

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

**Чепіжний А.В.**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ з розробкою навчально-методичного комплексу для проведення віртуальних експериментів»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Кучер С.В.**  
(Прізвище, ініціали)

Група:

**ЗЕТЕ-2001**

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Барсукова Г.В.**  
(Прізвище, ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

\_\_\_\_\_ **Чепіжний А.В.**

“\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

\_\_\_\_\_ **Кучеру Сергію Володимировичу** \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ з розробкою навчально-методичного комплексу,

керівник роботи: Барсукова Ганна Володимирівна, канд. техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року  
№ \_\_\_\_\_

2. Строк подання здобувачем роботи: “\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали з технічного обслуговування електрообладнання електролабораторії, організації процесів у навчально-методичного комплексу, автоматизації процесів, технічна література, нормативна документація, державні стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, огляд літератури та аналіз існуючих рішень, технологічна частина, проєктування реконструкції навчальної електролабораторії, реалізація експериментальних досліджень в онлайн та офлайн режимах, питань з охорони праці, техніко-економічні розрахунки та показники проєкту, висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Проектована лабораторія. Схема електрична структурна;

Зв'язок елементів дослідження. Схема електрична функціональна;

Схема функціональна досліджень в електролабораторії. Схема електрична функціональна;

Освітлення електролабораторії. Схема електрична розташування;

Сонячна електростанція. Схема електрична структурна.

**6. Консультанти розділів роботи:**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Семерня О.В., ст. викладач		
Економічне обґрунтування	Шашков С.В., к.е.н., ст. викладач		
Нормоконтроль	Чепіжний А.В. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: «05» вересня 2025 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	12.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	02.10.2024 р. – 02.12.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	02.10.2024 р. – 02.12.2024 р.	
4.	Написання вступу	04.12.2024 р. – 09.12.2024 р.	
5.	Підготовка розділу 1	11.12.2024 р. – 21.12.2024 р.	
6.	Підготовка розділу 2	05.02.2025 р. – 02.03.2025 р.	
7.	Підготовка розділу 3	04.03.2025 р. – 06.04.2025 р.	
8.	Підготовка розділу 4, 5	08.04.2025 р. – 04.05.2025 р.	
9.	Підготовка розділу 6, 7	06.05.2025 р. – 11.05.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	11.05.2025 р. – 12.05.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Кучер С.В.**

(прізвище та ініціали)

**Керівник**

**кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Барсукова Г.В.**

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційний (бакалаврський) проєкт складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел. Роботу викладено на 59 аркушах друкованого тексту формату А4 та графічного матеріалу на 5 аркушах формату А4.

*Метою* даної роботи є розробка проєкту реконструкції навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ шляхом впровадження віртуальних експериментів. Це спрямовано на покращення якості навчання здобувачів вищої освіти та розширення їхніх можливостей у засвоєнні теоретичного матеріалу і набутті практичних навичок.

Для досягнення поставленої мети передбачається виконання ряду взаємопов'язаних завдань:

- проєктування оновленої структури лабораторії з урахуванням можливостей віртуальних експериментів;
- проведення аналізу існуючого обладнання та визначення необхідності його модернізації або доповнення;
- розробка методичного комплексу для проведення віртуальних лабораторних робіт;
- безпосереднє створення віртуальних експериментів, що імітують реальні процеси та явища в галузі енергетики та електротехнічних систем.

*Ключові слова:* електрична енергія, сонячна панель, здобувачі вищої освіти, електрична лабораторія, реконструкція, дистанційний навчальний процес, блекаут, віртуалізація, експерименти, лабораторні роботи, методичний комплекс, ефективність, якість підготовки фахівців.

## ABSTRACT

The qualification (bachelor's) project consists of an introduction, 6 chapters, conclusions, a list of sources used. The work is presented on 59 sheets of printed text in A4 format and graphic material on 5 sheets of A4 format.

*The purpose* of this work is to develop a project for the reconstruction of the educational electrical laboratory of the Department of Power Engineering and Electrical Systems of Sumy National University by introducing virtual experiments. This is aimed at improving the quality of education of higher education students and expanding their opportunities in mastering theoretical material and acquiring practical skills.

