

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

(назва факультету)

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ФІЗИКИ

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

(рівень вищої освіти)

на тему Імітаційне моделювання та дослідження роботи вітропарку у програмному середовищі System Advisor Model

Виконав: студент 2 курсу, групи бзЕЛ  
спеціальності 141. Електроенергетика,  
електротехніка та  
електромеханіка

(код і назва спеціальності)

освітньо-професійної Нетрадиційні та відновлювані  
програми джерела енергії

(назва ОПП)

Кічіянц В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанчиков Д.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Мешков Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький - 2024 р.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: “Імітаційне моделювання та дослідження роботи вітропарку у програмному середовищі System Advisor Model” включає в собі пояснювальну записку. Пояснювальна записка містить 87 сторінок формату А4, 32 рисунки, 10 таблиць, 32 використаних джерела, 16 слайдів електронної презентації, 2 додатки.

Ключові слова: вітропарк, вітроенергетична установка, вітрові ресурси, програмне забезпечення, імітаційне моделювання.

Об’єктом дослідження є процеси вироблення електричної енергії вітропарком в умовах реального вітрового навантаження.

Метою роботи є моделювання та дослідження роботи вітропарку у програмному середовищі System Advisor Model.

В роботі реалізовано імітаційне моделювання та дослідження роботи вітропарку у програмному середовищі System Advisor. На підставі розробленого файлу погоди проведено моделювання та дослідження вітрових ресурсів у місці розташування вітропарку “Старий Самбір - 2”. Створено спеціалізований файл з координатами розташування окремих вітроенергетичних установок у складі вітропарку. Проведено моделювання реального розташування вітротурбін при роботі вітропарку за допомогою програмного середовища System Advisor Model. Модельний експеримент показав дуже добре узгодження з реальними показниками, відносна різниця складає лише 0,07%. Цей факт показує адекватність моделювання і доводить актуальність застосування програмного середовища System Advisor Model для проведення досліджень у вітроенергетиці.

## ЗМІСТ

|                                                                                              | стор. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Скорочення та умовні позначки                                                                | 4     |
| Вступ                                                                                        | 5     |
| 1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА                                                                           | 7     |
| 1.1 Потенціал європейської вітроенергетики                                                   | 7     |
| 1.1.1 Вітропарки Європи                                                                      | 7     |
| 1.1.2 Перспективи розвитку вітроенергетики України в<br>післявоєнний період                  | 10    |
| 1.2 Порівняльний аналіз програмного забезпечення для<br>моделювання вітроенергетичних систем | 14    |
| 1.2.1 Безкоштовне програмне забезпечення                                                     | 14    |
| 1.2.2 Платне програмне забезпечення                                                          | 16    |
| 1.2.3 Критерії оцінки програмного забезпечення                                               | 23    |
| 1.3 Висновки до оглядової частини                                                            | 23    |
| 2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА                                                                         | 25    |
| 2.1 Методика моделювання вітропарку у програмному<br>середовищі System Advisor Model         | 25    |
| 2.1.1 Загальний алгоритм моделювання вітроенергетичних<br>систем у System Advisor Model      | 25    |
| 2.1.2 Параметри даних вітрових ресурсів (Wind Resource)                                      | 26    |
| 2.1.3 Методика моделювання вітротурбін                                                       | 29    |
| 2.2 Опис об'єкту моделювання                                                                 | 38    |
| 2.2.1 План-схема вітроенергетичної станції “Старий Самбір-<br>2”                             | 38    |
| 2.2.2 Вітрова турбіна Vestas V126-3.45                                                       | 40    |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3 Створення спеціалізованих файлів погоди для моделювання<br>вітроенергетичних систем у програмному середовищі<br>System Advisor Model | 43 |
| 2.4 Висновки до методичної частини                                                                                                       | 46 |
| 3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА                                                                                                                   | 48 |
| 3.1 Моделювання та дослідження вітрових ресурсів у місці<br>розташування вітропарку                                                      | 48 |
| 3.2 Моделювання реального розташування вітротурбін при<br>роботі вітропарку                                                              | 53 |
| 3.3 Модельне дослідження роботи вітропарку при реальному<br>розподілі вітрового ресурсу                                                  | 56 |
| 3.4 Висновки до дослідницької частини                                                                                                    | 61 |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА                                                                                                                     | 63 |
| 4.1 Методика визначення економічної ефективності наукових<br>досліджень                                                                  | 63 |
| 4.2 Оцінка економічної ефективності проведення наукових<br>досліджень та розрахунок витрат на науково-дослідну<br>роботу                 | 68 |
| 4.3 Висновки до економічної частини                                                                                                      | 70 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ                                                                                                                          | 71 |
| 5.1 Загальна характеристика робочого місця програміста                                                                                   | 71 |
| 5.2 Організація і обладнання робочих місць програміста                                                                                   | 73 |
| 5.3 Висновки до охорони праці                                                                                                            | 76 |
| ВИСНОВКИ                                                                                                                                 | 78 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                                                               | 80 |
| ДОДАТОК А Характеристики вітротурбіни Vestas V126-3.45 MW                                                                                | 83 |
| ДОДАТОК Б Відомості про апробацію                                                                                                        | 84 |

