

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**Капічовський Іван Васильович**

УДК 621.32

**Енергоефективність вертикально-осьової  
вітроенергетичної установки для індивідуального  
електропостачання**

141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дипломної роботи магістра на здобуття вищої освіти  
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2018

## **Дипломною роботою магістра є рукопис**

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** кандидат технічних наук, доцент  
**Коваль Вадим Петрович**,  
доцент кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

**Рецензент** кандидат технічних наук,  
**Бабюк Сергій Миколайович**  
доцент кафедри систем електроспоживання та комп'ютерних технологій в електроенергетиці  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

**Захист відбудеться** "24" лютого 2018 р. о 10 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 38 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитись в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою: <http://elartu.tntu.edu.ua/>.

*Секретар*  
*екзаменаційної комісії № 36*

Коцюрко Р.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми дослідження.**

Одним з пріоритетних напрямків розвитку енергетики в ХХІ ст. є всебічне використання відновлювальних джерел енергії, які мають величезні ресурси, що дозволить знизити негативний вплив енергетики на довкілля, підвищити енергетичну і екологічну безпеку. Необхідність широкого використання ВДЕ, визначається швидким зростанням потреби в електричній енергії, яка за прогнозами має збільшитися у 2 рази до 2030 р. і в 4 рази до 2050 р. у порівнянні з 2000 р.; вичерпанням у видимому майбутньому розвіданих запасів органічного палива; кризовим станом довкілля в зв'язку із забрудненням оксидами азоту і сірки, вуглекислим газом, пилоподібними частинками від згорання палива, радіоактивним і тепловим забрудненням.

Вітрова енергія виробляється з кінетичної енергії вітру, виникнення якої пов'язано з енергією Сонця. Люди почали використовувати вітер як джерело енергії сотні і тисячі років тому. Вітряки та парусні судна служать найкращим прикладом. Сучасні вітряні турбіни перетворюють вітрову енергію на електричну. Електроенергія, вироблена таким способом, коштує не набагато більше енергії, виробленої на теплових електростанціях. Щорічна потужність встановлених вітростанцій в країнах Європи складає 400 МВт. Більше 10 найбільших банків Європи інвестують вітроенергетичну індустрію. Більше 20 великих Європейських приватних інвесторів фінансують вітроенергетику.

**Об'єкт дослідження:** є процес перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в електричну з позицій енергоекономічних аспектів підвищення рівня енергоефективності та енергетичної і екологічної безпеки.

**Предмет дослідження:** є розроблена та виготовлена експериментальна енергоефективна вертикально-осьова, тихохідна вітроенергетична установка та її основні елементи: вітроколесо, лопаті, електрогенератор, опора.

**Метою роботи** Метою дипломної роботи є дослідження процесів перетворення енергії вітру у електроенергію з при низьких швидкостях вітру із наступним виготовленням діючої моделі вертикально-осьової вітроенергетичної установки.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

1. Впровадження відновлюваних джерел енергії.
2. Підвищення ефективності вертикально-осьової вітроенергетичної установки.
3. Зменшення вібрацій та шуму при роботі ВЕУ.
4. Досягнення низького коефіцієнту пульсацій вихідної напруги.
5. Забезпечення контролю заряду акумуляторної батареї.
6. Підвищення швидкодії контролера заряду акумуляторної батареї.
7. Збільшення швидкості повітряного потоку, що постуває на вітроприймальний пристрій.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач були використані методи математичного аналізу, математичного та комп'ютерного

моделювання. Дослідження ВЕУ проводилося на основі методів комплексних планомірних експериментів.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Полягає, у альтернативному підході до питання індивідуального електропостачання, а саме у використанні відновлюваного джерела енергії – енергія вітру. Це дає змогу не тільки знизити витрати на електроенергію а ще й досягнути чималого економічного ефекту за рахунок виключення додаткових витрат на проектування та реалізацію кабельних або повітряних ліній електропередач необхідних для забезпечення електроенергією віддалених споживачів.

При цьому одержано такі наукові результати:

1. Встановлено, що для низькошвидкісного повітряного потоку найкраще використовувати конструкції типу ротора Савоніуса, саме вони мають найвищий зрушувальний момент.
2. На основі досліджень режимів роботи виготовленої моделі ВЕУ, отримано відносно низький коефіцієнт пульсації вихідної постійної напруги  $K_{\Pi}=0,26$ .

