Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій і екології

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр»

«Проектування вітроенергетичної установки для котельної»

Виконав студент 4 курсу, групи НФ-41

Спеціальність

105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем

П'ятниця А. В. _____

Керівник: Кошельнік О.В. _____

Рецензент: Круглякова О.В._____

Харків - 2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Інститут Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) «бакалавр»
Напрям підготовки 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І.Ткаченко
підпис

"____"_____2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

П'ятниці Антону Васильовичу

1. Тема роботи Проектування вітроенергетичної установки для котельної
керівник роботи ___Кошельнік Олександр Вадимович, к.т.н, доцент_

затверджені наказом по університету від "05"грудня 2019 року № 0210-05/2249

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2020 р.
3. Перелік питань, які потрібно розробити

Аналіз існуючих конструкцій вітроенергетичних установок та особливостей їх роботи; Визначення річної сумарної електричної потужності споживачів котельної; Вибір типу вітроустановки та визначення параметрів її роботи; Оцінка ефективності застосування вітроенергетичної установки для живлення електричних споживачів котельної.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд загального стану застосування та конструктивних особливостей вітроустановок
2	Проведення розрахунків електричної потужності споживачів котельної
3	Вибір вітроустановки та розрахунки показників її роботи
4	Дослідження ефективності застосування вітроенергетичної установки

5. Дата видачі завдання 10 вересня 2019 р.

Студент _____ А. В. П’ятниця _____
підпис

Керівник роботи _____ О. В. Кошельнік _____
підпис

Реферат

П’ятниця Антон Васильович «Проектування вітроенергетичної установки для котельної» (випускна робота бакалавра). – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2020. –42 с.

Дипломний проект містить 42 сторінки, 9 рисунків, 5 таблиць, список використаних джерел з 15 найменувань.

Об'єктом дослідження є вітроенергетична установка, що використовується для отримання електричної енергії з метою покриття електричного навантаження споживачів котельної. Мета роботи полягає в дослідженні ефективності застосування вітроенергетичної установки для забезпечення електричною енергією котельні.

Головними завданнями роботи є: аналіз сучасного стану використання та конструкцій вітроенергетичних установок різних типів; визначення річної сумарної електричної потужності для споживачів котельної; виконання оцінки вітрового потенціалу місцевості; вибір вітроагрегату та розрахунок основних параметрів його роботи; визначення доцільності застосування вітроагрегату для покриття навантаження електричних споживачів в котельній.

Ключові слова: котельня, вітроенергетична установка, електричний струм, навантаження, ефективність.

Abstract

Pyatnica Anton Vasilyevich "Design of a wind power plant for a boiler room" (bachelor graduation work). – Kharkiv : Karazin National University, 2020. – 42 p.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions; 9 contains drawings, 5 tables, list of sources of 15 items.

The object of research is a wind power installation, which is used to produce electrical energy in order to cover the electrical load of the boiler consumers. The purpose of the work is to study the effectiveness of the use of a wind power installation.

The main tasks of the work are: analysis of the current state of use and designs of various types of wind power plants; determination of the annual total electric power for boiler house consumers; assessment of the wind potential of the area; selection of a wind turbine and calculation of the main parameters of its operation; determination of the feasibility of using a wind turbine to cover the load of electrical consumers in the boiler room.

Keywords: boiler room, wind power installation, electric current, load, efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП...…….....8
РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГІЯ ВІТРУ ТА ПОТЕНЦІАЛ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ…….....9
1.1 Походження вітру……...9
1.2 Оцінка вітроенергетичного потенціалу……..11
1.3 Використання енергії вітру…….13
РОЗДІЛ 2. ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ ВІТРОУСТАНОВКИ ТА ЇХ КОНСТРУКЦІЯ…….....17
2.1 Загальна класифікація вітроенергетичних систем……17
2.2 Типи вітроенергоустановок……20
2.2.1 Вітроустановки з горизонтальною віссю……20
2.2.2 Вітроустановки з вертикальною віссю……23
2.3 Схеми підключення вітроенергетичних установок……..25
РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ВІТРОУСТАНОВОК ……29
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ……...…33
4.1 Розрахунок потужності технологічного обладнання котельні……33
4.2 Визначення необхідної потужності вітрогенератора……...35
4.3 Вибір ВЕУ……35
4.4 Розрахунок параметрів ВЕУ……36
4.5 Розрахунок виробництва електроенергії вітроустановкою……..38
ВИСНОВКИ…...……41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……...……...42

ВСТУП

Вітрова енергія на противагу прямій енергії Сонця є непрямим видом сонячної енергії. Вплив Сонця викликає в земній атмосфері температурні градієнти, внаслідок чого виникає вітер. Він досягає явно більше високих значень щільності енергії, ніж це має місце про сонячному випромінюванні. У протилежність максимальній сонячній інтенсивності випромінювання приблизно 1 кВт/м^2, щільність енергії вітру на Землі під час потужного шторму досягає значень до 10 кВт/м^2, а при урагані до 25 кВт/м^2. Торнадо й смерчі характеризуються величинами енергії понад 100 кВт/м^2. У середньому вітер має швидкість 5 м/с і створює при цьому щільність енергії 0,075 кВт/м^2.

Використання енергії вітру має давню історію. Вже більше 300 років тому енергія вітру використовувалася для сільського господарства. Це вітряні млини, що працювали за принципом спротиву. Вони мали дуже малий ККД. В Європі енергія вітру одержала визнання вже в XII сторіччі. У Північній Америці в XIX столітті використовувалася значна кількість вітряків для подачі води. На початку XX сторіччя у енергії вітру повнилися дуже потужні конкуренти – парові машини та двигуни внутрішнього згоряння,

З появою електроенергії вітрова енергія повністю втратила своє значення І тільки під час нафтової кризи в 70-і роки вітрова енергетика пережила епоху відродження. На противагу до минулого сторіччя сьогодні енергія вітру використовується винятково для виробництва електрики.

РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГІЯ ВІТРУ ТА ПОТЕНЦІАЛ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Походження вітру

Поверхня земної кулі постійно одержує гігантську кількість енергії сонячного випромінювання. Щоб Земля безупинно не розігрівалася і щоб, внаслідок цього не перегрівалася, певна кількість енергії Сонця знову відбивається від поверхні в космос. Однак на екватор надходить сонячної енергії більше, ніж земельна куля відбиває в космос. Шлях сонячного світла до полюсів більш довгий, чим до екватору. Тому на полюсах ситуація зворотна. Тут сонячної променистої енергії помітно менше, та у космос її відбивається більше, ніж надходить від Сонця. Як наслідок, виникає гігантський механізм транспорту енергії від екватора до полюсів. Таким чином, вітер спостерігається внаслідок дії Сонця.

Цей механізм транспорту тепла в першу чергу працює завдяки глобальному обміну повітряними масами. Колосальні по всьому світу циркуляції повітря перекачують тепло від екватора до полюсів. Виникають гігантські циркуляційні осередки, так звані осередки Хедлі (рис. 1.1) [1].

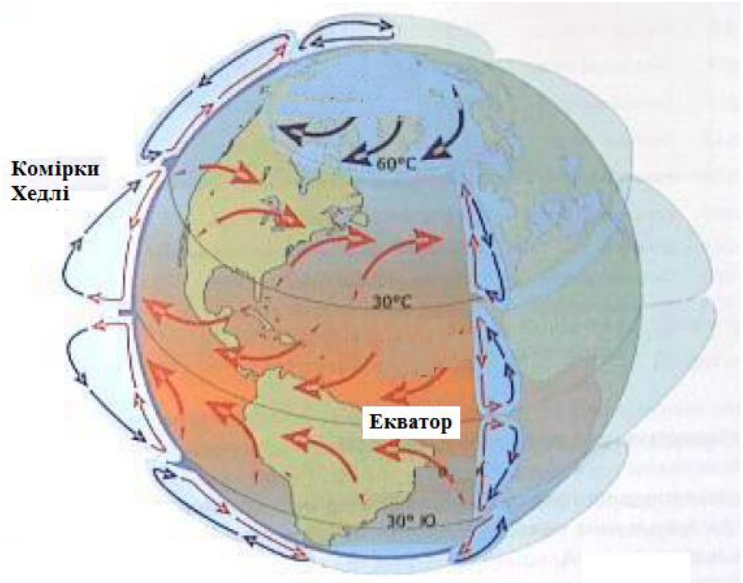


Рис. 1.1. Глобальні циркуляції повітря на Землі

Але обертання Землі відхиляє ці потоки. Так виникають відносно рівномірні вітри, які тривалий час мали дуже велике значення для вітрильного флоту. У тропічних морських зонах північніше екватора віє відносно рівномірний і постійний вітер, спрямований на північний схід. Тому цей вітер назвали північно-східний пасат. Південніше екватора, навпроти, панує південно-східний пасат.

