

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 Розробка методики визначення надійності роботи вітроенергетичної
установки на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії

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)

Рогальський Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанчиков Д.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Старун Н.В.

(прізвище та ініціали)

Херсон - 2021 р.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Розробка методики визначення надійності роботи вітроенергетичної установки на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії» включає в собі пояснювальну записку. Пояснювальна записка містить 86 сторінок формату А4, 30 рисунків, 11 таблиць, 26 використаних джерел, 11 слайдів електронної презентації, 3 додатки.

Ключові слова: вітроенергетична установка, дефекти динамічного розбалансування, спектральний аналіз сигналів.

Об'єктом дослідження є процеси деградації та способи моніторингу, аналізу і прогнозування стану елементів конструкції вітроенергетичних установок горизонтально-осьового типу.

Метою роботи є розробка методики моніторингу та прогнозування стану елементів конструкції вітроенергетичних установок горизонтально-осьового типу у реальному часі на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії.

У кваліфікаційній роботі розроблена методика моніторингу стану вітроенергетичної установки, яка базується на обробці та аналізі сигналів струму у колі генератора. Такий підхід не потребує наявності зовнішніх сенсорів і тому є більш вигідним з точки зору вартості, реалізації і надійності. Показано, що розроблену методику можна застосовувати для ідентифікації та класифікації дефектів динамічного розбалансування вітроустановки за частотною локалізацією та величиною амплітуди сигналу.

У розділі «Економічна частина» отримано фінансову оцінку передбачуваних витрат та одержуваного ефективного результату, оцінено прибутковість проекту і економічну доцільність його впровадження.

У розділі «Охорона праці» проведено розрахунок штучного освітлення у робочому приміщенні та його техніко-економічних характеристик.

ЗМІСТ

	стор.
Скорочення та умовні позначки	5
Вступ	6
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА	8
1.1 Особливості експлуатації вітроенергетичних установок	8
1.2 Аналіз даних щодо аварій на вітроенергетичних установках	10
1.3 Теоретичні основи роботи системи моніторингу стану	16
1.4 Висновки до оглядової частини	20
2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Дефекти динамічного розбалансування вітроенергетичної установки	21
2.1.1 Динамічне розбалансування лопаті	21
2.1.2 Аеродинамічна асиметрія лопаті	22
2.1.3 Дефекти підшипників	23
2.2 Методика проведення діагностики динамічного розбалансування ВЕУ на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії	27
2.2.1 Використання сигналів струму для моніторингу дефектів розбалансування	27
2.2.2 Частотна демодуляція сигналів струму	29
2.2.3 Амплітудна демодуляція сигналів струму	30
2.2.4 Вилучення сигнатур дефектів розбалансування	31
2.2.5 Визначення дефектів динамічного розбалансування за вихідною потужністю ВЕУ	35
2.3 Модель вітроенергетичної установки для проведення досліджень	37
2.4 Висновки до методичної частини	39
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	40

3.1 Моніторинг дефектів динамічного розбалансування вітроенергетичної установки заснований на вимірюваннях струму генератора	40
3.1.1 Структура проведення моніторингу	40
3.1.2 Застосування модифікованого методу спектральної густини потужності до сигналів струму генератора ВЕУ	41
3.1.3 Прогнозування стану вітроенергетичної установки на основі аналізу сигналів струму генератора	43
3.1.4 Експоненціальна модель деградації для оцінки залишкового ресурсу вітроенергетичної установки	52
3.2 Дослідження дефектів динамічного розбалансування ВЕУ на основі аналізу вихідної потужності	55
3.2.1 Моделювання динамічного розбалансування маси на різних лопатях ВЕУ	55
3.2.2 Моделювання динамічного розбалансування маси на одній лопаті ВЕУ	58
3.3 Висновки до дослідницької частини	60
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
4.1 Кошторис витрат на розробку програмного продукту	62
4.2 Розрахунок річного економічного ефекту від впровадження нового програмного продукту та терміну його окупності	65
4.3 Висновки до економічної частини	69
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	70
5.1 Важливість освітлення у робочих приміщеннях	70
5.2 Методика розрахунку освітленості у робочому приміщенні	71
5.3 Методика проведення техніко-економічного розрахунку освітлення у робочому приміщенні	73
5.4 Розрахунок штучного освітлення та його техніко-економічних показників	76
5.5 Висновки до охорони праці	81
ВИСНОВКИ	82