### **Практичне значення одержаних результатів**

Полягає в тому, що використання розробленої та виготовленої вертикально-осьової установки дає змогу підвищити енергонезалежність, зменшити вплив на навколишнє середовище процесу вироблення електричної енергії. При цьому одержано такі практичні результати:

1. Для максимальної ефективності та зменшення вібрацій та залипання запропоновано використовувати трифазний аксіальний генератор змінного струму який складається з 9 котушок по 3 на кожну з фаз.
2. Виготовлено експериментальну вертикально-осьову установку з кількістю лопатей 12 шт. та швидкохідністю близькою до 1, що забезпечує її безшумну роботу.
3. Розроблену ВЕУ можна використовувати для забезпечення електроенергією віддалених, від системи електропостачання, споживачів.

### **Апробація результатів роботи.**

Результати роботи були апробовані на X Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». – Тернопіль, ТНТУ, 2017. – С. 168.

### **Структура і обсяг роботи.**

Дипломна робота магістра складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел.

Загальний обсяг роботи становить листів машинописного тексту. При розробці було використано 40 формул, представлено 42 рисунки і 10 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, апробацію та впровадження результатів роботи.

**Перший розділ «Літературний огляд»** носить оглядово-аналітичний характер і містить результати роботи по аналізу існуючої у світі інформації щодо тематики дипломної роботи. Розглянуто: існуючі конструкції вітроенергетичних установок з вертикальною віссю обертання. Розглянуто основні існуючі схеми підключення ВЕУ до мережі електропостачання. У значній мірі представлено аналіз та конфігурації генераторів з постійними магнітами.

Виявлено, що основними відомими способами підвищення ефективності ВЕУ є: розробка прогресивних технологій виготовлення ВЕУ, направлених на зменшення їх вартості та збільшення ККД; - використання концентратора повітряного потоку; - застосування контролера для заряду батареї. Встановлено, що ротор типу Савоніуса має більший зрушувальний момент, отже краще підходить для використання при низьких швидкостях вітру.

**У другому розділі «Основна частина»** представлено результати досліджень вітрової енергетики та вітрового потенціалу України. Значний вклад у дослідження питань вітроенергетики в Україні вносить науково-дослідна база Київського політехнічного інституту. Дуже ефективно використання вітрових турбін для підігріву води з метою опалення (теплові мішалки). Досліди показали, що в районах з інтенсивним вітром подібні пристрої дешевші за електроопалення. Вигідно використовувати їх у Канаді та Північній Європі.

Представлено результати дослідження факторів що впливають на роботу ВЕУ. Внаслідок постійної зміни миттєвих швидкостей вітру в значних межах змінюється енергія вітрового потоку, і як наслідок змінюється потужність, яка створюється вітровим колесом.

Структура вітрового потоку, за проміжок часу, характеризується рядом величин:

- 1) середня швидкість вітру;
- 2) поривчастість вітру;
- 3) змінюваність вітру;
- 4) тривалість провалів - підйомів швидкості вітру вище, або нижче середнього значення.

Кінетична енергія переміщеного зі швидкістю  $V$  тіла масою  $m$  визначається формулою  $W = mV^2/2$ . Якщо мова йде про повітряний потік, то  $V$ , звичайно, і є його швидкість. Для визначення маси  $m$  повітряного потоку необхідно враховувати об'єм повітря, яке проходить через ОП за одиницю часу, тобто

$$m = \rho \cdot S \cdot V, \quad (1)$$

де  $\rho$  – це густина повітря;  $S = \text{ОП}$ ;  
 $V$  – та ж швидкість вітру.

Тоді початковий вираз для визначення енергії буде мати вигляд:

$$W = \frac{\rho \cdot S}{2} \cdot V^3 \quad (2)$$

Це величина енергії на одиницю часу, тобто потужність. Навіть

поверхневий аналіз приведеної формули показує, що потужність вітру від величини площі  $S$  знаходиться в лінійній залежності, а від швидкості вітру  $V$  – в кубічній.

Таким чином, для підвищення ефективності ВЕУ при проектуванні визначено пошук шляхів і підходів для збільшення швидкості  $V$  повітряного потоку.

Для генерування електроенергії розраховано та виготовлено генератор, який розташовується у нижній частині вітрогенератора на вертикальному валу (рис.1).

