

УДК 629.341

МОДЕЛЬ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

С.Ю. Жила, студент, О.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. У роботі представлена докладна класифікація вітроенергетичних установок в залежності від типу, конструкції і компонування. Представлено устрій вертикальних вітрогенераторів у порівнянні з горизонтальними та розглянуто вертикальний вітрогенератор з сонячними панелями. Запропонована математична модель енергоефективного вітрогенератора.

Ключові слова: вітрогенератор, вітроенергетична установка, сонячні панелі, акумулюючі пристрої, вертикальні вітрогенератори, енергоефективні електростанції.

МОДЕЛЬ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

С.Ю. Жила, студент, А.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. В работе представлена подробная классификация ветроэнергетических установок в зависимости от типа, конструкции и компоновке. Представлено устройство вертикальных ветрогенераторов в сравнении с горизонтальными и рассмотрено вертикальный ветрогенератор с солнечными панелями. Предложена математическая модель энергоэффективного ветрогенератора.

Ключевые слова: ветрогенератор, ветроэнергетическая установка, солнечные панели, аккумулирующие устройства, энергоэффективные электростанции.

MODEL OF WIND POWER PLANT AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF POWER

S. Zhyla, student, O. Dzyubenko, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU

Abstract. A detailed classification of wind power plants depending on the type, design and composition is presented in the article. The structure of vertical wind generators in comparison with horizontal ones has been given and the vertical wind generator with solar panels has been considered. The mathematical model of energy-saving wind generator has been suggested.

Keywords: wind generator, wind power plant, solar panels, accumulating devices, vertical wind generators, energy-saving power plants.

Вступ

Одним із вагомих напрямків в галузі електроенергетики, є вітроенергетика. На цей час перетворення альтернативних видів енергії в електричну, інтенсивно розвивається. Вітроенергетика в цьому процесі займає одне з провідних місць, вона заснована на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну через електромеханічні перетворювачі. Таке

перетворення здійснюється вітроенергетичними установками.

Енергія вітру відноситься до відновлюваних джерел енергії, є доступною та екологічно чистою, її можна розглянути як одну з форм прояву сонячної енергії.

Вітроенергетичні електростанції вмикаються в загальну мережу. Невеликі вітрогенератори

використовуються для забезпечення електрикою декілька районів. Однак, спорудження вітроенергетичних електростанцій мають деякі труднощі економічного та технічного характеру, що впливає на поширення вітроенергетики.

При розвитку галузі з'являються проблеми надійності, ремонту та утилізації вітрогенераторів. Для вирішення цієї проблеми використовують інтелектуальні системи управління розподілом електроенергії.

Малі вітроенергетичні турбіни виробляють електроенергію для приватних будинків, торговельних та офісних будівель [1].

Мета та постановка задачі

Метою роботи є аналіз вітроенергетичних установок з запропонуванням математичної моделі вітрогенератора, як альтернативного джерела електроенергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- представити структуру існуючих вітроенергетичних установок;
- представити устрій вертикальних вітрогенераторів у порівнянні з горизонтальними та розглянути вертикальний вітрогенератор з сонячними панелями;
- побудувати модель вітроенергетичної установки.

Виробництво електроенергії на вітроелектростанціях

Завдяки використанню вітрогенераторних установок можна досягти ККД при генерації електроенергії 95 %, а втрати при передачі електроенергії не будуть перевищувати 10 % [2].

Не вся енергія вітру, що проходить через віротурбіну, підлягає перетворенню в механічну енергію. Сам вітрогенератор створює протидію повітряним масам, що призводить до втрати частини енергії на тертя. Це можна пояснити тим, що потік за віротурбіною має деяку швидкість (рис 1).

Найкраща робота генератора є тоді, коли швидкість потоку за віротурбіною становить 65 % від первинної швидкості потоку, при цьому вона не може бути рівною нулю.

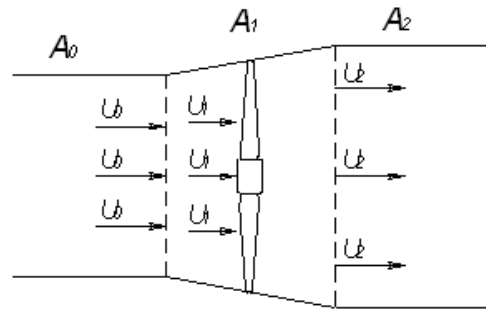


Рис. 1 – Дія сили вітру на турбіну

У кращих аерогенераторах коефіцієнт потужності C_p досягає 0,4. Цей коефіцієнт показує ефективність використання вітрогенератором енергію вітрового потоку.