Поряд з великими просторовими потоками повітряної маси мають місце також і потоки з малим обсягом, які визначаються наявністю областей високого й низького тисків. Прямолінійні потоки, що вирівнюють, від районів з різним тиском відхиляються силами Коріоліса. Через наявність обертання Землі повітряні маси дещо відхиляються в різні сторони в північній та південних півкулях. Ці маси обертаються біля областей з низьким тиском у вигляді вихрів.

Такі вітри, як пасати, спостерігаються до 30° південної і північної широт. Їх характерною особливістю є рівномірність руху повітря як за швидкістю, так і за напрямком. Середня швидкість пасатів південно-східного напрямку над земною поверхнею сягає до 8 м/с. Такі вітри виникають поблизу більших континентів внаслідок значних температурних коливань протягом всього року, а також перепадів тиску над материковою поверхнею. Пасати мають місто на висоті до 4 км. Над цим шаром спостерігаються вітри змінного напряму. А над цим, в свою чергу, дують антипасати. Їх напрямок є протилежним напрямку пасатів. Висота антипасатів залежить від пори року і характеру місцевості та складає від 4 до 8 км [1, 2].

У субтропіках в зонах високого тиску пасати змінюються областями, в яких переважає штильна погода. До півночі й півдня від цих областей десь до 60° спостерігаються вітри між західними та південно-західними в північній півкулі та у південній півкулі – між західним і північно-західним напрямком [3].

Вітровий ресурс особливо великий насамперед у прибережних районах, з одного боку, вітер у силу гладкої поверхні води може рухатися практично без

обмежень, з іншого боку, у прибережних районах мають місце також локальні циркуляційні потоки. Завдяки сонячній радіації суша, як правило, протягом дня нагрівається сильніше, ніж вода. Виникають локальні розходження в тисках, і вітер, що вирівнює, (бриз) дує об сторону суши. Райони поширення таких вітрів, як бризи, близько 50 км убік моря і 50 км – убік суши. Висота спостереження бризів у середніх широтах достигає 300 м [4]. У тропіках бризи спостерігаються на протязі всього року, а в помірній зоні – тільки в літній період та при високій температурі. Уночі суша остигає набагато швидше води, і тому в протилежному напрямків виникає потік повітря, що вирівнює.

Температурні зміни протягом року на узбережжі (моря, океани) також є причиною циркуляційних рухів, що є аналогом бризів, але з періодом в рік. Цю циркуляція повітря великих розмірів називають мусонами. Улітку поверхня континентальних районів нагрівається сильніше, ніж водяна поверхня океанів. Внаслідок цього над континентами утворюється область зі зниженим тиском, а повітря в нижній частині спрямовується до континенту від океанів, а вгорі – навпаки. Такі вітри мають назву морських мусонів. Узимку температура континентів значно менша, ніж поверхня моря або океану. Тому над ними спостерігається область з підвищеним тиском. І внаслідок цього повітря в нижніх шарах рухається від суші до води, а у верхніх – навпаки. Такі тип вітру називають в свою чергу мусонами материковими.

1.2 Оцінка вітроенергетичного потенціалу

Шкала Бофорта є поширеним способом оцінювання сили вітру у метеорології. Використовуючи її, можливо визначити приблизну швидкість вітру навіть без проведення вимірювань. Однак для технічних цілей ці дані менш уживані. Тут доцільніше використати такий параметр, як швидкість вітру

V, що задається в м/с. У таблиці 1.1 кожному класу вітру за шкалою Бофорта відповідає характерна величина швидкості вітру [5]. Класифікація швидкостей вітру за силою дії відображається за результатами впливу його на рослини та спорудження.

Таблиця 1.1

Визначення швидкості вітру за шкалою Бофорта

№	*V*, нм/с	Позначення	Вплив
0	0-0,2	Штиль	Дим підіймається вертикально
1	0,3-1,5	Легкий рух	Напрямок вітру визначається тільки по диму
2	1,6-3.3	Легкий вітерець	Вітер відчувається, листя шелестять
3	3,4-5,4	Слабкий вітер	Шелестять листя, розкачуються гілки
4	5,5-7,9	Помірний вітер	Вітер ворушить паростки та тонкі вітки, підіймається пил
5	8,0-10,7	Свіжий вітер	Маленькі дерева розпочинають розкачуватися
6	10,8-13,8	Сильний вітер	Великі гілки дерев розкачуються, гудять проводи
7	13,9-17,1	Кріпкий вітер	Дерева розкачуються, трудно йти проти вітру
8	17-20,7	Штормовий вітер	Вітер зламує гілки дерев
9	20,8-24,4	Шторм	Невеликі руйнування домів і криш
10	24,5-28,4	Сильний шторм	Вітер вириває дерева з корнем
11	28,5-32,6	Жорстокий шторм	Важкі штормові руйнування
12	> 32,7	Ураган	Спустошливі руйнування

Ізовели – лінії (криві) на карті земної поверхні, що відповідає однієї й тій же величині середніх швидкостей вітру за даними спостережень. При наявності докладної карти з нанесеними ізовелами можливо розрахувати потенційні ресурси вітрової енергії для даної місцевості.

Величина швидкості вітру в окремих місцях є різною через наявність певних перешкод, зміни рельєфу місцевості та часу. Миттєва швидкість вітру V розраховується як сума середньої швидкості вітру V_m і змінної складової n.

Тоді

$$V = V_m + n.$$

Із збільшенням висоти над поверхнею землі спостерігається також зростання швидкості вітрового потоку. Для того, щоб визначити величину V на висоті найбільш часто використовується степенева залежність зміни швидкості залежно від висоти.

Найбільше часто у вітроенергетиці використовується аналітична двопараметрична залежність, що виражає ймовірну тривалість дії швидкостей вітру різних значень, параметри якої варіюють залежно від характеру місцевості.

Найчастіше основні характеристики вітру визначаються при деяких рельєфних і ландшафтних умовах у місцях вимірів і висот установки анемометра, які найчастіше можуть істотно відрізнятися від місцевості розташування конкретної вітроустановки і висоти вітроколеса. Тому звичайно за порівняну умову приймається відкрита рівна місцевість та висота десять метрів над поверхнею ґрунту.

1.3 Використання енергії вітру

Кінетична енергія потоку вітру E, що проходить через поверхню, перпендикулярну самому вітровому потоку за 1 с, називається потужністю вітрового потоку. Величина кінетичної енергії E, яку має вітер зі швидкістю V, може бути розрахована за допомогою наступного загального рівняння:

$$E = ½ \cdot mV^3.$$

Потужність P, що відповідає такій швидкості вітру, обчислюється диференціюванням енергії за часом. При постійній швидкості V виходить:

$$P = E = 1/2\hat{m}V^2.$$

За масою

$$m = \rho V,$$

добутку густини на объем v визначається потік повітряної маси з густиною ρ, що обдуває поверхню S зі швидкістю V:

$$\hat{m} = \rho\hat{V} = \rho \cdot S \cdot V.$$

Звідси потужність вітру розраховується як

$$P = ½\ \rho \cdot S \cdot V^3.$$

Густина повітря змінюється в залежності від його тиску p і температури t. Оскільки густина змінюється пропорційно тиску повітрю, то відповідна величина при зміні температури може бути отримана з таблиць теплофізичних даних повітря.

При ураганному штормі із силою вітру 11 балів і швидкістю 30 м/с, а також при температурі 10 °С вітер розвиває потужність 16,6 кВт/м^2. При такій високій щільності енергії, яку може давати шторм, спостерігаються руйнування. Напроти, при швидкості вітру 1 м/с потужність, що розвивається вітром, становить не більше 1 кВт/м^2. Звідси видно, що висока середня швидкість вітру є визначальною для забезпечення відповідного виходу енергії вітроенергетичної установки [6, 7].

При використанні сили вітру в нього потрібно відібрати енергію. Це здійснюється таким чином. Вітер гальмується технічною установкою, наприклад, повітряною турбіною, зі швидкості вітру $V_в$ до швидкості V_1, тим самим використовується різниця в потужності потоку вітру. Якби процес

протікав у каналі з жорсткими стінками і тиск повітря було б незмінним, то зі зміною швидкості $V_в$, змінилася б також і початкова швидкість V_1, тому що на кінці каналу повинна виходити така ж кількість повітря, що надходить до нього. У результаті потік маси повітря m перед повітряним колесом і після нього однаковий.

