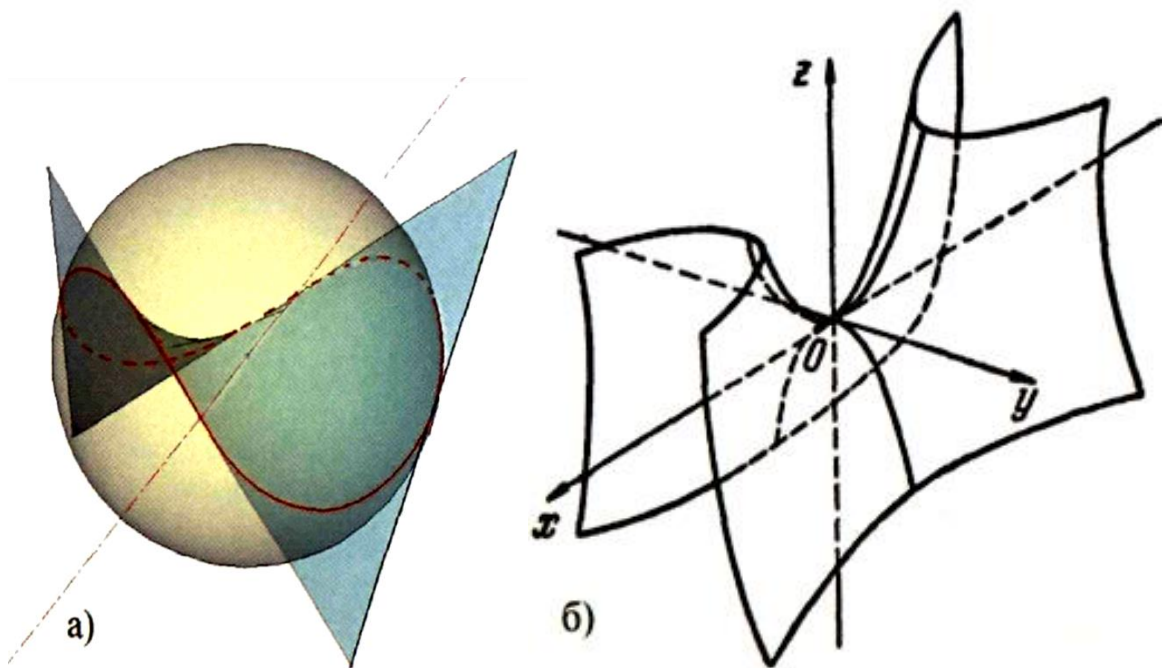


Рисунок 2.2 - Просторові поверхні:

а) схема перетину поверхонь, б) сідлоподібна поверхня

На рис. 2.2, а представлені дві поверхні, що дають в перетині середню лінію лопатей ротора запропонованого ВЕУ, виділену червоним кольором:

- жовтим кольором зображено поверхню другого порядку під назвою «Сфера», яка задається наступним рівнянням в декартовій системі координат:

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2. \quad (2.3)$$

- блакитним кольором зображено поверхню другого порядку під назвою «Гіперболічний параболоїд» так звана сідлова поверхню (рис. 2.2, б), яка задається в загальному вигляді наступним рівнянням в декартовій системі координат:

$$\frac{x^2}{a} - \frac{y^2}{b} = z. \quad (2.4)$$

Гіперболічний параболоїд в перерізі площинами $y = 0$ і $x = 0$ дає параболи відповідно $z = \frac{x^2}{a}$ і $z = -\frac{y^2}{b}$. В нашому випадку гіперболічний параболоїд має дві однакові параболи, які роблять виділену частину параболоїда (на рис. 2.2, а виділено блакитним кольором) симетричною відносно початку координат. Виходячи з даної умови і, виражаючи два рівняння через один параметр R (радіус сфери) отримаємо рівняння гіперболічного параболоїда в приватному вигляді:

$$\frac{x^2 - y^2}{z} = R. \quad (2.5)$$

Підсумкова система рівнянь, що задає в просторі середню лінію лопатей, виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = R^2; \\ \frac{x^2 - y^2}{2 \cdot z} = R. \end{cases} \quad (2.6)$$

2.3 Форма профілю лопаті

Досліджувана установка має неповоротні лопаті. Для ВЕУ з неповоротними лопатями особливо актуальна проблема підвищення рушійного моменту ротора (торгання) [13].

Відомі спеціальні конструктивні заходи для підвищення рушійного моменту і прийомистості ротора. Один з них – встановлення предкрилку перед переднім краєм лопаті. Інший - модифікація профілю лопаті шляхом відхилення носка вниз. Однак ці способи ускладнюють конструкцію лопатей або ведуть до зниження ККД ротора і номінальної швидкохідності.

Треба зазначити, що визначити розрахунковим шляхом початковий рушійний момент досить важко в силу різних причин [14]. По-перше, авіаційні профілі продуваються в невеликому діапазоні кутів (від -10° до $+25^\circ$), а при початку руху перетин лопаті працює при кутах атаки $60^\circ - 90^\circ$. По-друге, при початку руху перетину лопаті перебувають при докритичних числах Рейнольдса (Re), при яких профілі зазвичай не продуваються. Число Re в даному випадку визначається лінійними розмірами лопатей і швидкістю вітру. Для прикладу, число Рейнольдса для зупиненого ротора при ширині лопаті 150 мм і швидкості вітру 3 м/с (характерна швидкість вітру при початку руху ротора) становить приблизно 30 000. Більшість авіаційних профілів продуваються при числах Рейнольдса порядку 800 000 – 8 000 000. При зменшенні числа Рейнольдса до критичного значення аеродинамічні характеристики дещо погіршуються. При досягненні критичного числа Рейнольдса (порядку 60 000 – 100 000) характеристики профілю різко погіршуються (в 2-4 рази [15]). Необхідно проводити додаткове дослідження профілю для корекції аеродинамічних характеристик при малих числах Рейнольдса.

В роботі [16] пропонується метод виявлення профілів, перспективних з точки зору підвищення рушійного моменту ротора, без його розрахунку. Вважається, що рушійний момент при заданій ширині лопаті повністю визначається кутом встановлення лопаті. Чим вище кут встановлення лопаті,

тим вище рушійний момент. Це можна підтвердити такими міркуваннями. При зупиненому роторі перетин лопаті працюють під дуже великими кутами атаки, які залежно від кута установки лопаті становлять від 60° до 90° причому менші кути атаки відповідають великим кутам встановлення лопатей. З кругових обдувок різних профілів [17], відомо, що коефіцієнт підйомної сили профілю в зазначеному діапазоні кутів атаки лінійно зменшується, причому при кутах атаки близьких до 90° даний коефіцієнт стає від'ємним. Так як підйомна сила елемента лопаті створює рушійний момент, то можна зробити висновок, що вигідно підвищувати кут установки лопаті. Проте кожен ротор має оптимальним кутом установки лопатей, при якому досягається максимальний ККД і висока швидкохідність, і подальше збільшення кута установки лопаті веде до різкого зниження цих параметрів. У дослідженні [16] визначена серія профілів, які дозволили б встановлювати неповоротні лопаті на великі кути атаки при рівних інших умовах.

На підставі попередніх досліджень були сформульовані основні вимоги до профілю ВЕУ, які іноді суперечать один одному:

1. Великий від'ємний кут нульової підйомної сили, що дозволяє зрушити максимум аеродинамічної якості на менші кути атаки. Це дозволяє підвищити кут установки лопатей при збереженні високого ККД і заданої швидкохідності. Відомо, що кут нульової підйомної сили збільшується із зростанням відносної вгнутості профілю та при зсуві назад положення максимальної угнутості. Звідси випливає, що є перспективними плосковипуклих профілі з великою відносною товщиною ($0,16 < c < 0,18$) і угнутоопуклі профілю.

2. Максимум аеродинамічної якості. Це дозволяє при рівних інших умовах підвищити коефіцієнт використання енергії вітру. З цієї точки зору ефективно застосовувати ламінарні профілі.