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84
ДОДАТОК А Програмна реалізація імпорту та дослідження статистичних даних PSD-сигналів струму генератора ВЕУ при наявності динамічного розбалансування	87
ДОДАТОК Б Програмна реалізація експоненціальної моделі деградації та прогнозування стану вітроенергетичної установки	90
ДОДАТОК В Апробація результатів дослідження	91

ВСТУП

Вітроенергетика – галузь енергетичної промисловості, яка динамічно розвивається у багатьох провідних країнах світу. Однак підвищені вітрові навантаження та відсутність можливості контролю за роботою вітроенергетичних установок з боку людини створюють високі ризики їхньої експлуатації. Найбільш поширеними аварійними випадками при експлуатації вітроенергетичних установок є: руйнування лопатей через перевищення частоти обертання ротора, перегрів обмоток генератора, руйнування конструкції через підвищені вібраційні коливання.

Тому повітряні турбіни повинні перевірятися під час роботи для підвищення безпеки, мінімізації часу простою і забезпечення максимального потенціалу генерування вихідної потужності.

З аналізу статистичних даних щодо аварій на вітроустановках слідує, що найбільш важливими характеристиками, по яких слід відстежувати технічний стан об'єкта – це частота обертання ротора та температура генератора. Також, слід забезпечувати моніторинг вібраційних коливань конструкції.

Тому **метою роботи** є розробка методики моніторингу та прогнозування стану елементів конструкції вітроенергетичних установок горизонтально-осьового типу у реальному часі на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії.

Об'єкт дослідження: процеси деградації та способи моніторингу, аналізу і прогнозування стану елементів конструкції вітроенергетичних установок горизонтально-осьового типу.

Предмет дослідження: методика моніторингу та прогнозування стану елементів конструкції вітроенергетичних установок горизонтально-осьового типу на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Провести аналіз статистичних даних щодо аварій вітроенергетичних установок. Визначити види аварій, їх причини та оцінити наслідки аварійних випадків;

2. Розглянути класифікацію методів моніторингу вітроенергетичних установок;
3. Проаналізувати теоретичні основи роботи системи моніторингу стану сучасних вітроенергетичних установок;
4. Розробити комп'ютерну модель вітроенергетичної установки горизонтально-осьового типу для модельного дослідження дефектів динамічного розбалансування;
5. Розробити методику визначення надійності роботи та прогнозування стану вітроенергетичної установки на основі аналізу параметрів генерованої електроенергії, створити програмну реалізацію розробленої методики та провести відповідні модельні дослідження;
6. Показати принципову можливість у межах запропонованої методики не тільки виявляти дефекти динамічного розбалансування, але також проводити їх кількісну ідентифікацію за величиною локалізації і амплітудою збудження на базовій частоті обертання ротора.
7. Отримати фінансову оцінку передбачуваних витрат та одержуваного ефективного результату, визначити прибутковість проекту і економічну доцільність його впровадження;
8. Розглянути нормативно-методичні та організаційні заходи з охорони праці.

Методи дослідження: при проведенні дослідження використовувались методи математичного моделювання, апроксимації функцій, теорія вітроенергетики, системний аналіз, статистичні методи аналізу та обробки даних.

Результати досліджень створюють наукову базу для реалізації практичних рекомендацій щодо реалізації конкретних проектів в області моніторингу надійності роботи вітроенергетичних установок.