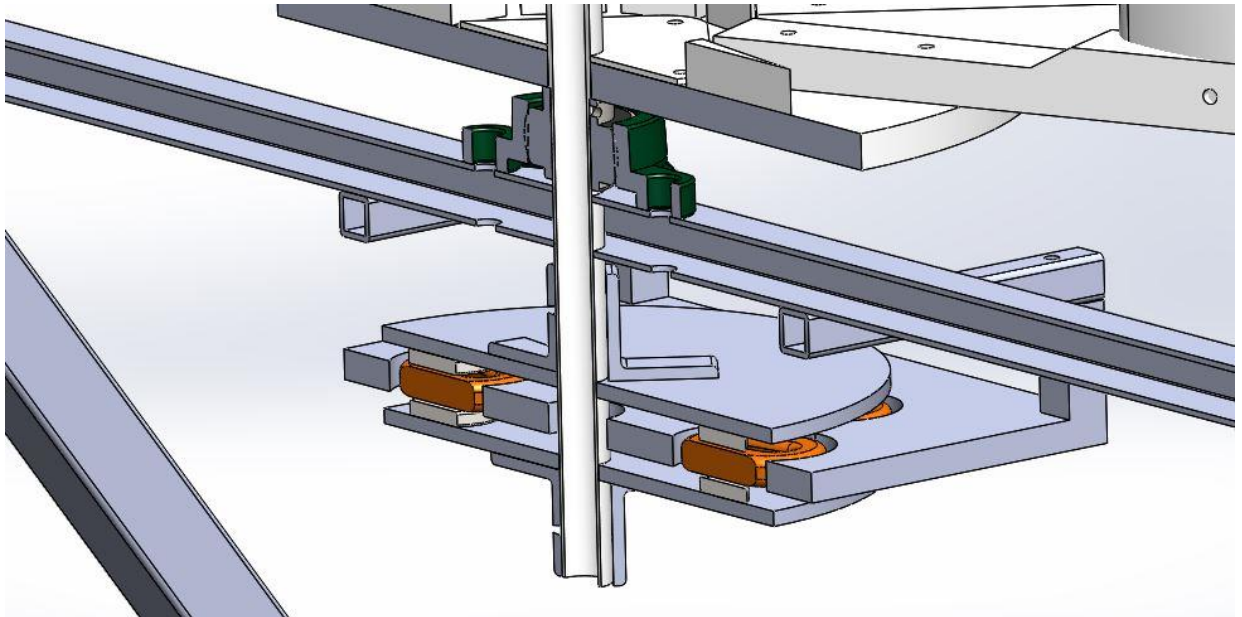


Рис. 1. Модель генератора тихохідної ВЕУ у розрізі виконана у програмі Solid Works

Обрано, для отримання вихідної постійної напруги з низьким коефіцієнтом пульсації, діодний міст за схемою Ларіонова. Після під'єднання випрямляча були отримані наступні осцилограми випрямленої напруги в режимі холостого ходу (рис. 2).

При дослідженні отриманих підчас експериментів значень вихідної напруги було визначено коефіцієнт пульсації який розраховуємо за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{сеп}}}, \quad (3)$$

де  $U_{\max}$  – максимальне значення вихідної напруги;

$U_{\min}$  – мінімальне значення вихідної напруги;

$U_{\text{сеп}}$  – середнє значення вихідної напруги.