To achieve the set goal, it is planned to perform a number of interrelated *tasks*:

- design of an updated laboratory structure taking into account the capabilities of virtual experiments;
- conduct an analysis of existing equipment and determine the need for its modernization or addition;
- develop a methodological complex for conducting virtual laboratory work;
- direct creation of virtual experiments that simulate real processes and phenomena in the field of energy and electrical systems.

*Keywords:* electric energy, solar panel, higher education students, electrical laboratory, reconstruction, distance learning process, blackout, virtualization, experiments, laboratory work, methodological complex, efficiency, quality of training of specialists.





## ВСТУП

Сучасний етап розвитку освіти характеризується стрімким зростанням вимог до цифровізації та необхідністю інтеграції новітніх технологій у навчальний процес. Реконструкція навчальних електролабораторій та створення навчально-методичних комплексів для віртуальних експериментів набуває особливої актуальності в контексті підготовки висококваліфікованих фахівців у галузі енергетики та електротехнічних систем. Як зазначається в описі поточної навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ, наявне обладнання відіграє важливу роль у підготовці здобувачів вищої освіти та навіть використовується як виробниче устаткування, зокрема системи альтернативної енергетики під час «блекаутів». Однак, для забезпечення якісної підготовки, що відповідає сучасним вимогам, необхідна модернізація та впровадження інноваційних підходів, таких як віртуальні експерименти, що дозволить розширити можливості навчання та підвищити його ефективність.

Основною *метою* даної дипломної роботи є розробка проекту реконструкції навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ шляхом впровадження віртуальних експериментів. Це спрямовано на покращення якості навчання здобувачів вищої освіти та розширення їхніх можливостей у засвоєнні теоретичного матеріалу і набутті практичних навичок.

Для досягнення поставленої мети передбачається виконання ряду взаємопов'язаних *завдань*:

- проектування оновленої структури лабораторії з урахуванням можливостей віртуальних експериментів;
- проведення аналізу існуючого обладнання та визначення необхідності його модернізації або доповнення;

- розробка методичного комплексу для проведення віртуальних лабораторних робіт;
- безпосереднє створення віртуальних експериментів, що імітують реальні процеси та явища в галузі енергетики та електротехнічних систем.

*Об'єктом* даного дослідження виступає навчальна електролабораторія кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського національного аграрного університету.

*Предметом* дослідження є процес реконструкції даної лабораторії шляхом інтеграції віртуальних експериментів у навчальний процес з метою підвищення його ефективності та якості підготовки майбутніх фахівців.

Для досягнення поставленої мети та вирішення визначених завдань у дипломній роботі буде застосовано комплекс науково-дослідницьких методів.

Основними методами стануть методи технічного проєктування, що включають розробку структурних та функціональних схем оновленої лабораторії та віртуальних експериментів. Також буде використано метод розробки віртуальних моделей, що передбачає створення імітаційних програмних продуктів, які відтворюють реальні експериментальні установки та процеси. Важливу роль відіграватиме аналіз педагогічних методик для визначення найбільш ефективних способів інтеграції віртуальних експериментів у навчальний процес. Крім того, передбачається створення відповідного програмного забезпечення, необхідного для функціонування віртуальних лабораторій. На завершальному етапі буде проведено порівняльний аналіз ефективності традиційного та віртуального навчання з метою оцінки переваг та потенційних обмежень запропонованого підходу.

## ГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

### *Огляд наукових досліджень*

Сучасні тенденції технічної освіти акцентують увагу на інтеграції інноваційних методів навчання, зокрема віртуальних експериментів, які стають невід'ємною частиною підготовки майбутніх інженерів. Дослідження [1] демонструє, що використання віртуальних лабораторій дозволяє здобувачам вищої освіти моделювати складні технологічні процеси, такі як оптимізація енергетичних систем або аналіз стабільності мереж, без необхідності фізичного доступу до спеціалізованого обладнання. Такий підхід не лише знижує вартість навчання, але й забезпечує безпеку здобувачів вищої освіти при роботі з високовольтними пристроями. Важливим аспектом є також можливість повторення експериментів у різних умовах, що сприяє глибшому засвоєнню теоретичних знань.