При використанні сили вітру за допомогою вітрових турбін, що вільно обтикаються, вітер гальмується, однак і тут потік повітряної маси перед колесом і після нього є постійним. Наслідком цього є те, що вітер після вітрової турбіни проходить через більшу по площі поверхню, ніж до цього (рис. 1.2).

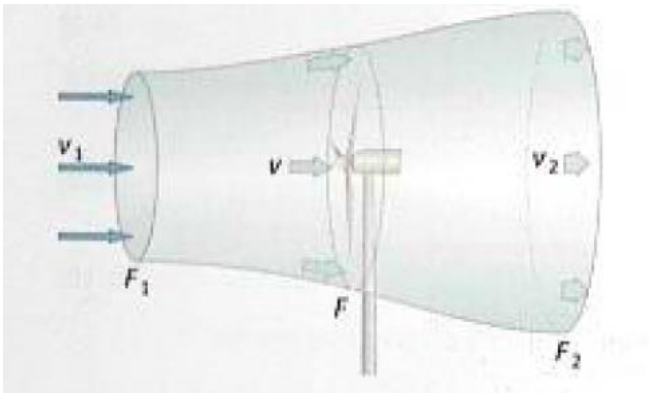


Рис. 1.2. Проходження вітрового потоку через турбіну, що вільно обтикається

При постійному тиску або постійній густині повітря є дійсним вираження

$$\hat{m} = \rho \hat{V} = \rho \cdot S_1 \cdot V_1 = \rho \cdot S_2 \cdot V_2 = \text{const}\,.$$

У разі, якщо предмет рухається під дією вітру із швидкістю U в тому ж напрямку, що й вітер, то силу спротиву визначається за вираженням:

$$F_W = C_W \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot F \cdot (V - U)^2,$$

а корисна потужність

$$P_N = C_W \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot F \cdot (V - U)^2 \cdot U,$$

де C_W – коефіцієнт використання енергії вітру, являє собою відношення потужності, що відібрана від вітру, до повної потужності вітрового потоку.

Критерій Бетца визначає максимальну частину енергії вітрового потоку, що може бути використана вітродвигуном. Максимальне значення коефіцієнта потужності становить 0,592, що вперше було обчислено Бетцом. Критерій Бетца справедливий для будь-якої енергетичної установки, обтічної вільним потоком рідини або газу, тобто для вітроустановки будь-якого типу. У кращих зразках серійних електровітрогенераторів коефіцієнт потужності сягає значення 0,4.

РОЗДІЛ 2. ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ ВІТРОУСТАНОВКИ ТА ЇХ КОНСТРУКЦІЯ

2.1 Загальна класифікація вітроенергетичних систем

Вітроенергетична установка – це комплекс взаємозалежного споруджень та обладнання, який призначений для виробництва механічної, теплової або електричної енергії з використанням вітрової енергії.

Принцип дії всіх типів вітроустановок є наступним. Вітроколесо з лопатям обертається під дією піднімальної сили, далі крутний момент передається на вал електрогенератора через відповідну систему передач, в процесі чого виробляється електроенергія. При збільшенні діаметру вітроколеса захоплюється більший повітряний потік, внаслідок чого зростає кількість отриманої енергії [8].

Вітроустановки з горизонтальною віссю обертання є традиційним типом вітряків. Це вдале рішення для вітроустановок невеликої потужності. Коли ж розміри агрегатів значно збільшуються, таке компонування виявляється досить неефективним через те, що вітер має різний напрямок в залежності від висоті. У цьому випадку не тільки не має можливості оптимальним чином орієнтувати агрегат в напрямку вітру, але й виникає вірогідність ушкодження лопатей вітроустановки.

В залежності від типу вітроколеса та його положенням в вітровому потоці існуючі системи вітроагрегатів підрозділяються на три наступні класи.

До 1-го класу належать вітрові двигуни з вітровим колесом, розташованим у вертикальній площині. В даному випадку площина обертання є перпендикулярною напрямку самого вітру, і, в наслідок цього вісь вітрового колеса направлена паралельно потоку. Такий тип вітродвигунів називаються крильчатим [9, 10].

Другий клас являє собою системи вітродвигунів, що мають вертикальну

вісь обертання вітрового колеса. В свою чергу в залежності від конструкції вони підрозділяються на наступні дві підгрупи [11, 12]:

- карусельні – неробочі лопаті або розташовані ребром проти вітру або закриваються ширмою;
- роторні вітродвигуни.

До 3-го класу відноситься вітродвигуни, що працює із застосуванням принципу водяного колеса. Вітрові двигуни такого типу називаються барабанними. У цих двигунів вісь обертання є горизонтальною та спрямована перпендикулярно напрямку повітряного потоку.

Враховуючи принцип знаходження робочої площини вітрового колеса в вітровому потоці, а також інші конструктивні особливості, можливо виділити наступні недоліки вітроустановок карусельного та барабанного типів, а саме [12, 13]:

1. Внаслідок того, що переміщення робочих лопатей колеса здійснюється в напрямку повітряного потоку, вітрове навантаження діє по різному на окремі лопаті. Через це кожна лопать має змінне навантаження, а коефіцієнт використання вітрової енергії є досить низьким – не більше 10 %.

2. Не можуть бути отримані великі оберти вітроколеса при русі їх поверхонь через те, що вони не можуть рухатися швидше вітру.

3. Та частина потоку повітря, що використовуються безпосередньо самою вітроустановкою, є незначною в порівнянні з габаритами колеса. Наслідком цього є зростання ваги колеса, віднесеної до одиниці встановленої потужності вітроенергетичної установки.

В той же час недоліки, характерні для карусельних і барабанних вітроагрегатів, відсутні у крильчатих вітродвигуни. Добрі аеродинамічні характеристики крильчатих вітродвигунів, а також можливість конструктивного їх виготовлення великої потужності, відносно невелика питома маса є важливими перевагами для агрегатів цього типу.

Крильчаті вітродвигуни розрізняються тільки однією характеристикою – кількістю їх лопатей. Для двигунів такого типу максимальна ефективність досягається у випадку дії повітряного потоку в напрямку, що є перпендикулярним поверхні обертання лопатей. Тут необхідним є застосування пристрою для зміни напрямку осі обертання в автоматичному режимі. Для даних цілей застосовують крила-стабілізатори.

Особливістю роботи карусельних вітроагрегатів є те, що вони можуть працювати при любому напрямку вітрового потоку. При цьому вони не змінюють початкового положення.

Можливо виділити наступні основні ознаки, що класифікують вітроенергетичні установки [14, 15]:

1. Розрізняють горизонтально-осьові установки, в яких вісь обертання колеса знаходиться в площині, паралельній вітровому потоку. Вітроустановка буде вертикально-осьовою у тому випадку, коли обертальна вісь знаходиться у перпендикулярному напрямку відносно вітру.

2. Енергетичні вітроустановки, де в якості обертаючої сили використовується сила опору, працюють в більшості випадків з лінійної швидкістю. При цьому вона є меншою, ніж швидкість вітру. В той же час в вітроагрегатах, які працюють за допомогою піднімальної сили, лінійна швидкість на кінцевих точках лопатей значно перевищує швидкість самого вітру.

3. В переважної більшості вітроустановок геометричні характеристики вітроколеса залежать від числа лопатей. Тобто, вітроенергетичні установки, що мають значне геометричне заповнення, розвівають велику потужність навіть при слабкому вітрі. При цьому максимальну потужність можливо отримати при незначній частоті обертання колеса. В свою чергу, ВЕУ з незначним заповненням розвивають максимальну потужність при великій частоті обертання. Внаслідок цього вони виходять на номінальний режим значно

довше. Таким чином, перша група установок використовується в якості водяних насосів (вони працюють також при дуже слабкому вітрі), ВЕУ другої групи – як електрогенератори, необхідною умовою роботи яких є досить висока частота обертання.

4. Вітроустановки, що використовуються для отримання механічної роботи називаються вітряними млинами. Вітроагрегати, що мають в своєму складі турбоустановку і електрогенератор, застосовуються для виробництва електроенергії та називаються вітроелектрогенераторами.

5. Якщо електрогенератор безпосередньо підключений до енергосистеми, то в ньому через наявність ефекту асинхронізації частота обертання буде незмінною. В установках даного класу енергія вітру використовується менш ефективно, ніж у випадку застосування установок, які характеризуються змінною частотою обертання.