3. Високі аеродинамічні характеристики при малих числах Рейнольдса. Відомо, що при малих числах Re ($Re < 200\ 000$) досить високим аеродинамічним якістю володіють тонкі профілі (відносна товщина $c < 0,12$), а також профілі з гострою передньою кромкою, яка турбулілізує потік. Можна

також поліпшити характеристики профілю при малих числах Re застосуванням турбулізатора у вигляді отворів у передній частині лопаті або дроту, натягнутого перед передньою кромкою лопаті [15]. За інших рівних умов хорошими характеристиками на малих числах Re володіють опукло-увігнуті профілі, а також деякі з ламінарних профілів [14].

4. Велика відносна товщина профілю s (s порядку 0,14-0,18) при збереженні високої аеродинамічної якості. При збільшенні s міцність лопатей збільшується, що дозволяє зменшити їхню масу.

5. Низьке значення c_y^{\max} профілю [18]. При зниженні c_y^{\max} при заданій швидкості лопаті виходять більш широкими, що веде до деякого підвищення початкового рушійного моменту і збільшує міцність лопатей. З цієї точки зору найбільш підходять плосковипуклий профіль і деякі з ламінарних профілів.

6. Висока технологічність при виготовленні профілю. Для цього профіль повинен мати досить просту форму, не повинно бути тонкого маломіцного хвостовика і зворотної кривизни поверхні. Крім того, профіль не повинен бути дуже чутливим до дотримання точності форми і якості поверхні при виготовленні. З цієї точки зору найбільш підходять плосковипуклий профіль і, навпаки, найбільш несприятливо використання ламінарних профілів.

Для виявлення перспективних профілів з точки зору підвищення рушійного моменту в роботі [16] розроблена методика порівняння, яка полягала в наступному: розраховувалися відносні аеродинамічні характеристики роторів з однаковими геометричними розмірами, але з різними профілями. Для спрощення обчислень було обрано трилопатевий ротор з прямокутними лопатями без крутки з наступними розмірами: діаметр 3,6 м, ширина лопаті 0,15 м, діаметр втулки 0,72 м. При даних розмірах ротора число Рейнольдса для всіх перерізів лопаті при розрахунковій швидкості вітру (близько 8 м/с) не опускається нижче 150 000, і тому можна не враховувати докритичне обтікання перерізів лопаті при малих числах Re . Характеристика ККД ротора розраховувалася при оптимальному куті установки лопатей (кут установки

лопатеї, при якому досягається максимум коефіцієнта використання енергії вітру) і при однаковому для всіх роторів куті установки лопатеї, що становить 7° . Перша характеристика дозволяє визначити максимально можливий ККД профілю. Друга характеристика дозволяє оцінити перспективність профілю з точки зору рушійного моменту. При однаковому куті установки і однаковою ширині лопаті всі профілі забезпечують один і той же рушійний момент. При цих умовах більш перспективним є той профіль, у якого при даному куті установки (7°) більший ККД або більша номінальна швидкохідність. Для таких профілів можна за рахунок деякого зниження ККД підвищити рушійний момент, збільшивши кут установки лопаті, або за рахунок зниження швидкохідності підвищити рушійний момент, збільшивши ширину лопаті.

Проведений аналіз дозволив зробити наступні висновки:

1. Підвищення рушійного моменту дозволяє збільшити вироблення енергії ВЕУ з неповоротними лопатями.
2. Істотно підвищити рушійний момент можна шляхом правильного підбору профілю лопаті.
3. Основна вимога до профілю неповоротних лопатей – збільшення кута встановлення лопаті при збереженні високого коефіцієнта використання енергії вітру і заданої швидкохідності.
4. Перетини лопатей ВЕУ малої потужності працюють при малих числах Рейнольдса (порядку 400'000), звідси впливає необхідність застосування спеціальних профілів, ефективних при малих числах Re .

Правильний вибір профілю дуже важливий для проектування лопатей вітроустановки. Щоб зробити це, необхідно поглянути на історію освоєння ламінарних потоків і побачити, що робилося в цьому напрямі серед вітроустановок в колишні часи.

Відповідно до [17] : «Є два найбільш поширених профіля - це NASA 0012 (рис.2.3) і NASA 23012 (рис.2.4). Ці профілі мають момент по кроку близький або рівний нулю і їх аеродинамічний фокус не зміщується при зміні кроку. Це

мінімізує вібрації і крутильні навантаження, що викликаються зміною кроку, що робить їх ідеальними для лопатей вітроустановки.»

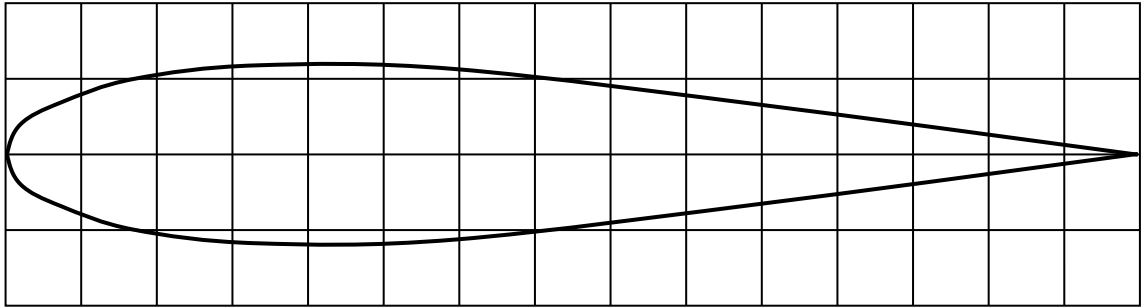


Рисунок 2.3 - Профіль NASA 0012

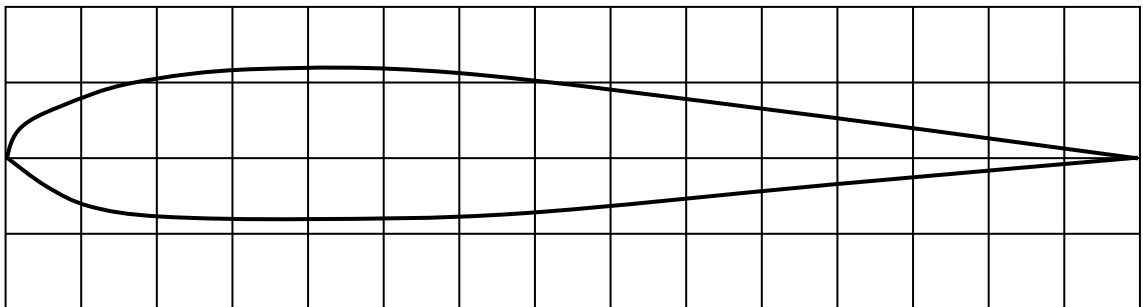


Рисунок 2.4 - Профіль NASA 23012

Як зазначено у [17] : «Профіль NASA 23012, однак, має набагато більший відсоток ламінарного обтікання, ніж NASA 0012, в результаті опір тертя на ньому набагато нижче, ніж у NASA 0012. Ламінарний потік досягається при сприятливому градієнті тиску (зменшення тиску) над профілем (в даному випадку "над" має на увазі "поблизу" як верхньої, так і нижньої частини профілю. При нульовому куті атаки тільки передні 10 % профілю NASA 0012 мають ламінарне обтікання. На інших 90 % присутній турбулентне обтікання з властивим йому високим опором тертя. У профілю NASA 23012 при нульовому куті атаки ламінарний потік має місце на 30 % хорди по верхній і 60% нижньої частини профілю, що в результаті знижує профільний опір в два рази в порівнянні з NASA 0012.»