Вимоги до напруги та частоти вітроелектростанції дуже жорсткі при під'єднанні до єдиної енергосистеми та м'які при використанні в освітлювальному і нагрівальному навантаженні.

Класифікація ВЕУ

Сучасні вітроенергетичні установки – це комплекс обладнання та споруд, які перетворюють енергію вітру в електричну енергію, за рахунок механічної енергії обертання віротурбіни.

По співвідношенню потужності енергосистеми і потужності ВЕУ:

- клас А. До цього класу належить ВЕУ, потужністю не більше 5...10 кВт. Такі вітрогенератори не підключені до єдиної енергосистеми, оскільки частота вихідної напруги не стабілізована. Вони мають застосування для освітлення, електроживлення засобів зв'язку та сигнальних пристроїв;
- клас В. Потужність ВЕУ такого класу можна порівняти з потужністю мережі. Параметри вихідної напруги в вітрогенераторах такого типу досить стабільні. У таких системах вітроенергетичних установок ефективно застосовуються великі акумулюючі пристрої та споруди, типу водневих акумуляторів;
- клас С. Встановлена потужність ВЕУ значно нижче потужності мережі. Такий клас відноситься до системної вітроенергетики. Вітроенергетичні установки здатні вплинути на енергетичний баланс великого регіону або країни. У класі С застосовуються вітрогенератори з потужністю від 100 кВт до декількох мегават. Внаслідок цього з'являються проблеми, пов'язані з геометричними розмі-

рами, що призводить до напруженої роботи механічних частин. У цьому класі баланс потужності здійснюється за рахунок енергосистеми, що може привести до досягнення найкращих техніко-економічних показників. У класах А і В для цієї мети необхідні, додаткові генеруючі або акумулюючі пристрої, вартість яких порівнянна з вартістю ВЕУ.

Класифікація за типом електромашини:

В сучасних генераторах ВЕУ частіше використовуються асинхронні генератори з короткозамкнутим ротором (рис. 2), вони мають більшу надійність, меншу масу та простоту конструкції в порівнянні з синхронними, це необхідно для підвищення надійності вітроенергетичної установки.

Вітроенергетичні агрегати можуть працювати як автономно так і паралельно з енергетичною системою. При автономному режимі роботи частота обертання вітрогенератора знаходиться в межах $\pm 50\%$ і більше не регулюється, напруга і частота в такому режимі на затискачах генератора непостійні, це означає що електрична енергія неякісна. Для того щоб енергія стала якісною застосовуються стабілізатори, що складаються з випрямляча, інвертора та акумулятора.



Рис. 2 – Класифікація ВЕУ по типу електричної машини

Генератор віддає в мережу якісну електроенергію за рахунок роботи вітрогенератора зі змінною частотою обертання, при використанні асинхронного генератора. Для збудження синхронний генератор створює реактивну потужність, а асинхронний споживає від спеціальної конденсаторної батареї або з мережі.

По типу застосовуваної вітрогенератора:

На сьогоднішній день знайшли застосування дві основні конструкції вітрогенераторів: горизонтально-осьові та вертикально-осьові вітрогенератори (рис 3). Ці конструкції вітрогенераторів мають приблизно однаковий ККД, проте найбільше використовуються горизонтально-осьові вітроагрегати.