$$K_{\Pi} = \frac{5 - 3,85}{4,4} = 0,26.$$

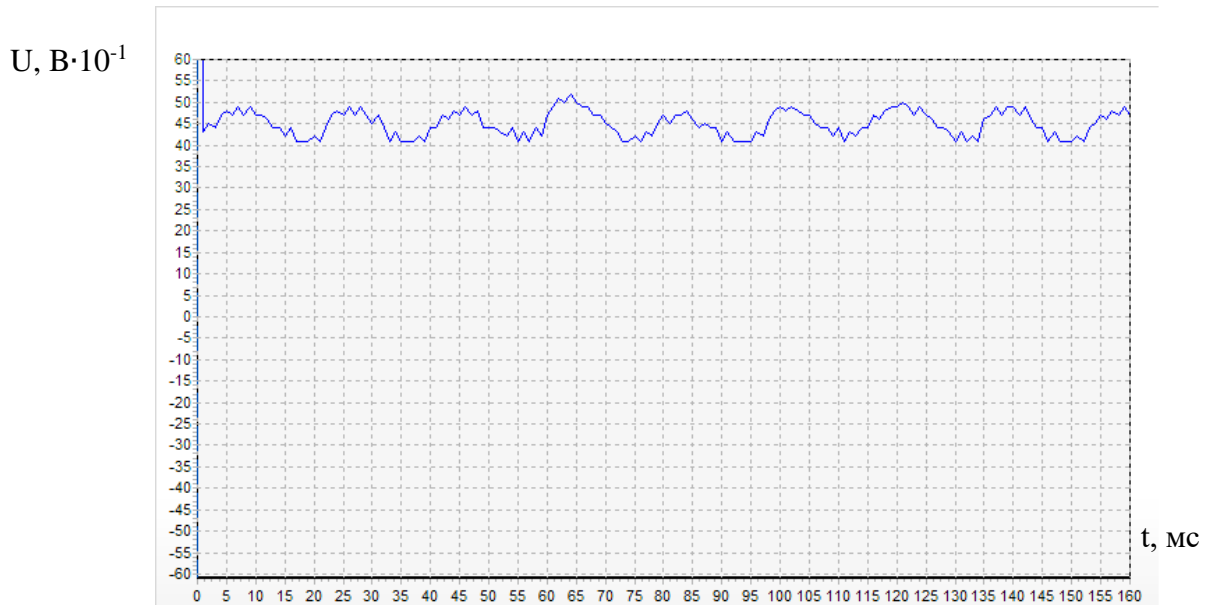


Рис. 2. Графік зміни вихідної випрямленої напруги генератора в часі (200ms)

Удосконалено схему регульованого контролера заряду акумуляторних батарей.

Розроблено конструкцію вертикально-осьової ВЕУ у якій удосконалено вітроприймальний пристрій, за допомогою концентратора повітряного потоку (рис. 3).

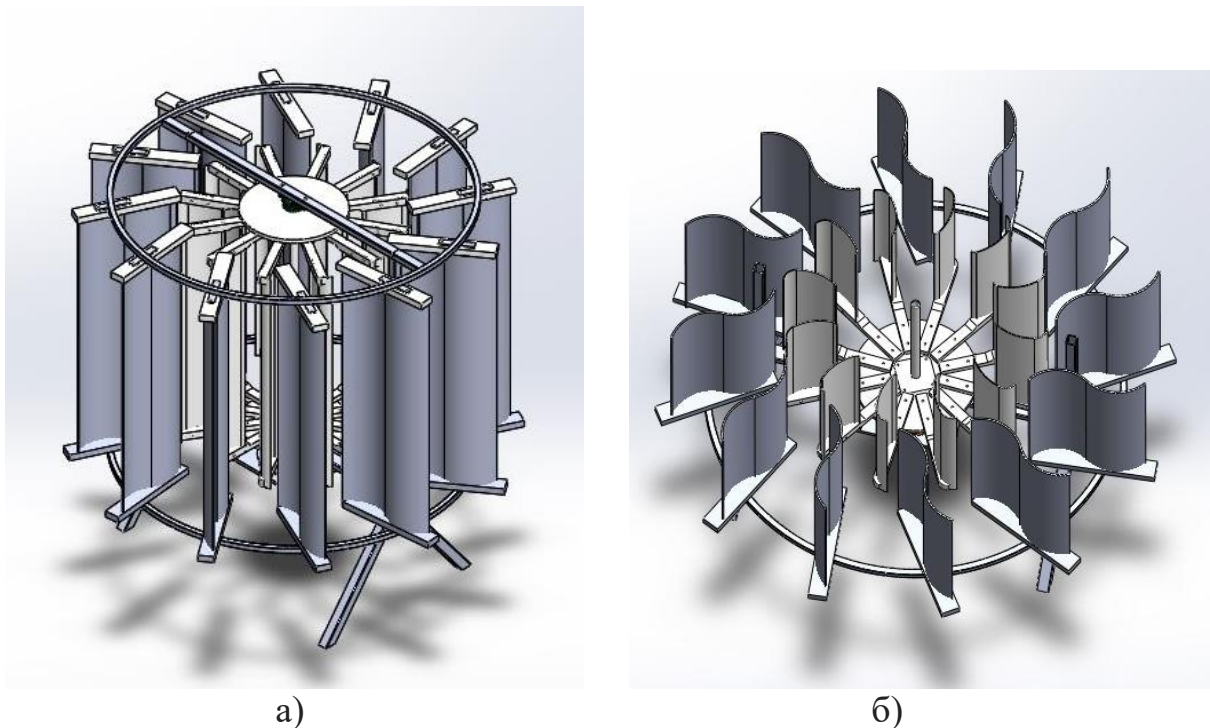


Рис. 3. Модель ВЕУ з направляючим концентратором повітряного потоку виконана в Solid Works