Профіль НАСА 23012 з'явився в Ленглі в 1935 році і був одним з кращих, що розробив Істмен Якобс (Eastman Jacobs). Він майже ідентичний профілем М12, який розробив в 1923 році Макс Мунк. Мунк був студентом Людвіга Прандтля, в 1920 році він приїхав до США з Німеччини і привіз із собою сучасні погляди на аеродинаміку. Він також запропонував і побудував першу аеродинамічну трубу змінною густини (VDT) з Ленглі в 1921 р. Використання такої труби дозволяє проводити випробування на необхідних числах Рейнольдса. Цей профіль і зараз застосовується на багатьох літаках, в тому числі, на Beech Bonanza.

2.4 Висновки до розділу

1. На основі огляду найбільш перспективних конструкцій нами запропоновано зразок вітроагрегата з об'ємним профілем лопатей (рис. 2.1), дозволяє говорити не про захоплювану площу, а про захоплюваний об'єм.
2. Запропонована ВЕУ має ексцентриситет осі обертання щодо геометричної осі симетрії, що дозволяє відмовитися від додаткових пристроїв орієнтації на вітер.
3. На підставі попередніх досліджень були сформульовані основні вимоги до профілю ВЕУ.
4. Проведений аналіз дозволив зробити наступні висновки:
 - підвищення рушійного моменту дозволяє збільшити вироблення енергії ВЕУ з неповоротними лопатями.
 - істотно підвищити рушійний момент можна шляхом правильного підбору профілю лопаті.
 - основна вимога до профілю неповоротних лопатей – збільшення кута встановлення лопаті при збереженні високого коефіцієнта використання енергії вітру і заданої швидкості.

- перетини лопатей ВЕУ малої потужності працюють при малих числах Рейнольдса (порядку 400' 000), звідси впливає необхідність застосування спеціальних профілів, ефективних при малих числах Re .

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Методика розрахунку профілю лопаті

У методиках з розрахунку вітряків [17] зустрічається рекомендація задаватися кутом атаки, при якому досягається максимальна аеродинамічна якість лопаті. Тобто: «пропонується будувати дотичну до полярю з початку координат, і координати точки дотику приймати за вихідні для розрахунку вітряка. Швидше за все, мається на увазі аналогія з авіацією, де зі збільшенням відносини підйомної сили до лобового опору зростає тривалість планування літака. Або пропонується використовувати лопаті з максимальною підйомною силою. Робота вітряка відбувається за іншими законами».

На рис.3.1 представлена схема впливу аеродинамічних сил на лопать. Швидкість вітру при підході до вітряка сповільнюється на деяку величину a , яка з теорії Жуковського (Бетца) дорівнює $2/3$, а з теорії Сабініна $0,586$. Окружний рух лопатей дає додаткову складову швидкості, яку можна знайти, якщо вважати лопаті нерухомими, а повітря рухається в протилежному обертанню напрямку. Ці дві складові складаються за правилом трикутника і дають сумарний вектор набігання потоку на площину вітроколеса. Швидкісний кут ψ визначається ставленням a / Z і не залежить від швидкості вітру:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{a}{Z}. \quad (3.1)$$

Тут і далі всі розрахунки ведуться для кінчика лопаті. Для інших перерізів необхідно замінити скрізь у формулах Z на вираз Zr / R , де Z - швидкохідність визначається, як відношення швидкості вітру до швидкості кінчика лопаті; R - радіус вітряка; r - радіус вибраного перерізу

$$X = C_x \frac{\rho S}{2} V_{\text{наб}}^2, \quad (3.2)$$

$$X = C_Y \frac{\rho S}{2} V_{\text{наб}}^2, \quad (3.3)$$

де: C_X, C_Y - коефіцієнти лобового опору і підйимальної сили;

ρ - густина повітря;

S - площа елемента лопаті;

$V_{\text{наб}}$ - величина вектора набігання, який в свою чергу дорівнює:

$$V_{\text{наб}} = \sqrt{ZV^2 + aV^2} \approx ZV \left(1 + \frac{a^2}{2Z^2} \right), \quad (3.4)$$

Останній доданок в дужках дуже мало, і в швидкохідних вітряки швидкість набігання практично дорівнює окружної швидкості лопаті.

Окружна сила виходить як різниця проекції підйомної сили і проекції лобового опору на площину обертання.

$$F_{\text{окр}} = Y \sin \psi - X \cos \psi = C_Y \frac{\rho S}{2} V_{\text{наб}}^2 \sin \psi - C_x \frac{\rho S}{2} V_{\text{наб}}^2 \cos \psi, \quad (3.5)$$

або

$$F_{\text{окр}} = Z^2 V^2 \left(1 + \frac{a^2}{2Z^2} \right)^2 \frac{\rho S}{2} C_Y \sin \psi - C_x \cos \psi, \quad (3.6)$$

Вираз в останніх дужках можна назвати аеродинамічним коефіцієнтом окружної сили або просто окружним коефіцієнтом

$$C_{\text{окр}} = C_Y \sin \psi - C_x \cos \psi, \quad (3.7)$$

Потужність вітряка є твір окружної сили на окружну швидкість

$$N = F_{окр} ZV = Z^3 V^3 \left(1 + \frac{a^2}{2Z^2} \right)^2 \frac{\rho S}{2} C_{окр}, \quad (3.8)$$

Ця формула дає не потужність вітряка, а потужність елемента лопаті, розташованого на кінчику. Потужність вітряка обчислюється інтегруванням по радіусу.

Розглянемо поляр лопаті на рис.3.2.

Проведемо до поляру дотичну OA. І побудуємо швидкісну пряму OZ, яка задається рівнянням

$$C_y = \frac{Z}{a} C_x, \quad (3.9)$$

Тобто швидкісна пряма утворює з віссю C_y швидкісний кут ψ , розглянутий раніше.

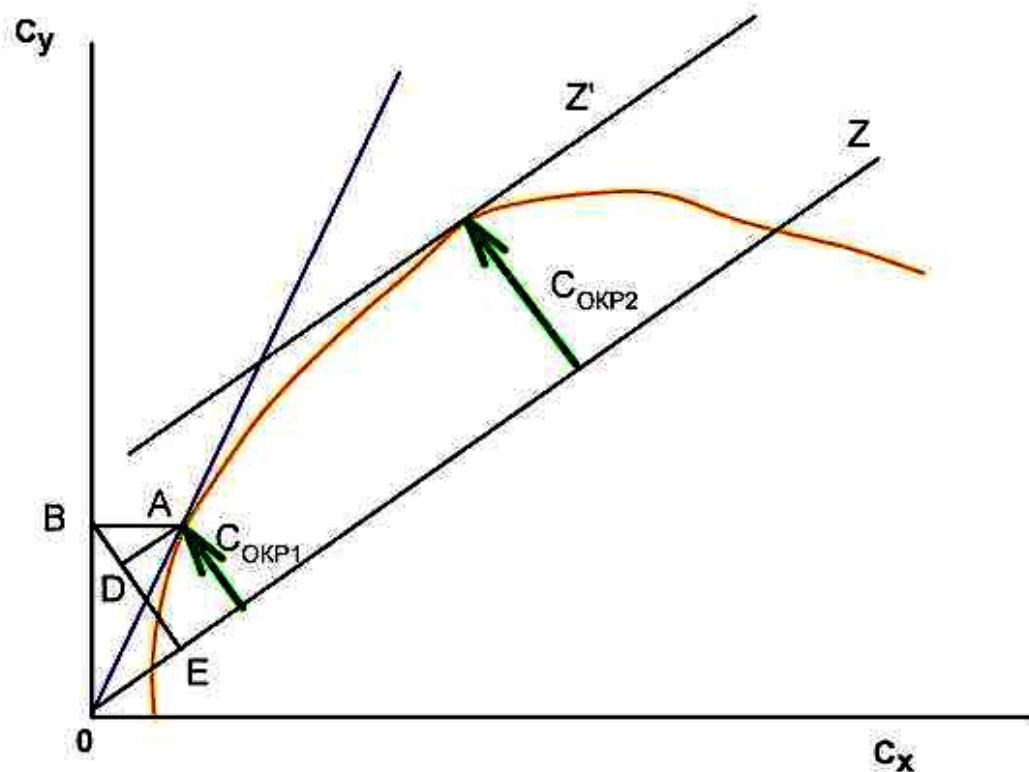


Рисунок 3.2 - Знаходження коефіцієнта окружної сили

ОВ дорівнює величині підйомної сили в точці А. Отже:

$$BE = C_y \sin \psi. \quad (3.10)$$

Кут ABD дорівнює куту ψ , а гіпотенуза АВ є коефіцієнт лобового опору в точці А. Тому катет BD дорівнює:

$$BD = C_x \cos \psi. \quad (3.11)$$

Відрізок DE є різницею двох відрізків

$$DE = BE - BD = C_y \sin \psi - C_x \cos \psi. \quad (3.12)$$

Отримали той же вираз, що й у формулі потужності вітряка. Всі інші складові у формулі потужності задані, тому потужність визначається цим відрізком або, інакше кажучи, від відстані від швидкісної лінії OZ до робочої точки. З графіка видно, що коефіцієнт $C_{окр}$ максимальний в точці дотику швидкісної лінії Z' до поляру, а не в точці максимальної аеродинамічної якості. Тому, задавшись швидкістю і побудувавши швидкісну лінію, можна наочно аналізувати роботу вітряка.

3.2 Результати аналіз та вибору форми лопатей

При розрахунках порівнювалися вітчизняні та зарубіжні авіаційні і гвинтові профілі (всього близько 100 видів), при цьому розглядалися ротори з однаковими геометричними розмірами, але різними профілями лопатей.

За результатами розрахунків була підтверджена ефективність застосування плосковипуклих, увігнуто-опуклих і ламінарних профілів.

За результатами розрахунку було відібрано 19 профілів, які можуть бути використані для ВЕУ з неповоротними лопатями. Серед них більшість серії

Gottingen (Gottingen - 289, - 420, - 449, - 508, - 624, - 711, - 797, - 652, - 387, - 398, - 426, - 527, - 535). Далі є кілька ламінарних профілів FX76 - 184, FX63 - 137, FX60 - 126, FX67 - k70, П - 15. Була підтверджена ефективність профілів "Есперо" і ЦАГІ-909, які були рекомендовані спеціально для лопатей ВЕУ [19].

Плоско-опуклі профілі дозволяють при інших рівних умовах отримати більшу швидкохідність. Вгнутоопуклі профілі дозволяють ставити лопаті під великими кутами атаки, але при цьому вони мають високу c_y^{\max} і для отримання заданої швидкохідності лопаті необхідно робити більш вузькими.

Профілі з великою відносною товщиною порядку 0,17-0,18 не поступаються за ефективністю тонким профілям з товщиною близько 0,13-0,14.

Для відібраних варіантів залежно від профілю і кута установки лопаті ККД ротора змінюється від 0,43 до 0,55. Номінальна швидкохідність змінюється від 5,5 до 7,5 (найбільш характерне значення 7). Швидкохідність холостого ходу змінювалася від 11 до 15. Оптимальний кут установки змінювався від 5° до 13° (найбільш характерне значення 7°).

Було виявлено велику кількість профілів, які перевершують за своїми характеристиками найбільш поширений у вітчизняній вітроенергетиці профіль "Есперо".

На підставі проведеного аналізу досліджень обраний профіль FX63-137 (рис. 3.3).

Переваги даного профілю наступні (порівняльні цифри наводяться для 3-х лопатевого ротора діаметром 3,6 м із шириною лопатей 150 мм):

- високий максимальний ККД – 55 %, проти 46 % у профілю «Есперо».
- високий оптимальний кут установки - 9° , проти 7° для профілю «Есперо».

Недоліки профілю наступні:

- дещо нижче номінальна швидкохідність - 6,7 проти 7,2 у профілю «Есперо». Даний недолік є несуттєвим, оскільки профіль FX має практично у всьому діапазоні швидкохідності більш високий ККД.

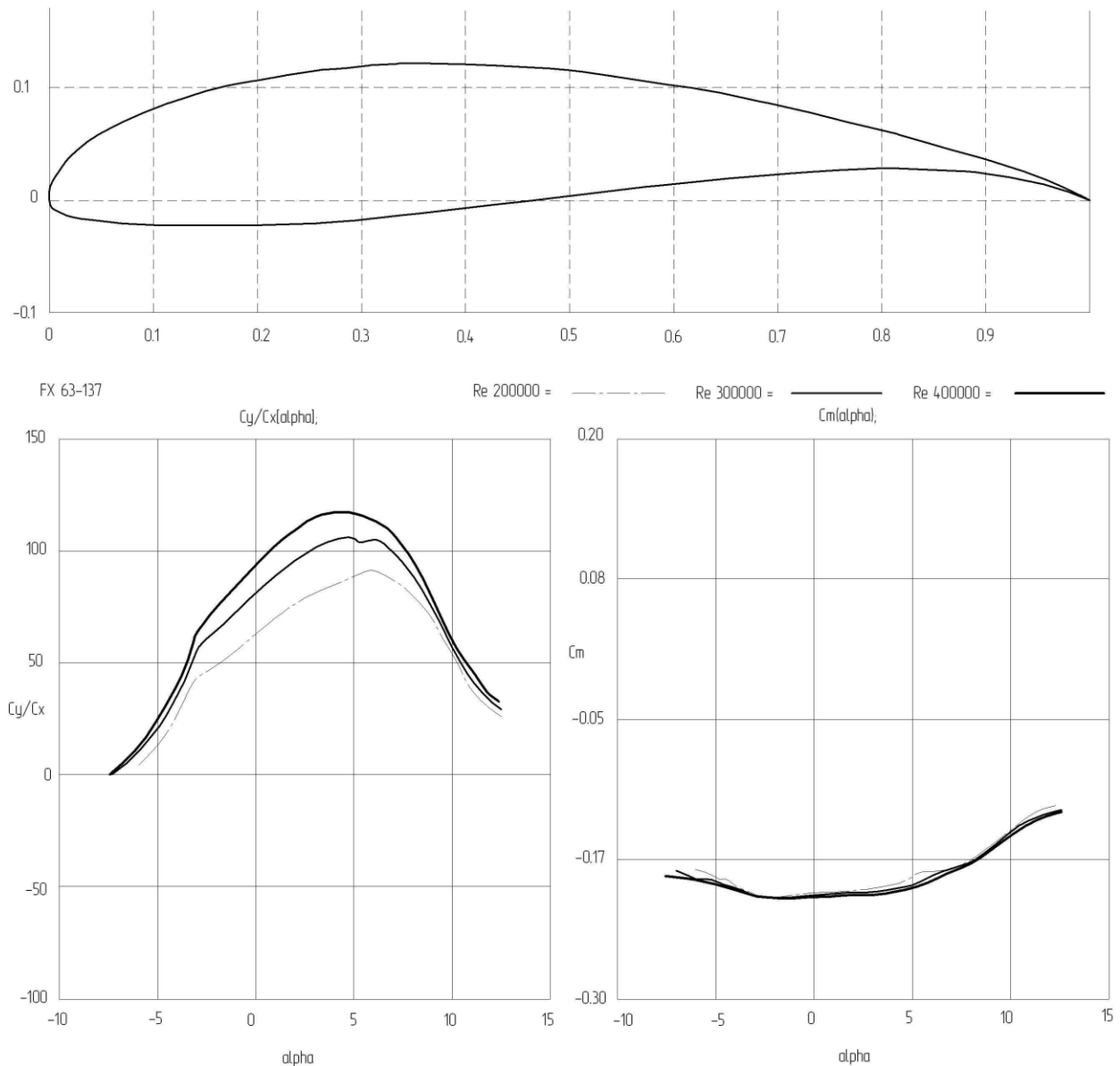


Рисунок 3.3 - Координати і характеристики профілю FX63-137

3.3 Кут установки лопаті

Умова оптимального обтікання лопаті залежить від кута установки лопатей. Розглянемо елемент лопаті, розташований в потоці повітря, який спрямований в його напрямку (набігаючий потік) (рис. 3.4). Оптимальне обтікання профілю крила набігаючим потоком, при якому підймальна сила буде мати максимальне значення буде мати місце при розташуванні результуючого вектора набігаючого вітрового потоку $v_{рез1}$, в площині

розташування профілю крила λ . Площина розташування профілю крила нормальна до серединної лінії лопаті, на рис. 2.8 серединна лінія збігається з віссю Z.