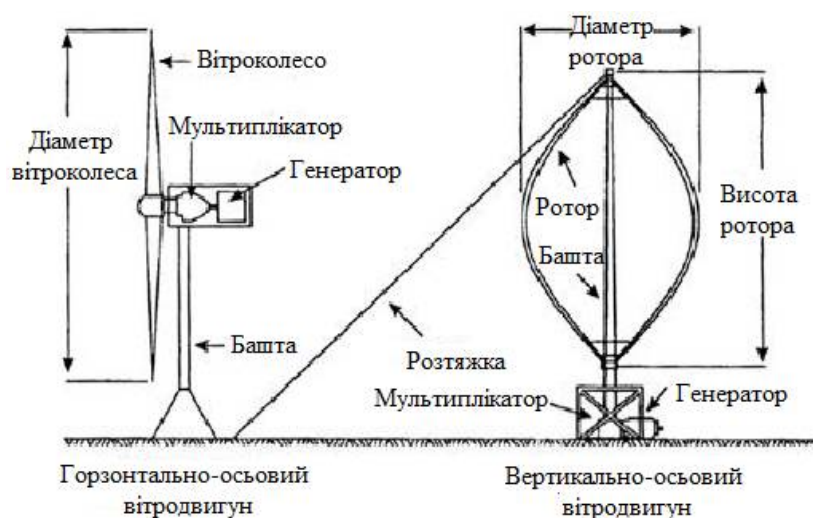


Рис. 3 – Різновид вітрогенераторів за типом застосовуваної вітрогенератора

Розглянемо горизонтально-осьові вітрогенератори (рис. 4,а). Основна обертова сила цього типу є підйомна сила. Вітроколесо в робочому режимі може розташовуватися за опорною вежею або перед нею. При передньому розташуванні вітрогенератора повинна мати пристрій, які утримують вітрогенератор в робочому режимі, такі як аеродинамічний стабілізатор або будь-які інші. При задньому

розташуванні виникають циклічні навантаження, відхилення вихідних параметрів, та виникає підвищений шум, за рахунок набігаючого на вітроколесо потоку. Вітроколесо має чітко відслідковувати напрямок вітру, за рахунок швидкої зміни напрямку. Для цієї мети в вітроенергетичній установці потужністю більш ніж 50 кВт використовують електричні сервогенератори.

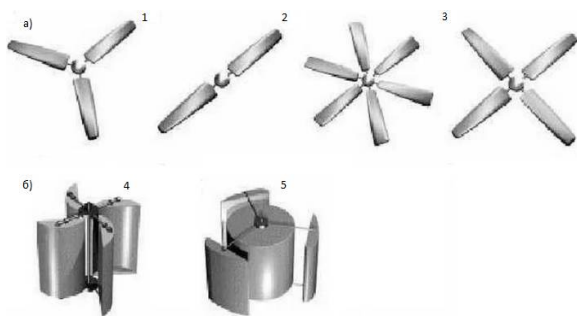


Рис. 4 – Класифікація вітротурбін

У вітрогенераторах здебільшого використовуються дво- і трилопатеві вітротурбіни (рис.4), останні мають дуже плавний хід. Багатолопатеві колеса використовуються для перекачування води та інших цілей, що не вимагають високої частоти обертання вітрового колеса, за рахунок великого крутного моменту при слабкому вітрі.

Вітрогенератори з вертикальною віссю при будь-якому напрямку вітру знаходяться в робочому положенні внаслідок геометричної конструкції (рис 4,6) [3,4].

Різновид вертикальних вітрогенераторів

До найбільших переваг вертикальних вітрогенераторів можна віднести відсутність необхідності орієнтуватися щодо вітру. Обмеженість діапазону застосування та не високі якісні показники роботи є головними недоліками, в порівнянні з класичними вітрогенераторами, при однакових показниках потужності та ометаємій площі [5].

Ортогональні вітрогенератори (рис. 5) мають вертикальну вісь обертання і паралельну їй декілька лопатей. На роботу ортогональних вітрогенераторів не впливає напрямок вітрового потоку, тому в їх конструкції не використовуються направляючі механізми, що є перевагою. У зв'язку з високим динамічним навантаженням при обертанні ротора зменшується термін роботи опорних вузлів. Ці додаткові навантаження викликані зміною напрямку підйомної сили під час обертання кожної із лопатей.

Ротор Савоніуса (рис. 6) конструктивно має високий пусковий момент, високу залежність до технологічності виробництва і має високу ефективність при низьких швидкостях. Це обумовлюється використанням двох або декількох напівциліндрів в лопаті ротора Савоніуса.



Рис. 5 – Ортогональні ВЕУ

Але порівнюючи з горизонтальними вітрогенераторами має нижчі показники ефективності лопатевої системи. На сьогоднішній день з ротором Савоніуса розробляються вітрогенератори потужністю до 5 кВт.



Рис. 6 – ВЕУ з ротором Савоніуса

Вітрогенератори з ротором Дар'є (рис. 7) мають дві або три лопаті, які не мають аеродинамічного профілю, і являють собою плоску смугу. До переваг конструкцій ротора можна віднести: незалежність позиціонування щодо руху повітряних мас; простий технологічний процес виготовлення лопатей; у зв'язку з розміщенням конструкції вітрогенератора на рівні землі значно покращуються умови технічного обслуговування.

При рівномірному вітровому потоці дволопатевий вітрогенератор не може запускатися самостійно, що є значним недоліком цієї системи. Для підвищення пускового моменту, його комбінують з ротором Савоніуса.