У контексті альтернативної енергетики ключову роль відіграють роботи, спрямовані на поєднання реальних та віртуальних експериментальних методів. Наприклад, дослідження [2] доводять, що комбінація фізичних лабораторних стендів із симуляційними платформами, такими як MATLAB або LabVIEW, суттєво підвищує ефективність навчання. Автори аналізують випадки, коли студенти, працюючи з моделями сонячних електростанцій у середовищі Simulink, отримували можливість порівнювати результати симуляцій із даними, знятими з реальних панелей. Це дозволяє не тільки візуалізувати теоретичні концепції, але й розвивати критичне мислення через аналіз розбіжностей між ідеальними моделями та практичними умовами.

Окрему увагу науковців приділено адаптації освітніх програм до вимог Четвертої промислової революції (Industry 4.0). [3] у своїй роботі зазначає, що сучасні інженерні спеціальності вимагають володіння навичками роботи з

інтелектуальними мережами, IoT-пристроями та системами керування на основі штучного інтелекту. Автор наголошує, що традиційні лабораторії, орієнтовані на аналогове обладнання, не відповідають цим викликам, що змушує університети впроваджувати гібридні формати. Наприклад, у рамках проєктів, пов'язаних із розподіленою генерацією енергії, здобувачі вищої освіти вчаться інтегрувати дані з реальних датчиків у хмарні платформи для аналізу в режимі реального часу. Це не лише розширює їхні технічні компетенції, але й готує до роботи в умовах динамічно змінюючогося ринку енергетики.

Крім того, дослідження [4] вказують на психологічні аспекти використання віртуальних лабораторій. Вони доводять, що інтерактивні симуляції збільшують мотивацію здобувачів вищої освіти за рахунок гейміфікації навчального процесу. Наприклад, системи, які надають миттєвий зворотний зв'язок або дозволяють змагатися в ефективності рішень, стимулюють активнішу участь у заняттях. Однак автори застерігають, що повна заміна реальних експериментів віртуальними може призвести до втрати практичних навичок, тому оптимальним вважається поєднання обох підходів.

Таким чином, наукові дослідження останніх років підкреслюють, що модернізація навчальних лабораторій має ґрунтуватися на балансі між інноваційними технологіями та традиційними методами. Це дозволяє забезпечити всебічну підготовку фахівців, здатних ефективно працювати як з віртуальними моделями, так і з фізичними системами, що особливо актуально для галузі альтернативної енергетики.

## *1.2. Аналіз існуючих віртуальних лабораторій*

Сучасний розвиток віртуальних лабораторій у галузі енергетики та електротехніки базується на інтеграції програмних симуляційних платформ із навчальним процесом. Одним із провідних інструментів є MATLAB/Simulink, який дозволяє створювати детальні моделі енергетичних систем, включаючи сонячні електростанції, вітрогенератори та інтелектуальні мережі. Завдяки можливостям аналізу стабільності, оптимізації параметрів і тестування алгоритмів керування, ця платформа стала стандартом для академічних досліджень. Наприклад, у роботах [5] показано, як здобувачі вищої освіти використовують Simulink для порівняння ідеальних моделей сонячних панелей із реальними даними, що сприяє кращому розумінню впливу зовнішніх факторів (наприклад, затеніння або температурних коливань) на ефективність систем.

LabVIEW займає особливе місце серед інструментів для створення гібридних лабораторій. Його інтерактивні інтерфейси дозволяють об'єднувати віртуальні експерименти з фізичними пристроями, такими як датчики струму чи напруги. Це відкриває можливість студентам аналізувати реальні сигнали у реальному часі, наприклад, досліджувати динаміку зарядки акумуляторів у системах резервного живлення. Проте, як зазначає [6], LabVIEW вимагає глибокого знання програмування, що може ускладнювати його використання на початкових етапах навчання.

Для симуляції електричних кіл широко застосовується PSpice. Ця платформа дозволяє моделювати складні схеми, включаючи компоненти альтернативної енергетики, та аналізувати їх поведінку в різних режимах. Навчальні заклади часто використовують PSpice для демонстрації принципів роботи інверторів або систем захисту від перенапруг. Однак основним недоліком є відсутність прямої інтеграції з реальними пристроями, що обмежує можливість практичного застосування отриманих моделей.