а) – зовнішній вигляд;  
б) у розрізі горизонтальною площиною

У третьому розділі «Спеціальна частина» представлено сучасні підходи до автоматизації проектування та опис ліцензійного програмного забезпечення, яке використано для проведення розрахунків та представлення їх результатів.

У четвертому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» наведено обґрунтування показників та розрахунок періоду окупності економічної ефективності проекту індивідуального електропостачання вертикально-осьової ВЕУ. Встановлено, що період окупності при використанні «зеленого тарифу» становить 1,4 роки.

У п'ятому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано методи аналізу виробничого травматизму та визначення групи горючості матеріалів і речовин. Розробка заходів щодо зниження впливу шуму на організм людини. Також організація цивільного захисту на об'єкті енергетики.

У шостому розділі «Екологія» наведено аналіз впливу енергетики на навколишнє середовище та екологічних аспектів вітроенергетики.

## ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення максимального зрушувального моменту при низьких швидкостях вітру, які характерні для Тернопільської області, обрано вертикально-осьову конструкцію вітроенергетичної установки типу ротор Савоніуса.

2. З метою забезпечення зменшення вібрацій та досягнення більш плавного обертання виготовлено тихохідний трифазний аксіальний генератор, конструкція якого складається з 9 котушок і 12 неодимових магнітів товщиною 5 мм розміщених на двох дисках з металу товщиною 5 мм.

3. Розрахований час за який лопать зміщується в положення іншої дорівнює  $\Delta t_n = 0,0375$  с. та дорівнює часу  $\Delta t_B = 0,0375$  с. за який, збурений лопаттю потік, переміщується на відстань рівну довжині збуреного потоку. Це свідчить про ефективність розробленої конструкції оскільки вдалось досягнути обертання лопатей «чистому» потоці повітря. Також розраховано величину швидкохідності вітротурбіни при кількості лопатей 12 шт.  $Z=1,04$ .

4. На основі проведених досліджень та розрахунків, виготовлено дослідний зразок ВЕУ, та проведено дослідження в лабораторних умовах при швидкості обертання 32 об/хв. отримали коефіцієнт пульсації  $K_P=0,26$  постійної напруги випрямленої трифазним діодним мостом за схемою Ларіонова.

5. Вдосконалено існуючу схему контролера заряду шляхом заміни реле для комутації вітроенергетичної установки та батареї на більш потужне з меншим енергоспоживанням та вищою швидкодією.

6. Розраховано техніко-економічні показники, термін окупності який при користуванні “зеленим” тарифом становить  $T_{OK_{зел}} = 1,4$  роки.



***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи***

1. Капічовський І.В. Тези доповіді на Х Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». – Тернопіль, ТНТУ, 2017. – С. 168.

**АНОТАЦІЯ**

**Капічовський І.В.** Енергоефективність вертикально-осьової вітроенергетичної установки для індивідуального електропостачання. – **Рукопис.**

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Наводиться обґрунтування застосування тихохідної вертикально-осьової вітроенергетичної установки. Проводиться аналіз, і обґрунтування обраного типу конструкції та електричного генератора. Виконано дослідження та розробка енергоефективної моделі вітротурбіни яку було реалізовано у вигляді дослідної установки. Розроблено модель концентратора повітряного потоку.

**Ключові слова:** вітер, вертикально-осьова установка, вітротурбіна, концентратор, енергоефективність.

**ANNOTATION**

**Kapichovsky I.V.** Energy efficiency of a vertical axis wind power electrical generator for individual power supply. - **Manuscript.**

Diploma paper for a Master's Degree, speciality 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics . – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2018.

Substantiate the use of application of a slow-moving vertical-axial wind power electrical generator is grounded. The analysis and justification of the chosen type of design and electric generator are carried out. The research and development of the energy-efficient model of the wind turbine, which was implemented as a precision installation, was performed. The model of the air flow concentrator is developed.

**Key words:** wind, vertical axis installation, wind turbine, concentrator, energy efficiency.