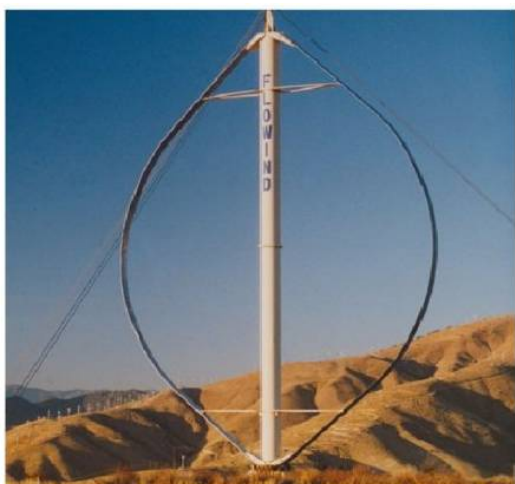


Рис. 7 – ВЕУ з ротором Дар'є

Гелікоїдний ротор (рис 8) являє собою модифікацію ортогонального ротора. За рахунок закручених лопатей цей ротор має більш рівномірне обертання, внаслідок чого знижуються навантаження на опорні вузли, в порівнянні з ортогональними роторами, однак збільшується їх вартість через ускладнення виробництва лопатей.



Рис. 8 – ВЕУ з гелікоїдним ротором

Вітрогенератори багатолопатевої з напрямляючим апаратом це модифікація ортогонального ротора (рис 9), які складаються з двох рядів лопатей, нерухокої частини, напрямляючого апарату. Вітровий потік стискається зі збільшенням швидкості і подається на обертаний ротор. Перевагою цього типу вітрогенератора є висока ефективність роботи в порівнянні з іншими вертикальними вітрогенераторними установками; низька залежність від швидкості вітру. За рахунок збільшення кількості лопатей, цей ротор має високу вартість, що є значним недоліком такої конструкції [6].

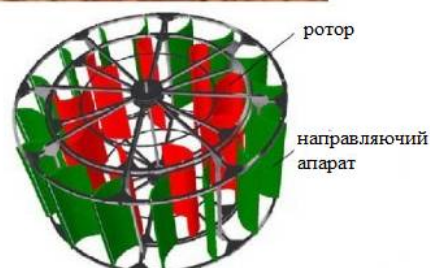


Рис. 9 – ВЕУ з багатолопатевою ротором з напрямляючим апаратом

Інноваційний вітрогенератор в Україні. Вертикальна турбіна з сонячними панелями

В Україні будуть значно більше використовувати поновлювані джерела енергії, зокрема, енергію вітру. У той же час, сучасні вітряки додають шумової забрудненості і без того неспокійних мегаполісів, не дуже доброзичливі до птахів і знаходяться далеко від споживачів електрики. Але є оригінальна альтернатива, яка допоможе позбутися від цих недоліків.

Спорудження, являє собою інноваційний вітрогенератор з вертикальною віссю обертання, який додатково оснащений сонячними панелями для виробництва електроенергії на місці (рис 10).



Рис. 10 – Вертикальний вітрогенератор з сонячними панелями

Він працює як крило літака, яке перетворює напрям вітру з горизонтального на вертикальний потік, що обертає центральну турбіну і виробляє енергію. За допомогою цього при-

строю можна забезпечувати локальною енергією будь-який будинок, без використання електроенергії з мережі, яка надходить з теплових чи атомних електростанцій.

Гібридний вітряк виробляє енергію двома способами: високоефективні сонячні панелі генерують електрику, коли стоїть сонячна погода. Разом з тим, горизонтальні лопаті ротора працюють незалежно від напрямку вітру. Вітрова турбіна з ротором діаметром 1,75 м має номінальну потужність в 2060 Вт при швидкості вітру 10 м/с і здатна виробляти пікову потужність до 3500 Вт. Обертання лопатей починається вже при швидкості вітру 1,5 м/с, а максимально допустима швидкість вітру – 45 м/с. Опціонально вітрове колесо, виготовлене з армованого поліаміду оснащується сонячними модулями загальною потужністю від 70 до 800 Вт. Масив фотоелементів розділений на три незалежні зони, кожна з яких отримує окремий мікроінвертор.

Із заходом сонця проявляється одна з найкращих застосувань цієї технології – автоматично включаються світлодіодні ліхтарі, використовуючи накопичену енергію розміщених в корпусі акумуляторів (рис 11).