Онлайн-платформи, такі як PhET Interactive Simulations або Coursera Lab, пропонують готові модулі для дослідження основ альтернативної енергетики. Наприклад, симуляції сонячних панелей у PhET дозволяють змінювати кут падіння сонячного проміння та спостерігати за зміною вихідної потужності. Такі інструменти особливо корисні для дистанційного навчання, оскільки не вимагають установки додаткового ПЗ. Проте, як вказують [7], подібні платформи часто мають обмежену глибину аналізу і не дозволяють імпортувати власні дані, що звужує їхній освітній потенціал.

Прикладом успішної інтеграції віртуальних та реальних експериментів є проєкт Smart Grid Lab (ETH Zurich). Тут здобувачі вищої освіти аналізують дані з реальних сонячних панелей через хмарні сервіси, використовуючи MATLAB для моделювання оптимізації енергорозподілу. Такий підхід поєднує теоретичні знання з практичними навичками роботи з великими даними. Однак подібні рішення вимагають значних інвестицій у обладнання та інфраструктуру, що є перешкодою для багатьох університетів.

Загалом, аналіз існуючих віртуальних лабораторій свідчить про значний прогрес у сфері цифрових технологій для освіти. Проте ключовим викликом залишається відсутність універсальних рішень, які б поєднували доступність, інтерактивність та можливість роботи з реальним обладнанням. Це створює потребу в розробці гібридних систем, де віртуальні моделі доповнюються фізичними експериментами, що особливо актуально для підготовки фахівців у галузі альтернативної енергетики.

### *1.3. Технічні рішення для реконструкції лабораторій*

Реконструкція навчальних лабораторій, зокрема лабораторії альтернативної енергетики Сумського НАУ, вимагає цілеспрямованих технічних рішень, що відповідають як загальним тенденціям інтеграції віртуальних експериментів у технічну освіту (як зазначено у розділі 1.1), так і конкретним потребам, виявленим під час аналізу (розділ 2.2). Виявлені недоліки, такі як застарілі контрольно-вимірювальні прилади [8, 9], фізичні обмеження доступу до обладнання (наприклад, розмежування сонячних панелей та щита керування [10, 11], та невідповідна електропроводка [12, 13], диктують необхідність впровадження сучасних апаратних та програмних комплексів для створення ефективного гібридного навчального середовища.

*Метою* є не лише оновлення матеріальної бази, а й забезпечення можливостей для проведення експериментів, що поєднують реальні установки з віртуальними інструментами аналізу та керування.

Ключовим апаратним рішенням у рамках запропонованої реконструкції (розділи 3 та 4) є модернізація парку контрольно-вимірювальних приладів. Це передбачає заміну застарілих окремих приладів [14] на сучасні багатофункціональні інструменти, такі як цифрові струмовимірювальні кліщі (напр., PROTESTER PM2203 [15], здатні одночасно вимірювати напругу, струм, частоту, потужність та інші параметри [16, 17], а також спеціалізовані датчики, необхідні для дослідження систем альтернативної енергетики. Сюди входять люксметри, безконтактні тахометри (напр., PCE-DT50 [18], осцилографи, тепловізори, та комплексні метеодатчики (напр., WH65 [19] для вимірювання параметрів довкілля, що безпосередньо впливають на роботу сонячних та вітрових установок [20, 21, 22].

Важливим аспектом є вибір приладів, що підтримують цифрову передачу даних.

Програмна складова та інтерфейси з реальними пристроями реалізуються через інтеграцію вимірювального обладнання з комп'ютерними системами та мережевими технологіями. Технічні рішення, описані в розділах 3.3 та 4, роблять акцент на використанні приладів з можливістю Wi-Fi з'єднання [23] та спеціалізованого програмного забезпечення [24]. Це дозволяє не лише відображати вимірні показники на екранах комп'ютерів чи смартфонів [25], але й автоматично реєструвати дані, будувати графіки та діаграми в реальному часі [26, 27], а також потенційно зберігати їх на хмарних серверах (напр., [ecowitt.net](http://ecowitt.net) [28] для подальшого аналізу. Такий підхід створює «віртуальний шар» поверх фізичного експерименту, дозволяючи здобувачам вищої освіти проводити глибокий аналіз даних та спостерігати за процесами дистанційно, що відповідає концепції поєднання реальних та віртуальних методів, обговорюваній у розділі 1.1.