Відхилення вектора $v_{рез1}$ в площині λ можна компенсувати кутом установки лопаті, так що б кут атаки був оптимальним.

У досліджуваній конструкції ВЕУ за рахунок геометричної форми серединної лінії лопаті результуючий вектор набігаючого вітрового потоку розташовується під деяким кутом γ до площини λ , що призводить до відхилення від оптимальних умов обтікання.

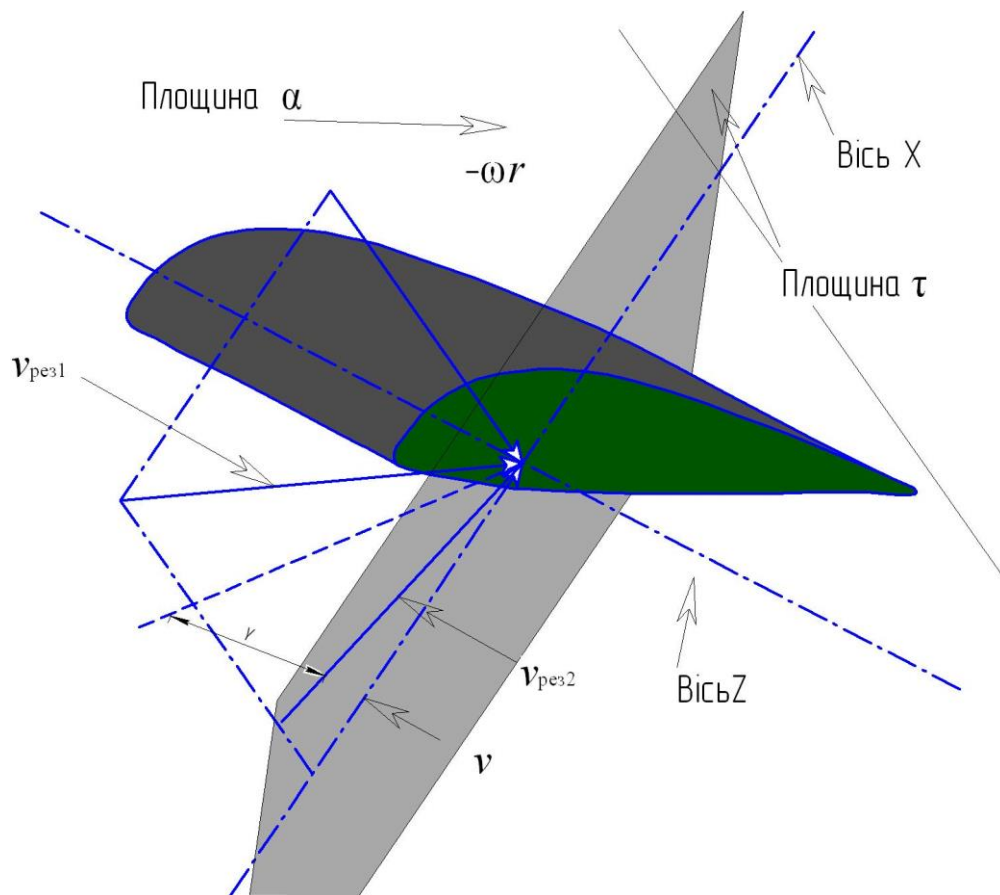


Рисунок 3.4 - Схема розташування векторів швидкості набігаючого потоку на елемент лопаті

Для ефективної роботи установки необхідно мати мінімальне значення кута γ , на кожній ділянці лопаті. Для прийнятої конструкції лопаті

досліджуваної ВЕУ представленої на рис. 2.1 напрямком обертання ротора здійснюється проти годинникової стрілки.

Побудуємо вектори набігаючого потоку на лопать, для чого розділимо лопать на 8 частин (рис. 3.5).

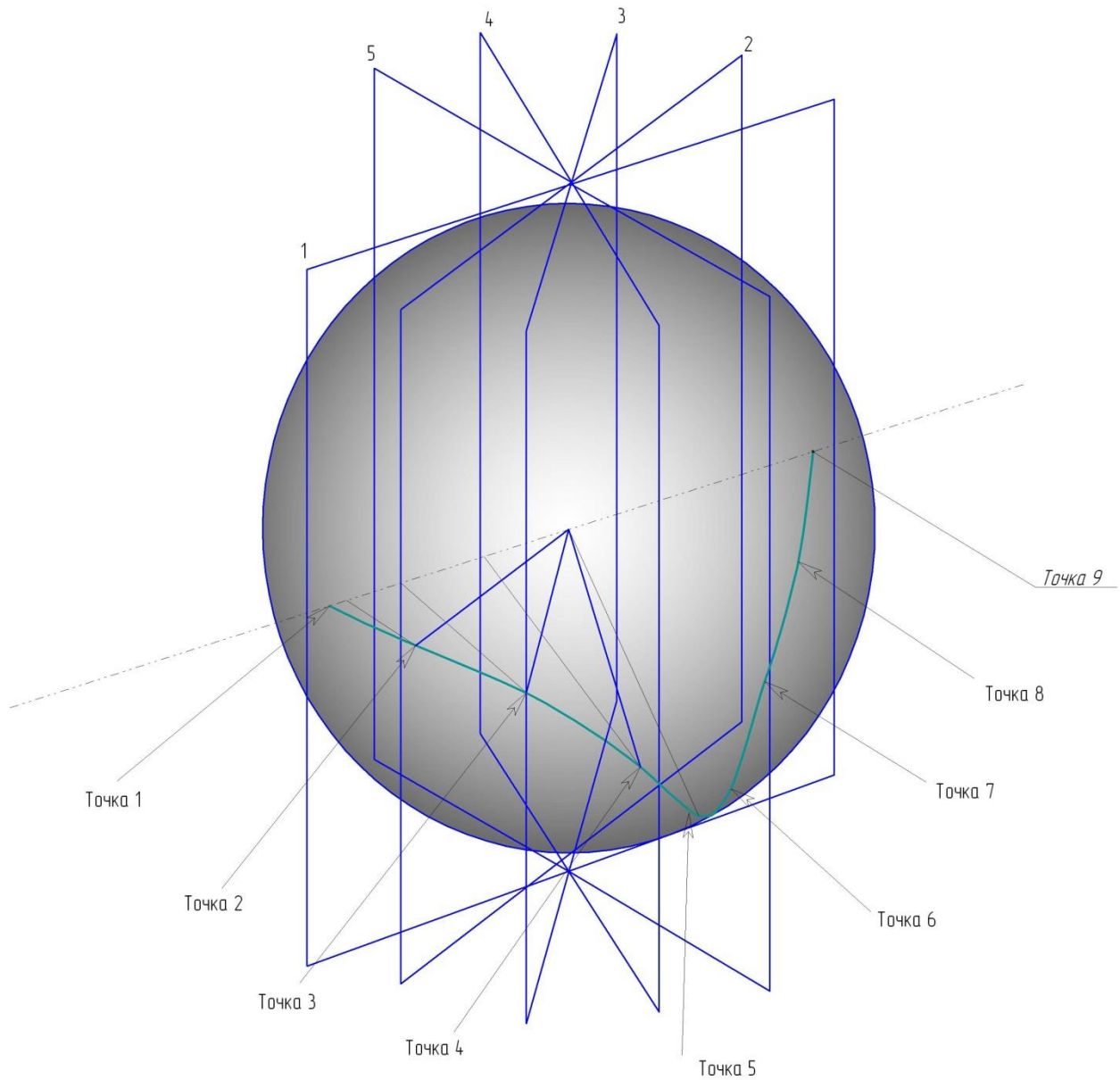


Рисунок 3.5 - Розподіл серединної лінії ротора

На рис. 3.5 для зручності відображено 5 площин ділять першу чверть захоплюваної поверхні (першу половину лопаті) на 4 рівні частини. Друга половина ділиться аналогічним чином. Відзначимо основні точки отримані в результаті перетину серединної лінії і січних площин цифрами від 1 до 9. Тепер у кожній з отриманих точок побудуємо вектори набігаючого потоку при режимі

10 м/с, 335 об/хв, для прийнятого напрямку обертання (прямого) і зворотного (рис. 3.6). Основні режими роботи були визначені при попередніх продувках. Швидкість набігаючого потоку в даному прикладі вибрано близькою до робочої швидкості більшості агрегатів.