Рис. 11 – Робота вертикального вітрогенератора с сонячними панелями в умовах недостатньої освітленості

Пристрій спроектовано таким чином, щоб можна було інтегрувати різні компоненти в залежності від конкретної мети застосування. Передбачені внутрішні порожнини дозволяють встановлювати всі види електронних пристроїв, які можуть, наприклад, забезпечувати бездротовий зв'язок у віддалених районах. Одним з варіантів може бути установка антени для забезпечення інтернет з'єднання в важкодоступних місцях [7].

Математична модель вітроенергетичної установки

За допомогою програмного пакету MATLAB була побудована математична модель вітрогенератора ВЕУ, яка представлена на рис 12.

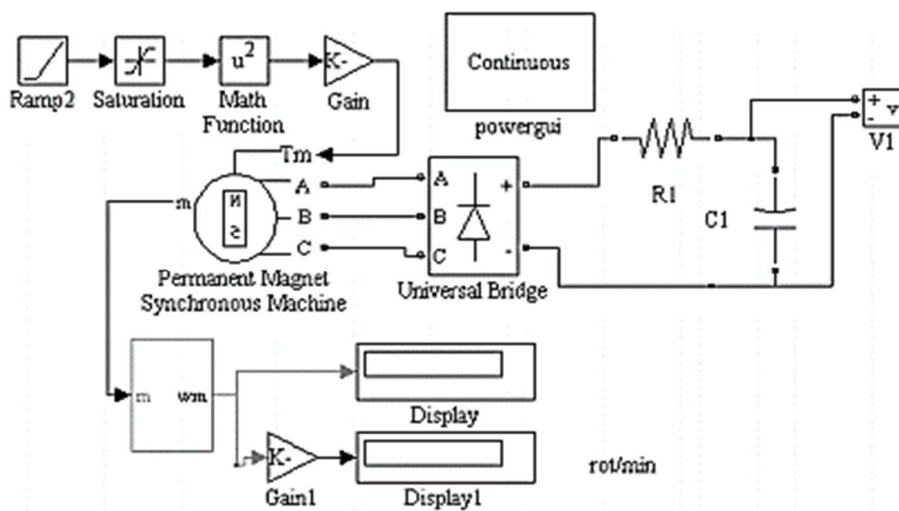


Рис. 12 – Модель вітрогенератора ВЕУ

Загальний принцип роботи математичної моделі полягає в наступному.

До блоку Permanent Magnet Synchronous Machine додається негативний момент, який визначається швидкістю вітру.

Крутний момент, прикладений до генератора ВЕУ, в залежності від швидкості вітру дорівнює

$$M_z = \frac{C_m}{2} \cdot \rho V^2 S R \quad (1)$$

де C_m – коефіцієнт крутного моменту, $C_m = 0,15$;

ρ – щільність повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

V – швидкість вітру, м/с;

S – ометаема площа, $S = 12,92 \text{ м}^2$;

R – радіус вітроколеса, $R = 1,7 \text{ м}$.

Коефіцієнт крутного моменту C_m визначається при максимальному коефіцієнті використання енергії вітру $C_p = 0,4$.

Визначимо момент, прикладений до ротора генератора

$$M_z = \frac{0,15}{2} \cdot 1,2 \cdot V^2 \cdot 12,92 \cdot 1,7 = 1,97676V^2 \quad (2)$$

За допомогою блоків Ramp, Math Function, Gain визначається вплив моменту M_z на генератор.

Генератор є джерелом струму, змінного по фазі, частоті та амплітуді, який складно використовувати для потреб споживача. Тому напруга подається на трифазний некерований випрямний міст Universal Bridge. Для згладжування пульсації служить RC-фільтр з постійною часу, яка набагато більше періоду коливань струму в обмотці.