6. На практиці використовується 2 способи з'єднання вітроколеса та електрогенератора. Перший – напряму, другий – через буфер (є додатковим перетворювачем енергії). Буфер відіграє наступну роль: завдяки ньому зменшуються коливання частоти обертання вітрового колеса. При цьому значно зростає повнота використання енергії вітру та електрична потужність самого генератора.

2.2 Типи вітроенергоустановок

2.2.1 Вітроустановки з горизонтальною віссю

Сьогодні основним типом вітроенергетичних установок, що застосовуються при виробництві електроенергії є установки з горизонтальним положенням осі обертання. Вітроустановки даного конструктивного виконання

в теперішній час досягли досить високого технічного рівня. У той час, якщо потужність вітроенергетичних установок, що були споруджені наприкінці 20-х років минулого сторіччя, не перевищувала 500 кВт, сучасні установки досягають потужності понад 10 МВт.

Вітрові агрегати з горизонтальною віссю обертання для виробництва електроенергії складаються з наступних компонентів (рис. 2.1):

- лопаті, ковпак та гальмо ротора, при необхідності – механізм регулювання положення лопатей;

- електрогенератор, оснащений у разі необхідності редуктором;

- система вимірювання вітрових параметрів та система приводу (азимутальне регулювання);

- гондола та фундамент;

- електричні компоненти, регулятори та пристрої приєднання до мережі.

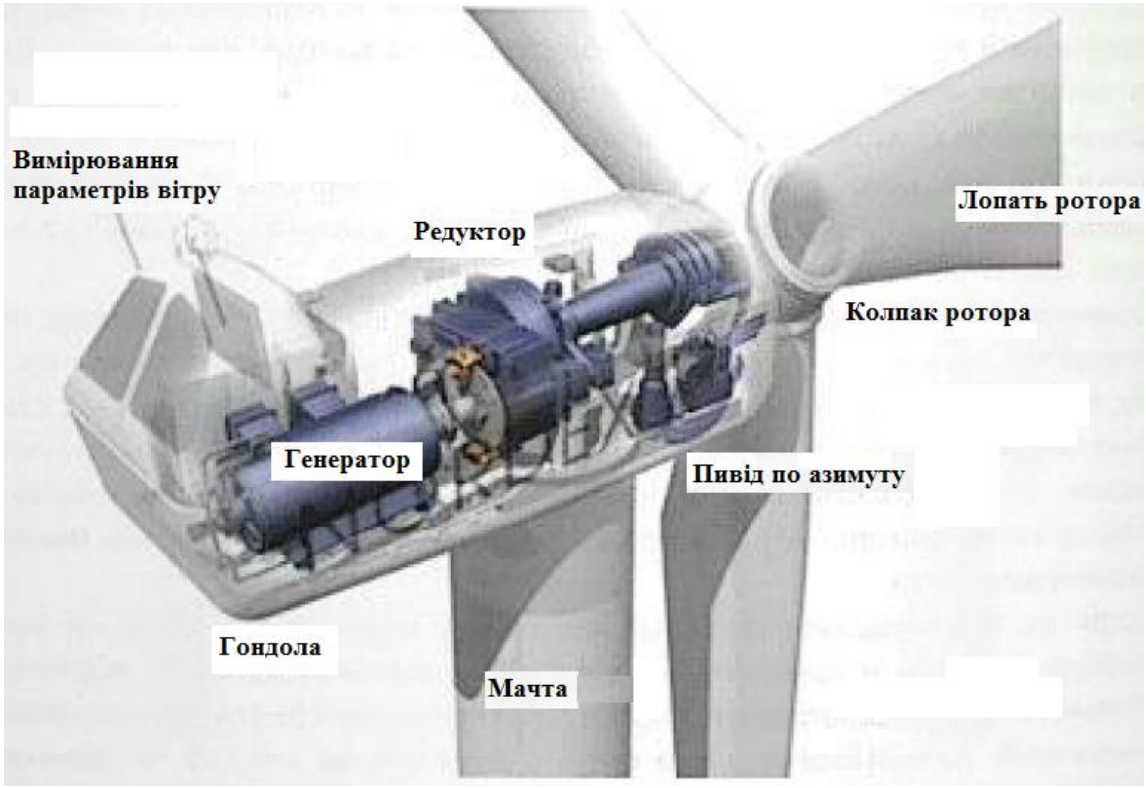


Рис. 2.1. Вітроустановка з горизонтальною віссю обертання

В новітніх вітроенергетичних установках для виробництва електроенергії з горизонтальною віссю застосовуються ротори з 1-3 лопатями. Сьогодні ротори із числом лопатей більше трьох не застосовуються. Зменшення кількості лопатей ротора призводить до зменшення застосованого матеріалу для виготовлення установок.

У випадку однолопатевих роторів на протилежній стороні лопаті ротора на ковпаку повинен бути закріплена противага. Однолопатеві ротори мають дуже нерівномірний хід і дуже великі напруги матеріалу. Внаслідок цього у більшості випадків однолопатеві машини нс одержали широкого застосування. Оптимальний коефіцієнт використання вітрової енергії трилопатевих роторів незначно перевищує коефіцієнт дволопатевих. Трилопатеві ротори працюють плавніше.

Механічні навантаження вітрової установки при трилопатевому роторі виявляється меншим, ніж при одно- або дволопатевих варіантах виготовлення ротору. Переваги трилопатевих роторів переважують їх основний недолік – підвищену витрату матеріалів. Тому сьогодні головним чином виготовлюються саме трилопатеві ротори.

На коефіцієнт використання вітрової енергії має значний вплив форма лопаті ротора. При цьому товщина лопаті від ковпака ротора до кінця лопаті повинна зменшуватися. В той же час її ширина залежить від відстані від ковпака ротора, радіуса колеса, значення коефіцієнтів швидкохідності і піднімальної сили (рис. 2.2).

Напрямок швидкості вітрового потоку, що набігає на колесо, істотно змінюється в проміжку від ковпака ротора до кінцевої точки лопаті. В той час, коли на кінці лопати потік повітря, що набігає, далеко виходить за межі окружності ротора, на ковпаку ротора переважує компонент реальної швидкості вітру. Профіль роторної лопаті для досягнення оптимального коефіцієнта використання вітру повинен ураховувати цей вплив.

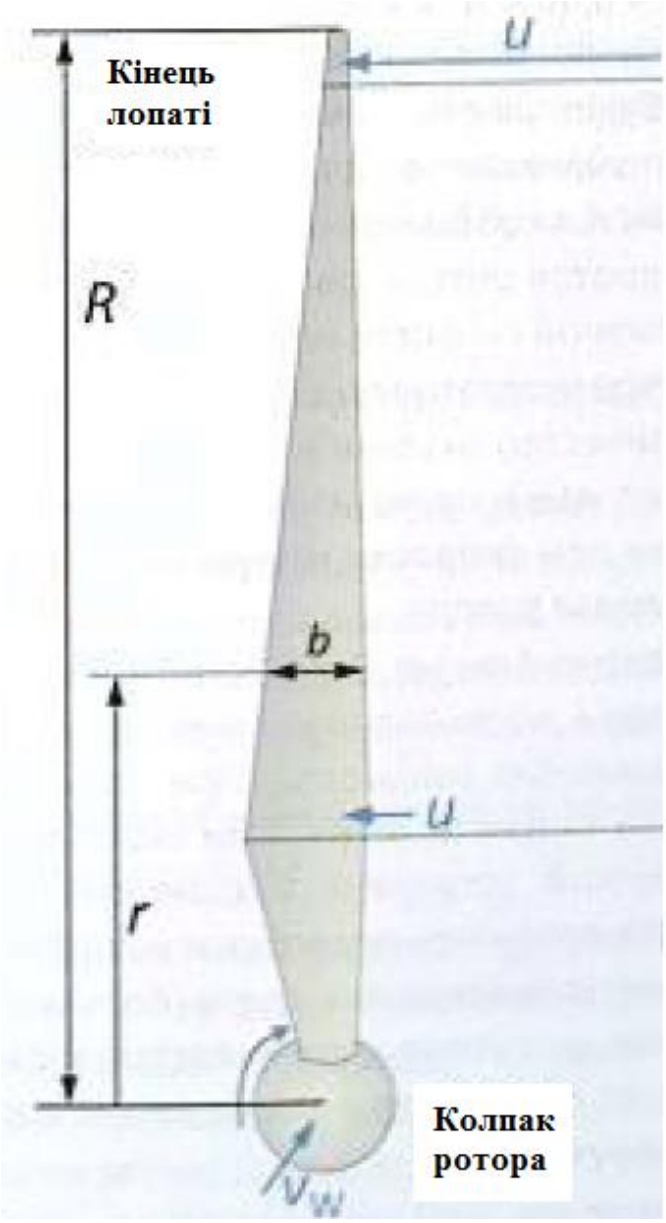
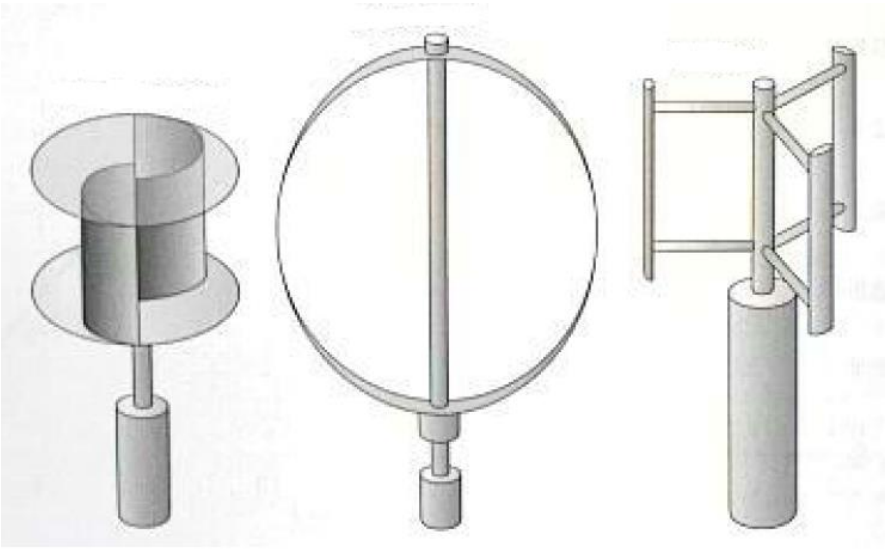