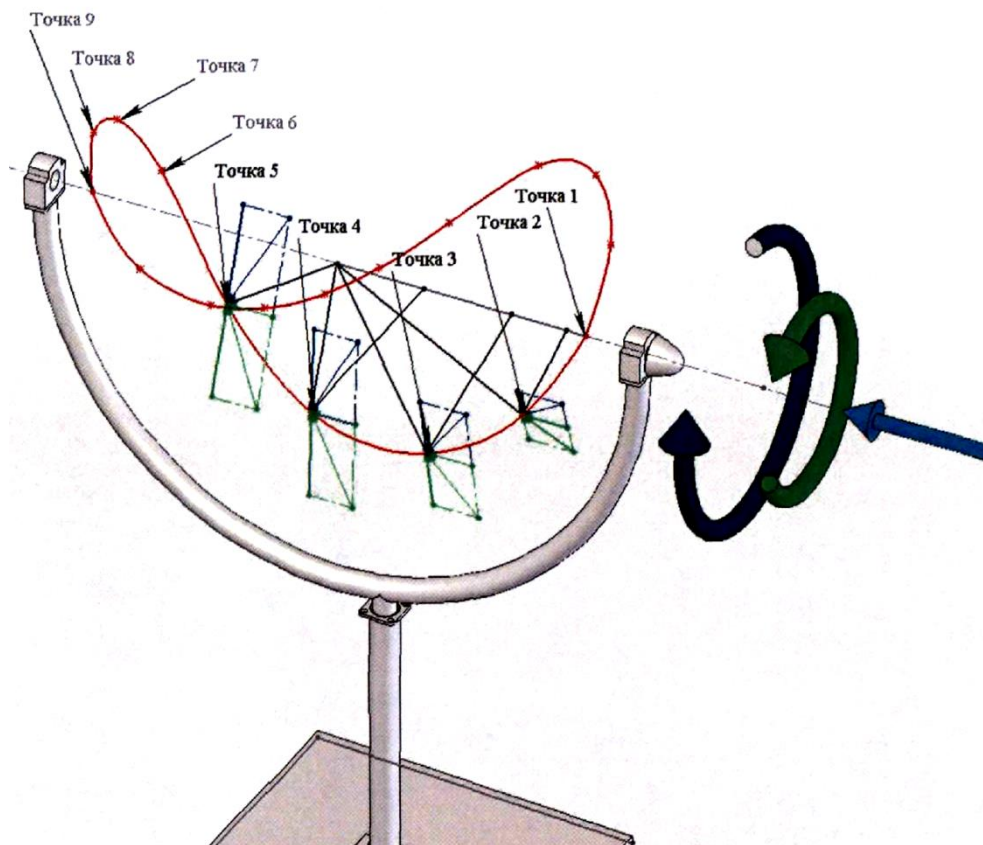


Рисунок 3.6 - Вектори набігаючого потоку, для першої половини лопаті

На рис. 3.6 блакитна стрілка відповідає напрямку вітрового потоку, зеленим кольором позначені прямий напрямок обертання ротора і вектори набігаючого потоку, відповідні даному обертанню, і, відповідно синім - зворотний напрямок обертання і відповідні йому вектори набігаючого потоку. Чорним кольором позначені точки першої половини, і сірим кольором - другої. Напрямок обертання ротора залежить від лопатей. При одній і тій же серединій лінії лопатей можна отримати два різних обертання. Зворотне обертання ротора виходить при дзеркальному відображенні профілю щодо осі X (див. рис. 3.7) На

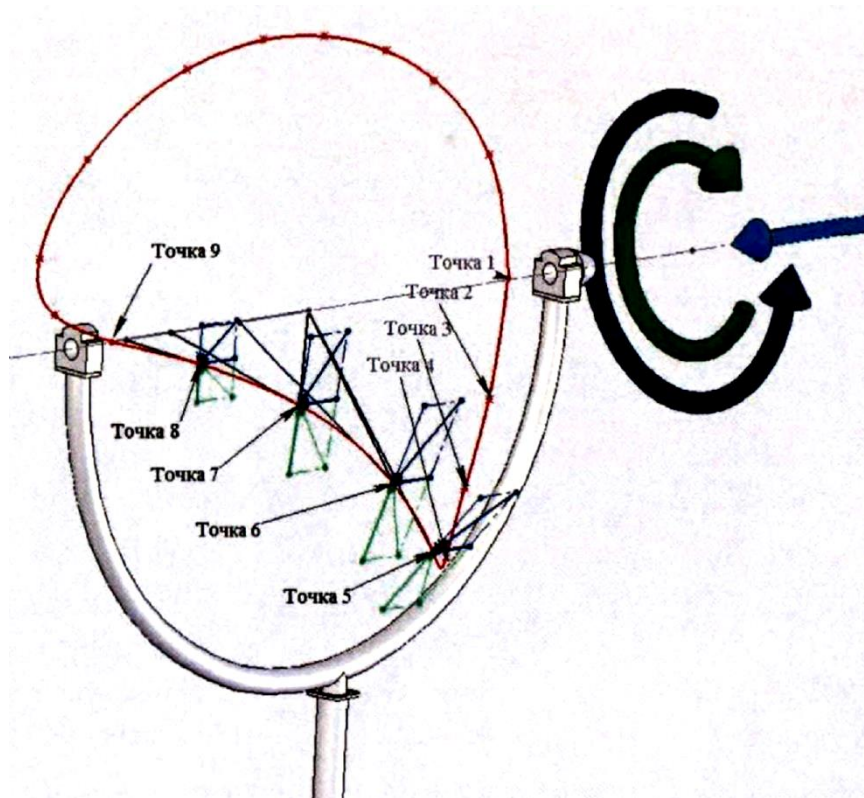


Рисунок 3.8 - Вектори набігаючого потоку, для другої половини лопаті

Результати геометричного моделювання представлені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 - Результати геометричного моделювання

Напрямок обертання ротора	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6	Точка 7	Точка 8	Точка 9
Прямий	$\sim 0^\circ$	$20,86^\circ$	$41,16^\circ$	$63,72^\circ$	$72,45^\circ$	$63,72^\circ$	$41,16^\circ$	$20,86^\circ$	$\sim 0^\circ$
Зворотний	$\sim 0^\circ$	$14,95^\circ$	$7,76^\circ$	$10,51^\circ$	$16,07^\circ$	$10,51^\circ$	$7,76^\circ$	$14,95^\circ$	$\sim 0^\circ$