Вимірювання вихідної напруги здійснюється

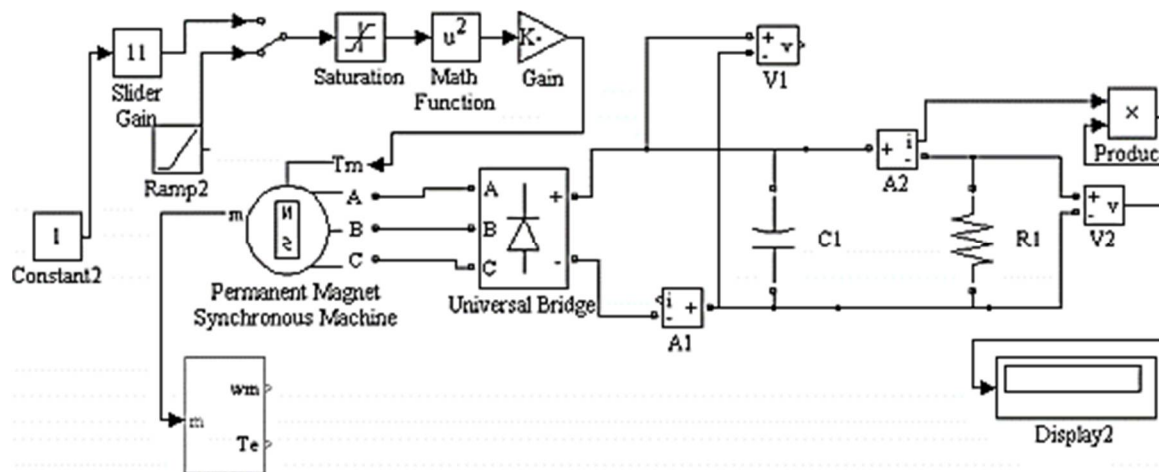


Рис. 14 – Модель ВЕУ при роботі на навантаження

Висновки

Проведені дослідження дозволяють сформулювати наступні тези.

Представлена детальна класифікація вітроенергетичної установки в залежності від типу, конструкції і компонуванні.

за допомогою вольтметра V1, частота обертання ротора – за допомогою вимірювального порту m блоку.

На рис. 13 представлена залежність випрямленої напруги від частоти обертання ротора в режимі холостого ходу $U_{X.X}$, отримана на моделі, яка практично співпадає з характеристикою дослідженого зразка генератора.

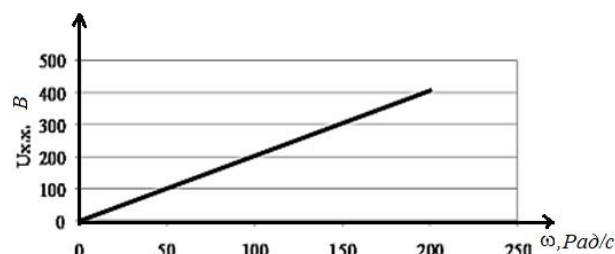


Рис. 13 – Характеристика холостого ходу ВЕУ

Розглянутий генератор дозволяє отримати номінальну потужність 3 кВт при номінальних 180 об/хв. Дані величини повинні досягатися при швидкості вітру 10 м/с. Результати розрахунків, виконаних по математичній моделі, представленій на рисунку 14, показали, що при швидкості вітру 10, м/с була зафіксована частота обертання 180 об/хв, струм навантаження 9,8 А, випрямлена напруга на навантаженні 309,8 В і потужність 3000 Вт.

аналізовані результати розрахунків і отримані вихідні параметри.

Література

1. Каргиев В.М., Мартиросов С.Н., Муругов В.П., Пинов А.Б., Сокольский А.К., Харитонов В.П. «ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности». Изд. «Интерсоларцентр», Москва, 2001 г.
2. Про вплив зміни методик спостережень на визначення швидкості вітру на метеорологічній мережі України. Труды УкрНИГМИ, 2004, вып. 253, с. 164-172.
3. В.П. Харитонов. «Автономные ветроэлектрические установки» Изд. Академии сельхознаук, Москва, 2006, с. 162-166.
4. И.Шефтер, И.В.Рождественский. «Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках» Изд. Минсельхоза СССР, Москва, 1967 г.
5. Аеродинаміка вітродвигунів. Aerodynamic theory of wind Turbines : Навч. посіб. / Є. Р. Абрамовський. – Д. : Наука і освіта, 2008. – 242 с. – Обклад. і текст англ. мовою.
6. Вертикальний вітряк: призначення, різновиди, переваги і перспективи // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу <http://vidpoviday.com/vertikalnij-vitryak-priznachennya-riznovidi-perevagi-i-perspektivi>
7. Иновационный ветряк Omniflow – вертикальная турбина с солнечными панелями // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу <https://ecotechnica.com.ua/energy/veter/438-innovatsionnyj-vetryak-omniflow-vertikalnaya-turbina-s-solnechnymi-panelyami.html>

Рецензент: А.В. Гнатов, професор, д.т.н., ХНАДУ

Стаття надійшла до редакції 15 листопада 2017 р.