

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 віртуальної лабораторної роботи з моделювання  
фотоелектричної станції з комбінованим розташуванням модулів

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

(код і назва спеціальності)

освітньо-професійної Нетрадиційні та відновлювані  
програми джерела енергії

(назва ОПП)

Коваленко О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанчиков Д.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Мешков Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький - 2025 р.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: “Розробка віртуальної лабораторної роботи з моделювання фотоелектричної станції з комбінованим розташуванням модулів” включає в собі пояснювальну записку. Пояснювальна записка містить 93 сторінки формату А4, 14 рисунків, 14 таблиць, 28 використаних джерел, 12 слайдів електронної презентації.

Ключові слова: фотоелектрична система, віртуальна лабораторна робота, фотоелектричний модуль, інвертор, відновлювані джерела енергії, програмне забезпечення, моделювання.

Об’єктом дослідження є моделювання процесу вироблення електричної енергії сонячною електростанцією на базі фотоелектричних модулів при комбінованому розташуванні модулів.

Метою роботи є розробка методики виконання віртуальної лабораторної роботи з моделювання фотоелектричної станції з комбінованим розташуванням модулів у програмному середовищі System Advisor Model, створення індивідуальних завдань для дистанційного навчання.

В роботі проаналізовано ключові переваги віртуальних лабораторних робіт як сучасного інструменту навчання. Проведено аналіз програмного забезпечення для проектування та моделювання сонячних фотоелектричних систем. Розглянуто основні прийоми роботи з програмним середовищем System Advisor Model. Розроблено методику моделювання фотоелектричної станції з декількома підмасивами модулів. Запропоновано віртуальну комплексну лабораторну роботу з моделювання фотоелектричних систем з комбінованим розташуванням модулів у програмному середовищі System Advisor Model. Розраховано можливий економічний ефект від впровадження розробленого пакету віртуальних лабораторних робіт в учбовий процес. Розглянуто питання виробничої санітарії, гігієни праці та техніки.

## ЗМІСТ

	стор.
Скорочення та умовні позначки	5
Вступ	6
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА	8
1.1 Віртуальні лабораторні роботи як сучасний інструмент навчання	8
1.2 Платформи для віртуальних лабораторних робіт у відновлюваній енергетиці	14
1.3 Застосування фотоелектричних станцій з комбінованим розташуванням модулів	17
1.4 Висновки до оглядової частини	21
2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА	23
2.1 Опис програмного середовища System Advisor Model	23
2.2 Моделювання фотоелектричних систем у System Advisor Model	24
2.2.1 Вхідні дані для моделювання	25
2.2.2 Результати моделювання	27
2.3 Інсталювання програми System Advisor Model	28
2.4 Етапи моделювання фотоелектричної станції у System Advisor Model	29
2.4.1 Роль погодних даних у System Advisor Model	30
2.4.2 Детальна фотоелектрична модель (Detailed Photovoltaic Model)	32
2.4.3 Моделювання фотоелектричного модуля	34
2.4.4 Моделювання інвертора	36
2.4.5 Проектування системи у програмі System Advisor Model	39

2.4.6	Методика моделювання фотоелектричної станції з декількома підмасивами модулів	41
2.5	Аналітичні можливості інструментів моделювання System Advisor Model	43
2.6	Висновки до методичної частини	44
3	ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	45
3.1	Лабораторна робота «Моделювання фотоелектричних систем з комбінованим розташуванням модулів»	45
3.1.1	Порядок виконання дослідження	45
3.1.2	Приклад виконання дослідження	48
3.2	Висновки до дослідницької частини	62
4	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	64
4.1	Методика визначення економічної ефективності науково-дослідної роботи	64
4.2	Розрахунок витрат на проведення та економічної ефективності науково-дослідної роботи	68
4.2.1	Оцінка наукової значимості результатів НДР	68
4.2.2	Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	69
4.2.3	Розрахунок комплексного показника рівня НДР	71
4.3	Висновки до економічної частини	71
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	73
5.1	Вступні зауваження	73
5.2	Безпечні умови праці	75
5.2.1	Характеристика робочого місця та обладнання	76
5.2.2	Заходи щодо забезпечення безпеки праці	77
5.2.3	Електробезпека робочого місця	77
5.2.4	Загальні вимоги до безпечної експлуатації обладнання	78
5.3	Виробнича санітарія	79

5.3.1 Оптимальні метеоумови (мікроклімат)	80
5.3.2 Розрахунок штучного освітлення	80
5.3.3 Пил, шум, вібрація та електромагнітні поля	83
5.4 Висновки до охорони праці	85
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку вищої освіти характеризується інтенсивною інтеграцією інформаційно-комунікаційних технологій у процес дослідження складних технічних систем. У контексті глобальних викликів, зумовлених пандемічними обмеженнями та правовим режимом воєнного стану, дистанційна форма навчання набула статусу домінуючої. Це створює об'єктивні труднощі для проведення натурних експериментів, особливо при вивченні профільних дисциплін, що зумовлює необхідність впровадження високотехнологічних засобів віртуалізації лабораторних досліджень.

Сонячна енергетика, як один із найбільш динамічних сегментів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), потребує специфічних підходів до проектування та аналізу. Традиційні методи розрахунку, притаманні класичній електроенергетиці, не дозволяють повною мірою врахувати стохастичний характер сонячної інсоляції та нелінійні характеристики фотоелектричних перетворювачів. Обґрунтування інвестиційної привабливості проектів у цій галузі вимагає застосування прецизійного математичного та комп'ютерного моделювання, що базується на аналізі годинних метеоданих, просторової орієнтації масивів та алгоритмів керування потужністю.

Тому *метою роботи* є розробка методики виконання віртуальної комплексної лабораторної роботи з моделювання фотоелектричної станції з комбінованим розташуванням модулів, створення індивідуальних завдань для дистанційного навчання.

*Об'єкт дослідження:* моделювання процесу вироблення електричної енергії сонячною електростанцією на базі фотоелектричних модулів при різних параметрах обладнання і зовнішніх погодних умов.

**Предмет дослідження:** методика моделювання та дослідження процесу вироблення електричної енергії фотоелектричною станцією з комбінованим розташуванням модулів у програмному середовищі System Advisor Model.

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

1. Проаналізовано ключові переваги віртуальних лабораторних робіт як сучасного інструменту навчання. Провести аналіз програмного забезпечення для проектування та моделювання сонячних фотоелектричних систем;
2. Розглянути основні прийоми роботи з програмним середовищем System Advisor Model;
3. Розглянути сучасні концепції застосування фотоелектричних станцій з комбінованим розташуванням модулів;
4. Розробити методику моделювання фотоелектричної станції з декількома підмасивами модулів;
5. Розробити віртуальну комплексну лабораторну роботу з моделювання фотоелектричних систем з комбінованим розташуванням модулів у програмному середовищі System Advisor Model;
6. Обґрунтувати економічну доцільність та перспективність проведеної науково-дослідної роботи для впровадження в освітній процес;
7. Розглянути нормативно-методичні та організаційні заходи з охорони праці.

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

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