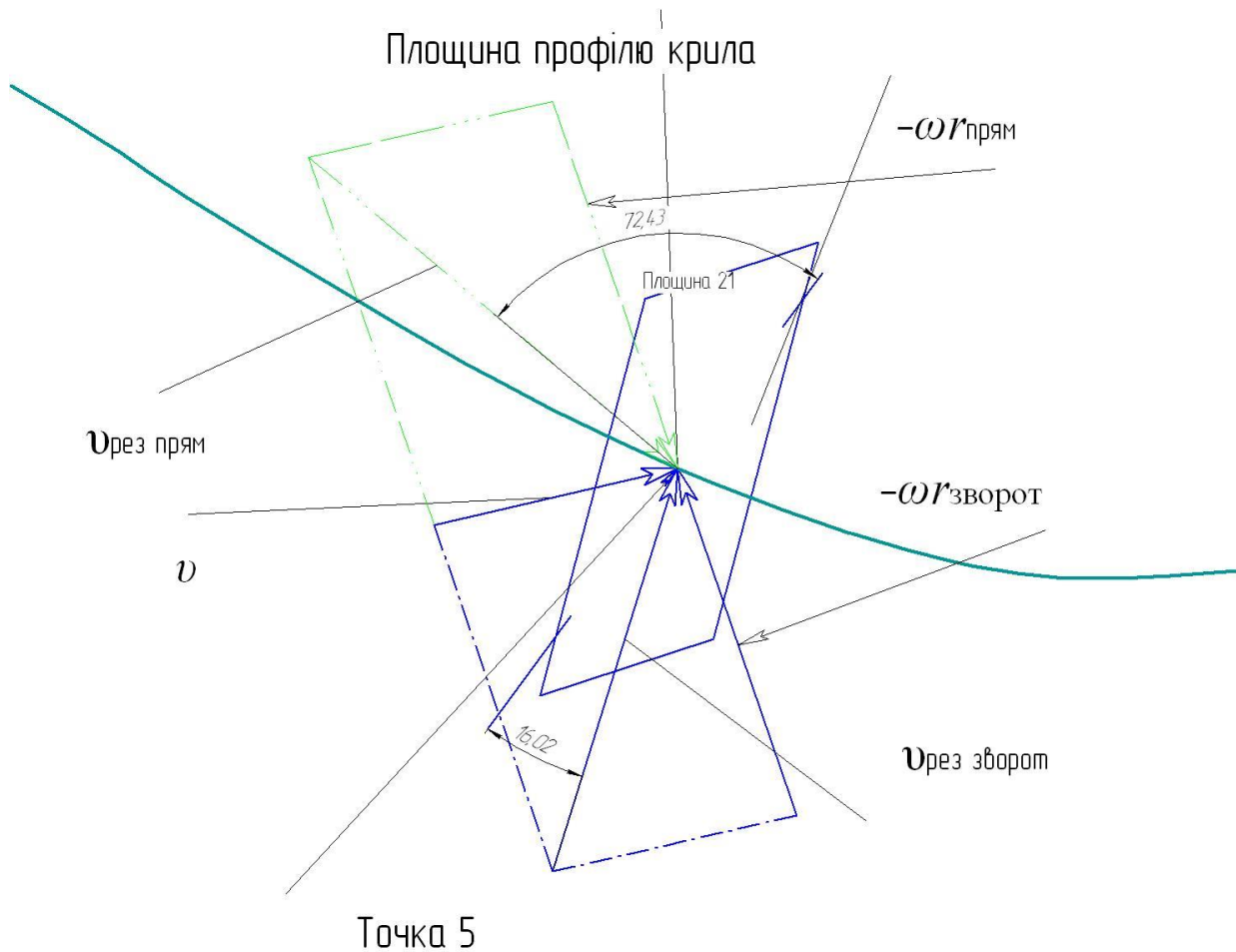


Рисунок 3.9 - Кути між результируючим вектором швидкості і площиною профілю крила для точки 5

3.4 Висновки до розділу

1. За результатами розрахунків підтверджена ефективність застосування плосковипуклих, увігнуто-опуклих і ламінарних профілів лопатей. Плоско-опуклі профілі дозволяють при інших рівних умовах отримати більшу швидкохідність. Вгнутоопуклі профілі дозволяють ставити лопаті під великими кутами атаки, але при цьому вони мають високу c_y^{\max} і для отримання заданої швидкохідності лопаті необхідно робити більш вузькими.

2. Запропоновано модель форми спіралі лопатей спіральної вітроелектричної установки.
3. Проаналізовано та запропоновано енергоефективний профіль лопаті.
4. Визначено кути між результуючими векторами вітрового потоку і площини розташування крилового профілю.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи безпеки при монтажі електроустановок

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [20]:

- 1) зі зняттям напруги;
- 2) без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них;
- 3) без зняття напруги не на струмовідних частинах, що знаходяться під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до і понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок більше 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які здійснюються в електроустановці (або її частини), в якій з струмопровідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що знаходяться під напругою, стало неможливим.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші - групу III.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно спеціальних інструкцій або технологічними картами, в яких передбачені необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу від них необхідно:

- захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадковий дотик;
- працювати в діелектричній взуття, стоячи або на ізолювальних підставці або на діелектричному килимі;
- застосовувати інструмент з ізолювальними рукавами (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукави до обмежувального кільця;
- Розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;
- Користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

У разі виявлення порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними забороняється.

У процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих коштів.

Всі працівники, які знаходяться у приміщеннях з чинним електрообладнанням електростанцій і підстанцій (за винятком щитів керування релейних та їм подібних приміщень), в ЗРУ, ВРУ, в колодязях, тунелях і траншеях зобов'язані користуватися захисними касками.

4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [20]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

— усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;

— визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;

— виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);

— підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;

— викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Для звільнення потерпілого від струмоведучих частин або провода напругою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або; будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або

перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затруднює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15—20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрозовувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий

знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

4.3 Підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час

На основі всебічного аналізу факторів, що впливають на стійкість роботи об'єктів енергетики, робляться висновки про ймовірність виникнення аварій, стихійних лих, терористичних актів та їх впливу на виробничу діяльність і визначаються основні напрямки (шляхи) підвищення стійкості функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу [21]:

1. Забезпечення надійного захисту робітників та службовців від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих і засобів ураження
2. Захист основних виробничих фондів від впливу вражаючих факторів аварій, катастроф, стихійних лих та засобів ураження, в тому числі і від вторинних вражаючих факторів;
3. Забезпечення стабільності і безперервності управління виробництвом та ЦЗ;
4. Забезпечення надійності постачання об'єкта енергоносіями.

Для надійного функціонування об'єктів енергетики в надзвичайних ситуаціях завчасно організовуються і проводяться заходи, спрямовані на підвищення стійкості їх роботи. До них відносяться:

1. Інженерно-технічні заходи (ІТЗ).
2. Технологічні заходи.
3. Організаційні заходи.

Інженерно-технічні заходи - заходи, спрямовані на забезпечення підвищення стійкості будівель, споруд, обладнання, енергетичних систем до впливу НС.

Технологічні заходи - заходи, спрямовані на здійснення підвищення стійкості шляхом зміни технологічного режиму, що виключає виникнення вторинних факторів ураження.

Організаційні заходи - заходи, спрямовані на завчасну розробку і планування дій керівного складу, особового складу, штабу ЦЗ, служб, невоєнізованих формувань об'єктів енергетики в умовах надзвичайних ситуацій.

Основними напрямками підвищення стійкості функціонування є наступне:

- забезпечення захисту населення і його життєдіяльності;
- раціональне розміщення виробничих сил та потужностей на території об'єкта енергетики, регіону;
- підготовка до роботи в умовах НС мирного та воєнного часу;
- підготовка до виконання робіт по відновленню об'єктів в умовах НС;
- підготовка системи управління.

Всі ці заходи повинні забезпечити максимально можливе зниження втрат і руйнувань та зменшити можливість виникнення повторних зон зараження при впливі РР, ОР та НХР. Зміст таких заходів, виходячи з галузевих і інших нормативних документів, конкретизується для кожної територіальної ланки..

Ми знаємо, що електропостачання є основою всякого виробництва. Для забезпечення надійного електропостачання в НС при його проектуванні та будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги, що впливають із завдань цивільного захисту:

1. Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива.