## ВСТУП

Програмне середовище System Advisor Model (SAM) – це настільна програма, призначена для полегшення техніко-економічного аналізу проектів у сфері відновлюваної енергетики. Це інструмент прийняття рішень для розробників проектів, фінансових аналітиків, політиків і дослідників енергетики. SAM може моделювати увесь спектр відновлюваних джерел енергії, у тому числі вітроенергетичні станції та вітропарки. Розробником програмного середовища SAM виступає Національна лабораторія відновлюваних джерел енергії (The National Renewable Energy Laboratory – NREL, США). Програмне середовище є офіційно безкоштовним і не потребує ліцензії для використання на персональних комп'ютерах. Це є додатковим стимулом використання System Advisor Model в учбовому процесі для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Тому *метою роботи* є моделювання та дослідження роботи вітропарку у програмному середовищі System Advisor Model.

*Об'єкт дослідження:* процеси вироблення електричної енергії вітропарком в умовах реального вітрового навантаження.

*Предмет дослідження:* моделювання та дослідження роботи вітропарку “Старий Самбір - 2” у програмному середовищі System Advisor Model.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Провести порівняльний аналіз програмного забезпечення для моделювання вітроенергетичних систем. Сформулювати критерії оцінки програмного забезпечення для вибору у якості базового при проектуванні та аналізі вітроенергетичних систем.

2. Розглянути методику моделювання вітропарку у програмному середовищі System Advisor Model. Проаналізовано загальний алгоритм моделювання вітроенергетичних систем.

3. Розробити універсальні методику та алгоритм створення спеціалізованих srw файлів вітрового ресурсу для регіонів, неохоплених базою даних NREL's WIND Toolkit, на підставі наявних погодних файлів для даних місцевостей з інших джерел.

4. Провести опис об'єкту моделювання, скласти план-схему вітроенергетичної станції “Старий Самбір - 2” у Львівській області. Описати та змодельовати вітрові турбіни Vestas V126-3.45, які входять до складу вітропарку.

5. Реалізувати модельне дослідження роботи вітропарку “Старий Самбір - 2” при реальному розподілі вітрового ресурсу у програмному середовищі System Advisor Model. Отримати залежність генерованої потужності від години доби для кожного місяця року та загальне річне вироблення потужності. Провести співставлення модельних результатів з реальними даними вироблення потужності.

6. Провести техніко-економічне обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи.

7. Розглянути нормативно-методичні та організаційні заходи з охорони праці.

**Методи дослідження:** при проведенні дослідження використовувались методи математичного та комп'ютерного моделювання, теорія вітроенергетики, гідродинаміки, системний аналіз, статистичні методи аналізу та обробки даних.

Результати досліджень створюють наукову базу для реалізації практичних рекомендацій щодо реалізації конкретних проектів в області вітрової енергетики. Знання студентами основ імітаційного моделювання та досвід практичного їх застосування дозволить з більшою ефективністю виконувати реальні проектні завдання.