Рис. 2.2. Основні параметри лопаті вітроколеса

2.2.2 Вітроустановки з вертикальною віссю

Вітроенергоустановки, що мають вертикальну вісь обертання, є найбільш розповсюдженими конструкціями. Першими установками були машини з вертикальною віссю та ротором опору. І сьогодні існує значна кількість різних удосконалених конструкцій вітрових установок з вертикальною віссю, які

зображені на рис. 2.3 (ротор Савоніуса, ротор Дар’є, Н-ротор й ін.) [10, 11].



а б в

Рис. 2.3. Вітроустановки з вертикальною віссю обертання:
а – ротора Савоніуса; б – ротор Дар’є; в – Н-ротор

Ротор Савоніуса працює аналогічно чашковому анемометру переважно за принципом опору. Він складається із двох лопаток у вигляді напівцилиндрів-чашей, які відкриті в різних напрямках. У зоні осі ковші трохи перекриваються таким чином, що вітер після відхиленні на одному ковші спрямовується на інший. Завдяки цьому також при малих розмірах використовується принцип підйомної сили, так що ККД ротора Савоніуса трохи краще, ніж чистого ротора опору, але виразно гірше колеса на піднімальній силі. При оптимальній формі ротора Савоніуса максимальна величина коефіцієнта використання енергії вітрового потоку сягає величин порядку 0,25. Перевагою ротора Савоніуса є те, що він починає працювати при незначних швидкостях вітру Тому він застосовується для витяжної вентиляції на фабричних будинках, вантажних автомобілях або в якості розгінного допоміжного пристрою для роторів Дар’є. Поряд з невеликим ККД ротори Савоніуса досить матеріалоємні агрегати.

Конструкція ротора Дар’є складається з двох або трьох лопатей у формі параболи. Профіль роторних лопатей відповідає робочому колесу за принципом піднімальної сили. Завдяки вертикальній осі обертань на противагу ротору з горизонтальною віссю обертання тут постійно змінюється кут атаки. ККД ротора Дар’є значно вище ККД ротора Савоніуса, але достигає тільки 75 % від ККД ротора з горизонтальною віссю. Серйозним недоліком ротора Дар’є є те, що він не в змозі самостійно запуститися. Для цього використовується приводний двигун або підключається ротор Савоніуса.

Подальшою розробкою ротора Дар’є є Н-ротор. Цей ротор фірмою «Heidelberg-Motor» позначається як «ротор Гейдельберга». На цьому роторі електричний генератор з постійним порушенням безпосередньо інтегрований у структуру ротора і обходиться без редуктора. Як і ротор Дар’є, цей ротор працює подібно робочому колесу з використанням піднімальної сили. Три лопати Н-ротора розташовані вертикально і за допомогою розчалок, розташованих на вертикальній осі, утримуються у позиції. Н-ротор був сконструйований для роботи в екстремальних умовах Антарктиди та відрізняється дуже простою конструкцією.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають деякі переваги. Їх конструкція є порівняно простою. Електричний редуктор, генератор і блок керування розміщується в наземній станції.. Ротори з вертикальною віссю не потрібно розвертати при зміні напрямку вітру. За цією причиною вони є придатними особливо для регіонів з напрямками вітру, що швидко змінюються.

Незважаючи на ці переваги, вітроагрегати з вертикальною віссю не отримали широкого розповсюдження. Внаслідок їх низького ККД, значного зношування матеріалів із-за швидкозмінного навантаження і високої матеріалоємності, вони сьогодні за економічних причин не можуть конкурувати з роторами із горизонтальною віссю обертання.

2.3 Схеми підключення вітроенергетичних установок

Дія любого електрогенератора, що використовується у вітроенергоустановках, заснована на ефекті Фарадея. Він складається в тому, що магнітне поле, яке з певною швидкістю проходить через деякий провідник, індуцирує в ньому електричний струм. Генератор складається з наступних головних елементів: статора і ротора. Обмотка одного з них (статора) є тим провідником, у якому наводиться електричний струм, а іншої (ротор) складається з постійних магнітів або їхньої обмотки, що створює магнітне поле f_i. Якщо магнітне поле утворюється за допомогою постійних магнітів або постійним струмом, що протікає по роторній обмотці, то в обмотці статора індуцирується змінний струм з певною частотою f_g, рівною частоті обертання вала генератора. Якщо ротор має n магнітів або збудливих обмоток, то виконується рівність $n \cdot f_g = f_i$. Такий генератор називається синхронним генератором зі змінним струмом, його частота жорстко пов'язана із частотою обертання ротора.

Одним з найбільш розповсюджених типів електрогенераторів є генератор змінного струму з короткозамкненим ротором. Обмотка ротора генератора створює магнітне поле, що складається з короткозамкнених витків. Струм у витках у свою чергу наводиться електромагнітним полем струму обмотки статора. При цьому різниця фаз струму статора та ротора є такою, що відбувається процес перетворення енергії механічної, за допомогою якої обертається ротор, в електричну енергію статора.

Для створення в момент запуску генератора, коли ще відсутній струм у статорі, початкового магнітного поля в роторі звичайно використовують дві методики:

1) магнітне поле створюють стороннім джерелом струму, наприклад від електромережі, до якого підключений генератор;

2) генератор сам збуджується за допомогою замикання обмотки статора через конденсатор на землю. У цьому випадку ротор або статор повинен мати залишковий магнетизм, що створює початковий струм, тому що конденсатор лише забезпечує необхідний для роботи генератора зрушення фаз. Крім того, для роботи і керування таким генератором можна використовувати допоміжний синхронний генератор, включений за схемою синхронного автотрансформатора (рис. 2.4). Така схема зручна в невеликих автономних енергоустановках, у яких при слабкому вітрі допоміжний електрогенератор може підключатися до дизельного двигуна, частково забезпечуючи при цьому електропостачання споживачів.