Хоча основний фокус реконструкції лабораторії Сумського НАУ спрямований на інструментальне оснащення фізичних стендів та забезпечення дистанційного доступу до даних, класичні платформи для симуляцій, згадані в розділі 1.2, залишаються актуальними. Зібрані за допомогою нових приладів реальні дані (наприклад, вольт-амперні характеристики сонячних панелей за різних умов освітленості [29], параметри вітроустановки [30], дані метеостанції [31] можуть бути використані в середовищах MATLAB/Simulink для валідації теоретичних моделей, порівняння симуляцій з реальністю [21], або для розробки та тестування алгоритмів керування енергетичними системами. LabVIEW може слугувати платформою для створення більш складних інтерактивних інтерфейсів керування стендами та візуалізації даних, інтегруючи сигнали від Wi-Fi датчиків. PSpice залишається корисним для детального моделювання суто електричних компонентів систем (інверторів, схем захисту) [з розділу 1.2].

#### *1.4. Висновки до розділу 1*

Проведений у першому розділі огляд наукових досліджень, аналіз існуючих віртуальних лабораторій та технічних рішень для їх реконструкції дозволяє зробити наступні висновки.

По-перше, сучасна технічна освіта, особливо в галузі альтернативної енергетики, потребує модернізації навчальних лабораторій шляхом інтеграції інноваційних підходів (розділ 1.1). Наукові дослідження [20, 21] підтверджують ефективність використання віртуальних експериментів для моделювання складних систем, підвищення безпеки та поглиблення теоретичних знань, однак наголошують на важливості збереження балансу з реальними практичними навичками, що робить гібридний підхід оптимальним.

По-друге, аналіз існуючих програмних продуктів та платформ (розділ 1.2) показав наявність широкого спектру інструментів для створення віртуальних та гібридних лабораторій, таких як MATLAB/Simulink, LabVIEW, PSpice та різноманітні онлайн-симулятори. Кожен з цих інструментів має свої переваги та недоліки щодо можливостей моделювання, інтеграції з реальним обладнанням, складності використання та глибини аналізу. Було встановлено, що універсального рішення, яке б повністю задовольняло всі освітні потреби, не існує, що підкреслює необхідність вибору конкретних технічних засобів залежно від поставлених завдань та ресурсів.

По-третє, розгляд технічних рішень для реконструкції (розділ 1.3), зокрема в контексті модернізації лабораторії альтернативної енергетики Сумського НАУ, виявив конкретні шляхи подолання існуючих проблем [15, 16]. Запропонований підхід базується на впровадженні сучасних багатофункціональних вимірювальних приладів з можливістю цифрової передачі даних [17, 18], використанні Wi-Fi технологій для зв'язку та дистанційного доступу [19, 20], а також застосуванні спеціалізованого програмного

забезпечення для збору, візуалізації та аналізу даних з реальних установок [10, 15]. Цей підхід дозволяє створити гібридне середовище, де фізичні експерименти доповнюються потужними інструментами віртуального аналізу та моніторингу.

Таким чином, огляд літератури та аналіз існуючих рішень підтверджують, що ефективна модернізація навчальних лабораторій у сфері альтернативної енергетики має ґрунтуватися на гібридному підході, що поєднує переваги реальних експериментів та віртуальних технологій. Вибір конкретних апаратних та програмних рішень, як показано на прикладі запланованої реконструкції лабораторії Сумського НАУ, повинен бути спрямований на створення гнучкого, доступного та функціонального навчального середовища, яке забезпечує всебічну підготовку фахівців, здатних вирішувати сучасні інженерні завдання.

## НАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ТА ЇЇ ПРОБЛЕМИ

### 2.1. Опис поточного стану навчальної електролабораторії

В лабораторії альтернативної енергетики кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ є різного роду обладнання. За рахунок використання такого обладнання в навчальному процесі відбувається якісна підготовка здобувачів ступенів вищої освіти «Бакалавр» та «Магістр». Крім того, варто зауважити, що обладнання також використовується і у ролі виробничого устаткування. Зокрема, необхідно підкреслити використання систем альтернативної енергетики. Такі системи є вагомим обладнанням у моменти вимикання світла, тобто блекаутів, а також у ролі постійного пункту незламності на інженерно-технологічному факультеті.