2. Великі електростанції слід розміщувати одну від одної і від великих міст на значних відстанях.

3. Районні понижуючі підстанції, диспетчерські пункти енергосистем та лінії електропередач необхідно розміщувати розсереджено і надійно захищати.

4. Постачання електроенергією великих міст слід передбачати від двох незалежних джерел.

Крім того, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використовувати рухливі електростанції на залізничних платформах, малопотужні електростанції, не включені до енергосистеми. Система електропостачання повинна мати грозозахисту систему та захист від впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Енергетичні споруди та електричні мережі повинні проектуватися з урахуванням забезпечення стійкого електропостачання категорійних міст і об'єктів. Схема електричних мереж енергосистем при необхідності повинна передбачати можливість автоматичного розподілу енергосистеми на збалансовані, незалежно працюючі частини. При проектуванні енергетичних систем і їхнього об'єднання теплові (конденсаційні) електростанції слід розміщати поза зонами можливого катастрофічного затоплення. У категорійних містах припускається розміщення тільки теплоелектроцентралей незалежно від їхньої встановленої потужності з максимальним віддаленням їх від центрів житлової і промислової забудов. Нові атомні електростанції та атомні теплоелектроцентралі повинні розміщатися з урахуванням їх впливу на навколишнє середовище і радіаційну безпеку населення. На існуючих та на тих, що проектуються і будуються атомних станціях, передбачається створення систем автоматизованого контролю за радіаційною обстановкою на території станції і в зоні спостереження цих станцій, оповіщення та інформаційного забезпечення обслуговуючого персоналу і населення про радіаційну небезпеку, а також захищених пунктів керування протиаварійними діями на території станції і в пристанційних селищах.

При проектуванні схем зовнішнього електропостачання категорійних міст необхідно передбачати їхнє електропостачання від декількох незалежних та територіально рознесених джерел живлення (електростанції і підстанції),

частина з яких повинна розташовуватися за межами зон можливих руйнувань. При цьому зазначені джерела і їхні лінії електропередачі повинні, як правило, знаходитися на відстані одне від одного, що виключає можливість їхнього одночасного виходу з ладу. Системи електропостачання категорійних міст повинні враховувати можливість забезпечення транзиту електроенергії в обхід зруйнованих об'єктів за рахунок спорудження коротких перемичок повітряними лініями електропередачі. Нові лінії електропередачі, що живлять особливо важливих споживачів, слід проектувати в кабельному виконанні. Для забезпечення можливості зниження електричного навантаження в категорійних містах системи електропостачання об'єктів, які не відключаються у воєнний час, повинні бути відділені від систем електропостачання інших об'єктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу існуючих вітроенергетичних установок запропоновано удосконалення конструкції ВЕУ із спіральними лопатями малої потужності, яка відноситься до типу саморегулювальних.

2. Встановлено, що:

– підвищення рушійного моменту дозволяє збільшити вироблення енергії ВЕУ з неповоротними лопатями.

– істотно підвищити рушійний момент можна шляхом правильного підбору профілю лопаті.

– основна вимога до профілю неповоротних лопатей – збільшення кута встановлення лопаті при збереженні високого коефіцієнта використання енергії вітру і заданої швидкохідності.

– перетини лопатей ВЕУ малої потужності працюють при малих числах Рейнольдса (порядку 400'000), звідси впливає необхідність застосування спеціальних профілів, ефективних при малих числах Re .

3. Запропонована ВЕУ має складну лопатеву систему, яка дозволяє:

– двічі перетворювати енергію вітрового потоку, один раз на передній частині лопатей, другий раз - на задній, що підвищує загальну ефективність установки.

– знизити навантаження, що діють на максимально віддалені частини лопатей, викликані силою опору вітру, що підвищує надійність установки.

– істотно знизити вібрацію лопатей, за рахунок відсутності вільного кінця лопаті і кріплення підстави лопаті в двох точках, що в свою чергу знижує шумові впливи на навколишнє середовище і підвищує надійність установки.

– установка самопозиціонується на вітер за рахунок, присутності ексцентриситету осі обертання.

4. Запропонована ВЕУ має ексцентриситет осі обертання щодо геометричної осі симетрії, що дозволяє відмовитися від додаткових пристроїв орієнтації на вітер.

5. Вибрано найбільш енергоефективний профіль лопаті спіралі вітряка.
6. На основі геометричного аналізу встановлено кути між результуючими векторами вітрового потоку і площини розташування крилового профілю (таблиця 3.1)

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – С. 115.
2. Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине // Энергетика та електрифікація. – 2007. – № 7 (287). – С. 11-16.
3. Кузьмин В.В., Тимощенко В.Г. Проблемы электропривода и преобразовательной техники в свете тенденций развития энергетики в 21 веке //Сборник научн. тр. НПО «Электротяжмаш». – Харьков: Электротяжмаш, 2004. – С. 45-52.
4. Сидельников Б.В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов // Вестник Щецинского технического университета. – Щецин, Польша: ЩТУ, 2001. – С. 23-29.
5. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. – М.: Наука, 1966. – 280 с.
6. Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. – Oxford University Press in Association with The Open University, 2004. – 452 p.
7. Сабинин Г. Х. Теория идеального ветряка [Текст] / Г. Х. Сабинин // Труды ЦАГИ. - М.: Бюро науч. информ. ЦАГИ, 1923. - 25 с.
8. Lysen E.H. Introduction to Wind Energy [Text]/ E.H. Lysen. -SWD,1982.- 150p.
9. Elistratov V.V. Wind turbine with spiral blades [Text] IV. V. Elistratov, E. N. Bykov: Ecobaltika'2006. Book of proceedings. - St.-Petersburg, 2006. -168 p.
10. Die Multi - Megawatt Prototypen - Leistungsdaten aus Danemark [Text] II Wind - Kraft & Naturliche Energien Journal. - 2004. - №4. - S. 39.

11. Grofite Windenergieanlage der Welt am Netz Weitere Anlage des Typs REpower 5 MW soil 2005 im DEWI OCC - Testfeld: Cuxhaven errichtet werden [Text] // Wind - Kraft & Naturliche Energien Journal. - 2004. - №6. -S.44.

12. Offshore test for 5 MW turbine [Text] // Power Eng. Int. - 2005. - №2. ~ P. 11.

13. Зуев Н. В. Исследование профилей быстроходных ветроколес с неповоротными лопастями с целью оптимизации аэродинамических характеристик [Текст] / Н. В. Зуев // Научная конференция «Проблемы развития и использования малой и возобновляемой энергетики России». -СПб., 1997.- С.85-87.

14. Кашафутдинов С. Т. Атлас аэродинамических планерных крыловых профилей [Атлас] / С. Т. Кашафутдинов, Р. В. Каликина. - М.: Гос. ком. союза по авиац. техн., 1962. - 60 с: ил..

15. Готтесман В. Л. Профили для летающих моделей [Текст] / В. Л. Готтесман. - М.: Изд-во ДОСААФ, 1958. - 121 с: ил.

16. Зуев Н. В. Повышение уровня электрообеспеченности бытовых потребителей в доме фермерства путем исследований и создания конкурентно-способной автономной ветроэлектрической установки малой мощности [Текст] : Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Н. В. Зуев. - СПб., 2000. - 18 с.

17. Кравец А. С. . Характеристики авиационных профилей [Текст] / А. С. Кравец. - М.: Оборонгиз, 1939. - 121с: ил.

18. Вашкевич К.П. Новый профиль лопастей быстроходных ветродвигателей [Текст] // К. П. Вашкевич, В. Н. Волостных // Промышленная аэродинамика. - 1964. -№ 26. - С.47-61.

19. Фатеев Е. М. Методика определения параметров ветроэнергетических расчетов ветросиловых установок [Текст] / Е. М. Фатеев. - М.: АН СССР, 1957.- 342 с.

20. В. Ц. Жидецкий, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

21. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. — 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / Стеблюк М.І. — К., 2010. — 487 с.