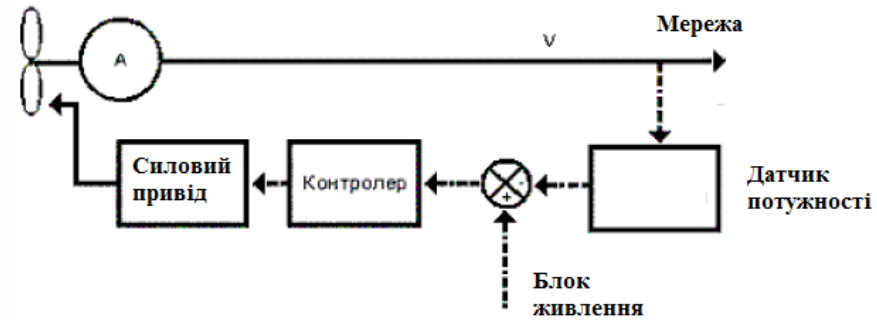


Рис. 2.4. Схема регулювання кута установки лопатей

Перевагами першого методу є його простота, дешевина і безпека, тому що на генераторі відсутня напруга, якщо він відключений від мережі. Генератори постійного струму за принципом дії є синхронною машиною, що має комутуючий пристрій у вигляді кільця із прорізами, що називається колектором, та гарантує односпрямованість вихідного струму. При цьому струм, будучи односпрямованим, не обов'язково постійний. Постійний струм можна одержувати також і зі змінного за допомогою випрямлячів, у свою чергу й змінний струм із заданими напругою та частотою можна одержати від джерела постійного струму за допомогою спеціальних перетворювачів.

Найбільш поширений випадок роботи вітроелектрогенератора – підключення до енергосистем великої потужності, показаний на рис. 2.5.

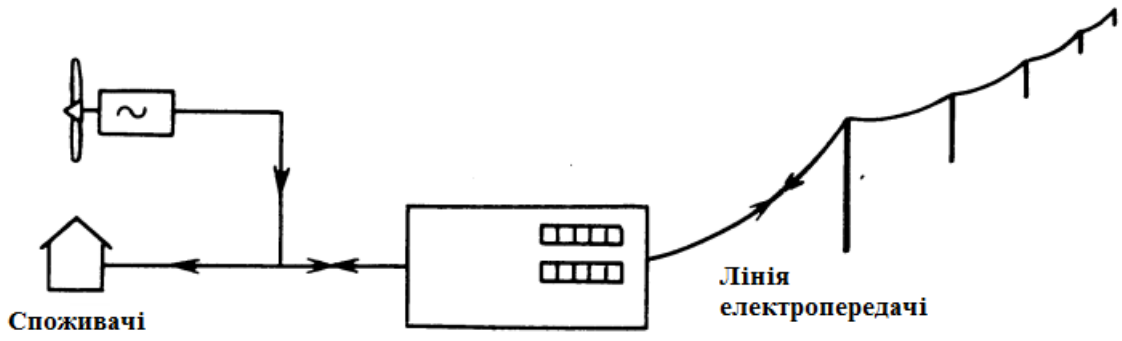


Рис. 2.5. Схема підключення вітроустановки з потужною енергосистемою

При цьому енергія ВЕУ використовується для певних споживачів, а її надлишки подаються в загальну енергетичну систему. У разі слабкого вітру або в затишності електрична енергія отримується споживачами безпосередньо від енергосистеми. В даному випадку найбільш доцільним типом електрогенератора є асинхронний генератор змінного струму, підключення якого здійснюється безпосередньо в енергетичну систему. При цьому частота обертання вітрового колеса може перевищувати номінальну частоту електричної мережі не більше 10 %. При слабкому вітрі, щоб запобігти роботі ВЕУ в режимі електродвигуна, його від'єднують від електромережі. Необхідність стабілізувати частоту обертання вітрового колеса при прямому включенні генератора в мережу не дозволяє підтримувати постійної швидкості вітроколеса, тобто знижує його ККД. У невеликих ВЕУ тому часто встановлюють дві агрегати різної потужності, що автоматично включаються відповідно при слабкому і сильному вітрі. Використовуються й інші прийоми, що дозволяють змінювати частоту електроенергії, а саме:

1) збільшення числа полюсів генератора за рахунок перекомутування його обмоток при відповідному зменшенні частоти обертання вітроколеса;

2) випрямлення перемінного струму ВЕУ та перетворення його в струм із заданими стабілізованими параметрами;

3) збільшення припустимого відхилення параметрів, що характеризують обертання вітроколеса від номінального значення, за рахунок додавання активного навантаження до обмотки асинхронного генератора [10].

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ВІТРОУСТАНОВОК

Для розрахунку вітроустановок використовується поняття піднімальної сила лопаті та сили її лобового опору (рис. 3.1). Перша являє собою складову результуючої сили тиску вітру на лопаті турбіни, перпендикулярну напрямку відносної швидкості її обертання. Сила лобового опору лопати – це сила паралельна вектору відносної швидкості потоку, що набігає. Складова результуючої сили тиску вітру на лопату турбіни, що діє на її вісь на плечі хорди, називається завихренням потоку, що обтікає лопать.

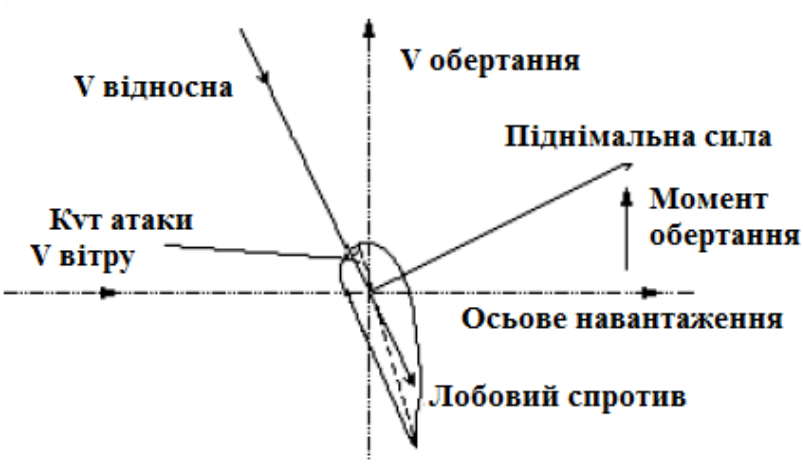


Рис. 3.1. Сили, що діють на лопаті турбіни

Підйом, гальмування та момент на практиці представляються як безрозмірні коефіцієнти аеродинамічної поверхні:

- коефіцієнт підйому

$$C_L = \frac{L}{1/2\rho A V^2};$$

- коефіцієнт гальмування

$$C_D = \frac{D}{1/2\rho A V^2};$$

- коефіцієнт обертаючого моменту

$$C_M = \frac{M}{1/2\rho A V^2 c},$$

де V – швидкість вітру;

ρ – густина повітря;

A – площа площини хорди;

c – довжина хорди.

Стрибка зміна величини коефіцієнтів при куті атаки -13° обумовлена відривом повітряного потоку від верхньої поверхні лопати. Це явище називається зривом потоку. Значення коефіцієнтів також залежать від числа Рейнольдса, що зв'язує в'язкість рідкого середовища та його динамічний тиск.

У вітровій турбіні піднімальна сила та сила гальмування діє як осьовий тиск і обертаючий момент. Осьовий тиск, що прагне перекинути турбіну, повинний компенсуватися пристроєм опори та фундаменту. Піднімальна сила і сила гальмування залежать від характеристики аеродинамічної поверхні лопаті, відносної швидкості вітру і кута атаки. Відносна швидкість вітру може бути визначена із трикутника швидкостей, утвореного лінійною швидкістю обертання і швидкості вітру, нехтуючи в першому наближенні впливом ротору.

Для забезпечення високої продуктивності турбіни, потрібні великі значення коефіцієнтів C_L (коефіцієнт піднімальної сили) і C_D (коефіцієнт гальмування). Сили підйому й гальмування створюють осьовий тиск на вітроколесо турбіни. Повний корисний обертаючий момент турбіни розраховується як сума всіх обертаючих моментів на окремих лопатях.

Швидкохідність задається або визначається, якщо відомим є розрахункове число обертів η вітроколеса:

$$Z = \frac{\omega R}{V},$$

де ω – частота обертання, рад/с;

R – радіус лопаті.

Коефіцієнт швидкохідності пов'язаний із числом роторних лопатей. Максимальний коефіцієнт використанні енергії вітру досягається у випадку трилопатевих роторів при коефіцієнті Z від 7 до 8, в дволопатевих роторах при 10 і в однолопатевих – при 15, причому в залежності від типу установки можуть мати місце значні відхилення від цих чисел.

Мінімальне значення швидкості вітру, що забезпечує обертання вітроагрегату з номінальною частотою і нульовою продуктивністю називається мінімальною робочою швидкістю вітру. Швидкість вітру, при якій розрахункова потужність вітроагрегату дозволяє виробляти енергію без ушкоджень називається максимальною робочою швидкістю вітру.