До обладнання, наявного в даній лабораторії відноситься:

- сонячна панель MONO SOLAR MODULE 250W-S;
- сонячна електростанція із сумарною загальною потужністю 2 кВт (4 модулі по 500 Вт кожен)
- сонячний колектор марки Altek;
- мінімодель вітроенергетичної установки вертикально-осьового типу;
- комп'ютерне обладнання (системний блок, монітор, клавіатура та інше).

Перераховане обладнання використовується як у навчальних, так і виробничих цілях. Зокрема, друга перерахована одиниця – сонячна електростанція з загальною потужністю 2 кВт слугує у ролі пункту незламності. Також, дане обладнання може бути використаним в наукових цілях з метою проведення експериментальних досліджень із системами альтернативної енергетики або джерелами енергії в цілому.



Рисунок 2.1. Загальний вигляд лабораторії альтернативної енергетики ауд. 201М  
Сумського НАУ

Нижче доцільно було б представити перераховане обладнання, що наявне в лабораторії. Слід підкреслити, що кожна з указаних одиниць лабораторії має свої структурні елементи. Зокрема сонячна електростанція має свій щит керування, де зосереджено такі структурні елементи:

- сонячна електростанція (4 модулі по 500 Вт кожен, розміщені поруч з лабораторією аудиторії 201М на даху першого поверху корпусу інженерно-технологічного факультету);
- інвертор;
- акумуляторна батарея;
- щит керування, до якого входять автоматичні вимикачі, пристрій автоматичного ввімкнення резерву (АВР), перемикач навантаження, реле напруги;

- запобіжник.



Рисунок 2.2. Сонячна електростанція лабораторії альтернативної енергетики

Нижче, на рисунку 2.3, представлено основні структурні елементи сонячної електростанції, що входять до її складу. Інвертор, автоматичні вимикачі, реле напруги, пристрій АВР зосереджено поруч в двох щитах. Акумуляторна батарея та запобіжник знаходять окремо по відповідним місцям розташування.