За допомогою оптимального коефіцієнта швидкохідності $\lambda_{опт}$ через діаметр ротора *r* і числа оборотів ротора *n* встановлюється конструктивна швидкість вітру, при якій установка буде мати максимальний ККД:

$$w_к = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{\lambda_{опт}}.$$

Насамперед , конструктивна швидкість вітру має значення в установках з постійним числом оборотів. В установках з перемінним числом оборотів оптимальний режим може бути забезпечений за рахунок зміни числа оборотів ротора також при інших швидкостях вітру. Тут визначення величини конструктивної швидкості вітру великого значення не має. При малих швидкостях вітру робота вітроенергетичної установки недоцільна. Тому вітроенергетична установка при швидкості обдування нижче певного порога зупиняються за допомогою гальма ротора.

Швидкість вітру, при якій установка розвиває свою номінальну потужність, має назву номінальної швидкістю вітроустановки.

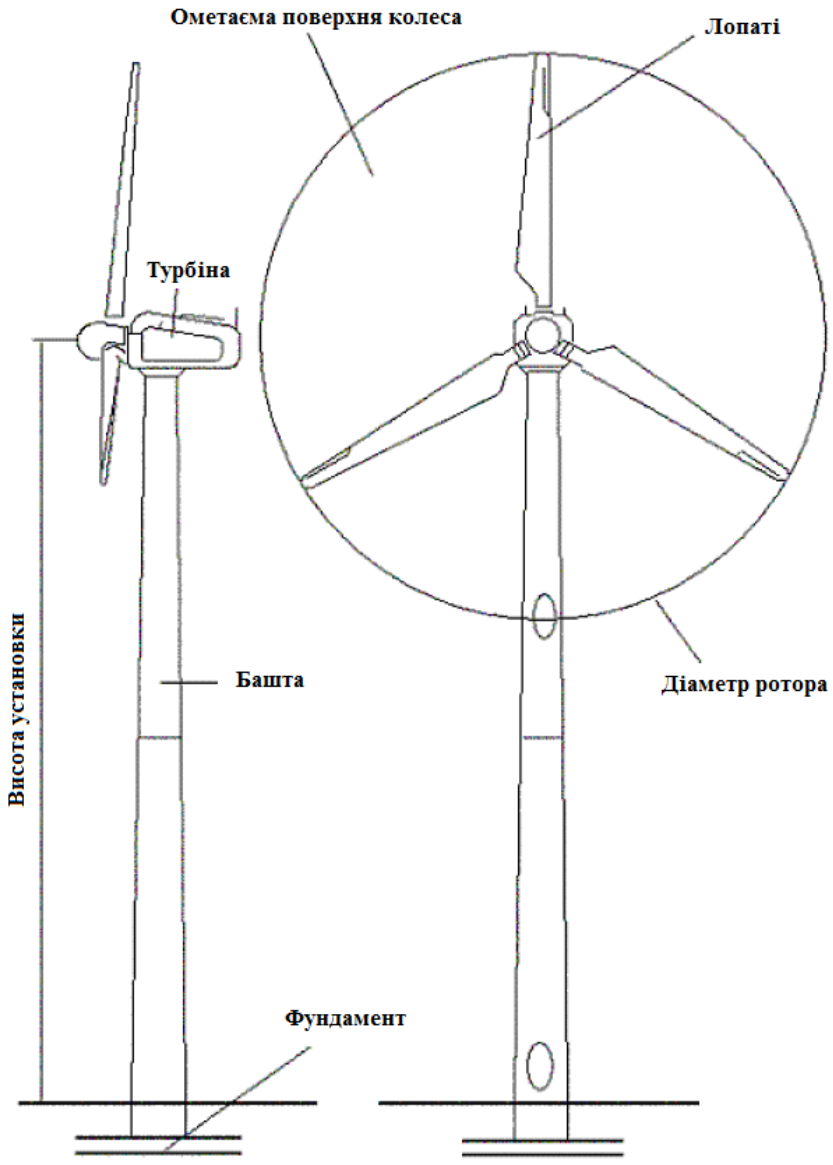


Рис. 3.2. Основні параметри вітроустановки

При цьому номінальна швидкість вітру більше, ніж конструктивна. Якщо швидкість вітру перевищує номінальну, то потужність вітроенергетичної установки зберігається постійною. Для занадто високої швидкості вітру існую небезпека перевантаження та ушкодження вітрової установки. Тому вони при дуже великій швидкості вітру відключаються. В цьому випадку вітроенергетична установка утримується гальмом ротора, а сам рот він сам по можливості відвертається від вітру.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

4.1 Розрахунок потужності технологічного обладнання котельні

Проведемо розрахунок потрібних обсягів електричної енергії для технологічного обладнання. Визначена потужність електричного обладнання, що розраховується :

$$P_{\text{тех}} = N_{\text{ед}} \cdot \text{К}_{\text{с}},$$

де $P_{\text{тех}}$ –потужність електроспоживачів, кВт;

$N_{\text{ед}}$ – потужність електричних двигунів, кВт;

$\text{К}_{\text{с}}$ – відношення сполученого максимального навантаження приймачів електроенергії до їх сумарної потужності, що встановлена.

Прогнозована витрата електроенергії $N_{\text{тех}}$, кВт·год, розраховується за формулою

$$N_{\text{тех}} = P_{\text{тех}} \cdot \tau,$$

де τ – час, який працює обладнання, год.

Отримані результати щодо кількості електроенергії, необхідної на технологічні потреби котельні, зводимо в табл. 4.1.

Визначимо необхідну кількість електроенергії на потреби освітлення приміщення котельні $N_{\text{осв}}$, кВт·год:

$$N_{\text{осв}} = n \cdot P_{\text{осв}} \cdot \tau_{\text{осв}},$$

де $P_{\text{осв}}$ – потужність світильника, кВт;

n – кількість світильників, шт.;

$\tau_{осв}$ – тривалість освітлювального максимуму, годин.

Отримані дані вносимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.1

Результати розрахунків витрати електроенергії на потреби технологічного обладнання котельної

Тип обладнання	Параметри				
	Електр. потужність двигунів $N_{ед}$, кВт	Час роботи τ, год	Розр. потужн. $P_{тех}$,кВт	Коеф. попиту, $К_с$	Витрата електр. енергії $N_{тех}$,
Насоси мережевої води	18	5344	12,5	0,7	67334
	15	5344	10,6	-/-	56112
	75	1440	52,4	-/-	75600
	45	640	31,6	-/-	20160
Насоси котлоагрегат-тів	7,5	1000	5,2	-/-	5300
	4	640	2,9	-/-	1792
	5,5	640	3,8	-/-	2496
Дуттьові вентилятори	2,2	4000	1,6	-/-	6160
	4,5	4000	3,1	-/-	12600
	7,5	4768	5,4	-/-	25032
Всього					272586

Таблиця 4.2

Розрахунок витрат енергії на освітлювальні пристрої
в приміщенні котельної

Тип обладнання	Кількість n, шт.	Освітлювальний максимум, години	Потужність $P_{осв}$, кВт	Витрата електр. енергії $N_{осв}$, кВт·год
Лампа денного світла	35	5800	0,058	11774

За розрахунками загальна кількість електричної енергії, необхідна протягом року, складає

$$N_{\Sigma} = N_{техн} + N_{осв} = 272586 + 11774 = 284360 \text{ кВт·год /рік.}$$

4.2 Визначення необхідної потужності вітрогенератора

За результатами розрахунків, наведених в табл. 1 і 2 виконуємо розрахунок потужності електричного обладнання та приладів з урахуванням заданого навантаження:

$$\sum P_{роз} = \sum P_{тех} + n \cdot P_{осв} =$$

$$= 12,5+10,6+52,4+31,6+5,2+2,9+3,8+1,6+3,1+5,4+35 \cdot 0,058 = 131,14 \text{ кВт.}$$

На основі отриманих розрахунків знаходимо потужність електрогенератора з урахуванням перевантаження:

$$P_{ген} = \sum P_{розр} \cdot 1,1 = 131,14 \cdot 1,1 = 144,2 \text{ кВт.}$$

4.3 Вибір вітроенергетичної установки

Враховуючи розраховану величину для електрогенератора $P_{\text{ген}}$ обираємо вітроустановку з наступними характеристиками.

Потужність генератора (max) – 250 кВт.

Напруга – 380 В.

Висота H вітроустановки – 50 м.

Діаметр D вітроколеса – 25 м.

Мінімальне значення робочої швидкості вітру – 5 м/с.

Номінальне значення швидкості – 10 м/с.

Робочий діапазон вітру для ВЕУ: 5-30 м/с.

Матеріал корпуса – сталь.

Матеріал лопотів – скловолокно.