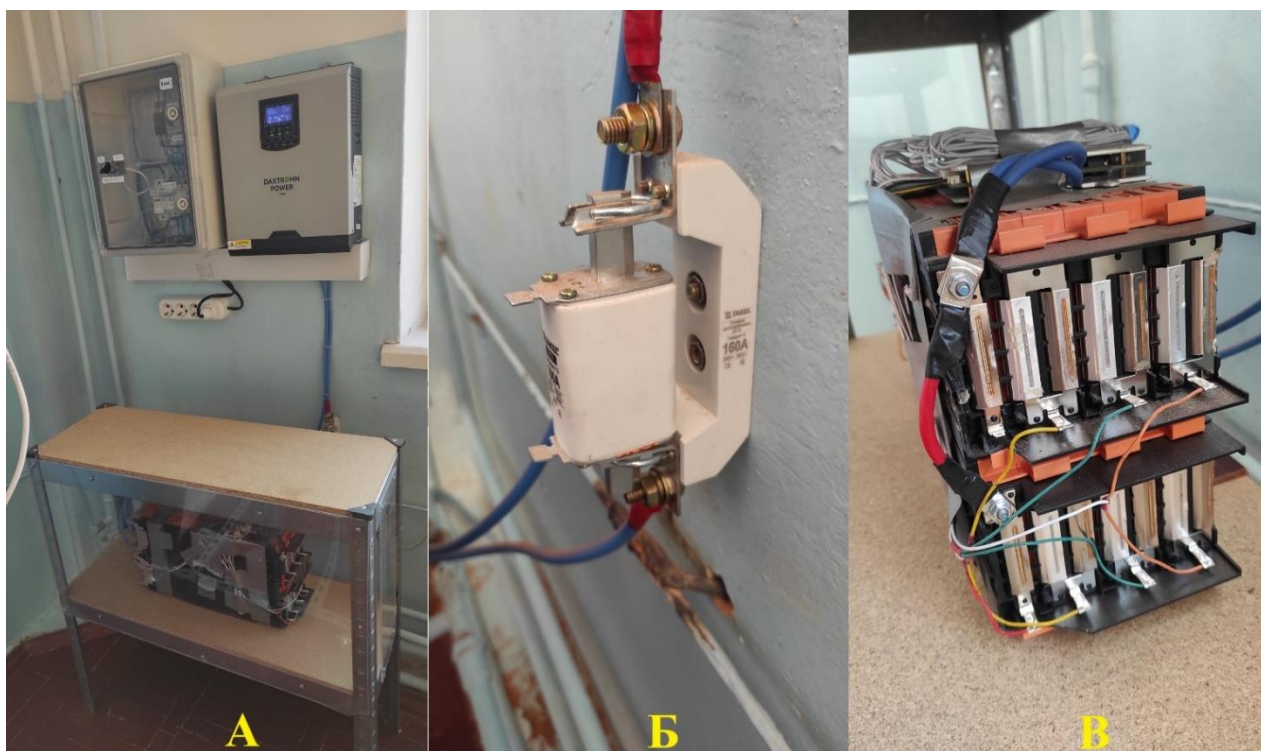


Рисунок 2.3. Структурні елементи сонячної електростанції. А – пост керування;  
Б – запобіжник; В – акумуляторна батарея

Інше обладнання в лабораторії має також свої структурні елементи. Зокрема, вітроенергетична установка комплектується кількома видами лопатей. Їх доцільно використовувати з метою порівняння аеродинамічних показників вітроенергетичних установок. Особливо актуальним це є з точки зору, що дана вітроенергетична установка є вертикально-осьового типу. Цим забезпечується відсутність потреби в старті та напрямку вітру для вітряка. А це важливо з точки зору географічного розташування даного регіону електропостачання, де вітрова енергія характеризується роботою в зоні малих швидкостей вітру.

Також, на рисунку 2.4 представлено сонячний колектор Altek, що наявний в лабораторії та сонячну панель MONO SOLAR MODULE 250W-S. Остання має потужність 250 Вт за максимальних струму 9,1А та напруги 38,3В. Габаритні розміри сонячної панелі складають 1650 мм·992 мм·45 мм. Серед структурних елементів даної панелі також наявні автоматичний вимикач, акумуляторна батарея, інвертор. Панель укомплектовано додатковими коліщатами з метою обертання панелі в потрібний бік та наочного її огляду здобувачами та науково-педагогічними персоналом під час проведення лабораторно-практичних занять. Також на даній сонячній панелі наявні засоби освітлення, що можуть слугувати одразу з метою як додаткового освітлення робочої поверхні панелі, що є корисним при огляді її здобувачами, так і з метою створення штучного освітлення на поверхні сонячної панелі для визначення вольт-амперних характеристик установки при експериментальних дослідженнях. Останні є можливість проводити як у ході лабораторно-практичних робіт, так і з метою наукових досліджень.



Рисунок 2.4. Інше обладнання лабораторії альтернативної енергетики

## 2.2. Оцінка недоліків поточного стану лабораторії

Основними з недоліків функціонування лабораторії альтернативної енергетики можна вважати ряд особливостей.

Першу групу з них слід виокремити з точки зору розташування набору структурних елементів один відносно одного. Прикладом цьому може слугувати розташування щита керування сонячною установкою окремо від сонячних панелей. Точніше, мова іде про обмеженість в відкритому доступі здобувача та науково-педагогічного працівника одночасно як до щита керування, так і до сонячних панелей. Розмежування даних структурних елементів відбувається за рахунок встановленого вікна в лабораторії.

Також важливо відмітити стан підлоги, стін, та стелі в лабораторії. Це ж саме стосується і згаданого в попередньому абзаці вікна, за рахунок якого

унемоżliвлюється одночасний доступ здобувача як до модулів сонячної електростанції, так і до електричного щита керування нею. Проводка, яку прокладено в лабораторії, є також застарілою і в певній мірі не може цілковито забезпечити функціонування усіх необхідних пристроїв. Головним чином, це стосується виконання розеток, де переважна більшість вилок сучасного електроустаткування не є можливості підключити.

Другу групу недоліків у функціонуванні лабораторії альтернативної енергетики слід виокремити з точки зору наявності застарілого обладнання, зокрема, контрольно-вимірювальних приладів. Або, навіть, мову можна вести про відсутність окремого обладнання, що є необхідним у ході виконання лабораторно-практичних занять та наукової діяльності викладацького складу кафедри. До таких пристроїв необхідно віднести:

- люксометр;
- тахометр;
- амперметр постійного струму;
- амперметр змінного струму;
- вольтметр постійного струму;
- вольтметр змінного струму;
- омметр;
- тестер;
- комп'ютерне обладнання;
- відповідне програмне забезпечення;
- осцилограф;
- тепловізор;
- інше.