Вартість – 150000 євро.

Потужність вітроустановки обрано більше необхідної. Це дозволяє продавати надлишкову електричну енергію за «зеленим тарифом».

4.4 Розрахунок параметрів роботи вітроустановки

Найбільш значним фактором, від якого залежить кількість отриманої енергії, є швидкість вітрового потоку. Від нього, в свою чергу, залежить загальний обсяг електричної енергії, що виробляється вітроенергоустановкою. Збільшення обсягу повітряного потоку є наслідком зростання швидкості вітру. Тому для визначення величини вітрового потоку на певній висоті (до H = 50 м) застосовується наступний вираз

$$V = V_0 \cdot (H / H_0)^a,$$

де V_o – швидкість вітрового потоку на стандартній висоті, м/с;

H_o = 10 м – висота з відомою швидкістю вітру, м;

H =50 м – висота установки вітрогенератора, м;

V – швидкість вітру, що визначається, м/с;

а – показник ступеня, знайдений експериментальним шляхом, а = 0,14.

Розрахуємо значення V_o в діапазоні 5-15 м/с на висоті H та заносимо результати в таблицю 4.3.

Потужність потоку вітру, що проходе через площу вітроколеса:

$$P = 0{,}5 \cdot \rho \cdot A_{вк} \cdot V^3 \cdot 10^{-3},$$

де ρ – густина повітря, 1,23 кг/м^3;

$A_{вк} = \pi D^2/4 = 491$ м^2 – площа, «ометаєма» вітроколесом;

V – швидкість вітрового потоку, м/с;

P – потужність, кВт.

Для з’єднання вітрової турбіни та електричного генератора потрібно застосовувати підвищуючий редуктор. Процес отримання електричної енергії з механічної супроводжується відповідними втратами енергії. Це характеризується величиною, що називається коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Тоді потужність ВЕУ складає

$$P_{ВЕУ} = P \cdot C_р \cdot \eta_{ген} \cdot \eta_{ред},$$

де $P_{ВЕУ}$ – потужність ВЕУ, кВт;

$C_р$ = 0,37 – коефіцієнт, що враховує долю використання вітрової енергії;

$\eta_{ред}$ = 0,9 – ККД редуктора;

$\eta_{ген}$ = 0,95 – ККД електрогенератора.

Результати зводимо в таблицю 4.3.

З табл. 4.3 видно, що при досягненні швидкості >11 м/с потужність електрогенератора буде максимальною (250 кВт).

Таблиця 4.3

Результати розрахункових досліджень роботи ВЕУ

Характе-ристика	Величина										
Швидкість потоку V_0 на висоті H_0, м/с	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Швидкість потоку V на висоті H, м/с	6,27	7,55	8,78	10,0	11,31	12,5	13,8	15,0	16,3	17,5	18,8
Потужність повітряного потоку, кВт	74,09	128,42	203,69	303,77	432,26	594,01	790,15	1025,31	1305,2	1629,3	2003,3
Потужність вітроуста-новки, кВт	23,44	40,62	64,43	96,1	136,71	187,91	249,95	250	-//-	-//-	-//-

Так як необхідну максимальну кількість електроенергії (отримане сумарне значення потужності електрообладнання котельні 144,2 кВт) ВЕУ виробляє, при швидкості повітряного потоку близько 9 м/с. В інший час (коли швидкість потоку менша ніж 9 м/с) недостатня кількість електроенергії буде забиратися з загальної мережі.

4.5 Розрахунок кількості отриманої електричної енергії

Формула для розрахунку виробленої електроенергії, кВт·год /рік, має вигляд:

$$N_{\text{ВЕУ}} = \tau\, P_{\text{ВЕУ}}.$$

Результати проведених розрахунків представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Виробництво електроенергії за допомогою вітроустановки

Швидкість потоку вітру, м/с	Тривалість, при якій вітер дує з даною швидкістю, год./рік	Отримана потужність вітроустановки, кВт	Кількість електр. енергії, кВт·год /рік
1-4	513,15	0 (швидкість менше мінімальної)	0
5	919,8	23,44	21560
6	933,68	40,62	37926
7	968,8	64,4	62415
8	904,9	96,0	86955
9	749,6	136,8	102349
10	663,2	187,8	124628
11	454,6	250	113880
12	325,2	-//-	81030

Продовження табл. 4.4

13	237,6	-//-	59130
14	109,3	-//-	27230
15	55,9	-//-	13780
≥16	28	-//-	6755
Всього	6859	-	737638

Таким чином, річна кількість електричної енергії, що отримується за рахунок вітроенергоустановки, буде складати $N_{ВЕУ}$ = 737638 кВт·год /рік при максимальній необхідній N_{Σ} = 284360 кВт·год / рік.

Надлишкова кількість електроенергії ΔN = 737638 – 284360 = 453278 кВт може бути продана за «зеленим тарифом». «Зелений тариф» для вітряних електростанцій (юридичні лиця) складає S = 3,40 грн /кВт·год. В такому разі загальний прибуток від продажу електричної енергії за «зеленим тарифом» буде становити

$$Ц_{ээ} = S\,\Delta N\cdot(1 - 0{,}18) = 3{,}40\cdot 453278\cdot(1 - 0{,}18) = 1263379 \text{ грн. /рік},$$

де $H_{пр}$ – податок на прибуток, $H_{пр}$ = 18 %.

Виходячи з цього, для економії витрат на електроенергію для технологічного обладнання та освітлення котельної необхідно застосовувати вітроелектрогенератори, що дасть змогу істотно скоротити споживання покупної електричної енергії з одночасним отриманням прибутку від продажі надлишкової енергії за «зеленим тарифом».

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті питання походження вітру, його характеристики та основні аспекти використання енергії вітру.

2. Проаналізовано існуючі типи вітроенергоустановок, їх конструктивні та режимні характеристики.

3. Представлені основні принципи та особливості розрахунку сучасних вітроустановок.

4. Виконаний розрахунок ефективності застосування вітроустановки для забезпечення електричного навантаження обладнання котельної. Визначена потужність технологічного обладнання (272586 кВт) та освітлення (11774 кВт) котельної. Проведений розрахунок сумарної електричної потужності для споживачів котельної з урахуванням споживаного електричного навантаження , що склала 144,2 кВт.

5. Виконано оцінку вітрового потенціалу місцевості. Це дозволило обрати вітрогенератор потужністю 250 кВт. Проведені розрахунки основних параметрів роботи вітроустановки та кількості виробленої електроенергії при різній швидкості повітря.

6. Загальна кількість електроенергії, що може бути отримана при роботи ВЕУ протягом року складе $N_{\text{ВЕУ}}$ = 737638 кВт·год /рік. Надлишок електроенергії ΔN = 453278 кВт може бути проданий за «зеленим тарифом», сума річного прибутку за рахунок цього складе 1263,38 тис. грн. /рік.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Твайделл Д. Возобновляемые источники энергии / Д.Твайделл, А.Уэйр. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.

2. Рензо Д.Ж. Ветроэнергетика : пер. с англ. / Д.Ж. Рензо – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 352 с.

3. Бурмистров А.А. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии: учеб. пособие / А.А. Бурмистров, В.И. Виссарионов. – М.: Издат. дом МЭИ, 2009. – 144 с.

4. Амерханов Р.А. Проектирование систем энергообеспечения / Р.А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 543 с.

5. Воронин С.М. Возобновляемые источники энергии и энергосбережение. / С.М.Воронин, С.В Оськин., А.Н. Головко. – Краснодар, КубГАУ, 2006. – 267 с.

6. Бреусов В.П. Технологии преобразования нетрадиционных возобновляемых источников энергии / В.П. Бреусов. – СПб.: Нестор, 2001. – 289 с.

7. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.М. Пронина. – М.: Наука, 2004. – 157 с.

8. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.А. Агеев. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 216 с.

9. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Радиософт, 2009. – 229 с.

10. Стычинский З. А. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / З. А. Стычинский, Н.И. Воропай. – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Магдебург 2010. – 223 с.

11. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних

джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. и др // НАНУ: Інститут електродинаміки. – Київ, 2001. – 42 с.

12. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харьков: ХАИ, 2003. – 399 с.

13. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Книга 2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харьков: ХАИ, 2004. – 387 с.

14. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. – Москва: Изд. Академии сельхознаук, 2006. – 203 с.

15. Ветроэнергетика. руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности / Каргиев В.М., Мартиросов С.Н., Муругов В.П., Пинов А.Б. – Москва: Интерсоларцентр, 2001. – 67 с.