З перерахованого обладнання частина наявного є досить застарілим. Зокрема, якщо вести мову про тахометр, то наявним у ході виконання лабораторно-практичних робіт є тахометр магнітно-індукційний ТЕ-4В

виробництва часів СРСР. Також, функції амперметрів та вольтметрів, а також омметра сьогодні виконують тестери або кліщі. Однак, вагомим недоліком під час проведення експериментальних досліджень є відображення на табло даного пристрою лише одного обраного показника. Чи то сили струму, чи то напруги, або ж опору. Наявність одразу кожного з перерахованих контрольно-вимірювальних приладів значним чином би спростила виконання здобувачами дослідів з одночасним виконанням їх функціональних особливостей окремо один від одного.



Рисунок 2.5. Недоліки лабораторії

### *2.3. Визначення вимог до реконструкції, необхідних для інтеграції новітніх технологій, включаючи віртуалізацію експериментів*

З метою проведення необхідного комплексу експериментів з альтернативної енергетики та джерел енергії доцільною є реконструкція існуючої кімнати лабораторії. Під такою реконструкцією маються на увазі:

- ремонт кімнати;
- укомплектування лабораторії відповідним обладнанням та контрольно-вимірювальними пристроями;
- встановлення інформаційних вивісок, плакатів, стендів тощо;
- виконання заходів з покращення безпеки для людини, що знаходиться в лабораторії.

Ремонтні роботи в кімнаті лабораторії мають на меті, перш за все, ремонту підлоги, стелі, стін. Окремо необхідно виокремити розмежування вікна з розташованими поруч дверима. Останнім забезпечуватиметься можливість одночасного доступу здобувача та науково-педагогічного персоналу як до сонячної електростанції, так і до щита керування нею, розміщеного безпосередньо в кімнаті.

Встановлення інформаційних стендів та вивісок значним чином полегшить вивчення здобувачами різного роду інформації щодо будови та функціонування систем альтернативної енергетики. А наявність нового інструменту і контрольно-вимірювальних приладів забезпечить повний цикл проведення експериментального дослідження.

Останнім з указаних заходів також є можливість підкреслити відвідування лабораторії абітурієнтами, що можуть бути потенційними майбутніми здобувачами Сумського НАУ зі спеціальності 141 «Електроенергетики, електротехніка та електромеханіка».

## *Висновки до розділу 2*

Таким чином, у ході виконання другого розділу представлено стан лабораторії альтернативної енергетики Сумського НАУ. Визначено основні недоліки в її функціонуванні та перераховано можливі варіанти з покращення її стану. Перераховано основне наявне в обладнання в лабораторії, його функціональні особливості та взаємне розташування його одне відносно іншого.

Подальшими кроками в даній роботі доцільним є проєктування реконструкції даної лабораторії та набору обладнання, що є необхідним при її функціонуванні з метою підготовки здобувачів з електроенергетики.

## РОЄКТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОЛАБОРАТОРІЇ

### *3.1. Основні напрямки модернізації лабораторії з урахуванням віртуальних експериментів і сучасних методів навчання*

Реконструкція лабораторії альтернативної енергетики включає в себе два основні напрямки, перераховані в розділі 2. Такими напрямками є заходи з покращення умов праці та доступу здобувачів до усіх структурних елементів одночасно, а також набору контрольно-вимірювальних приладів.

Під концепцією реконструкції лабораторії, що належить до першої групи недоліків, основне місце посідає виокремлення вікна та дверей до балкону, де знаходяться модулі сонячної електростанції. Модель такої реконструкції зображено на рисунку 3.1.

Реконструкція електропроводки в лабораторії альтернативної енергетики має подвійний характер. Першим, що необхідно виокремити, є існуюча мережа, від якої живлять за звичайних умов споживачі електричної енергії. Це мережа змінного струму 220В. Джерелом електричної енергії є трансформаторна підстанція, розташована на території Сумського НАУ. Другою є мережа від альтернативних джерел енергії. Головним чином, як було вказано вище, це джерелом сонячної електростанції, що складається з чотирьох модулів та входить до складу устаткування лабораторії. Одночасно із цим, за умови вимкнення світла дана система використовується з пункт незламності та джерело електричної енергії.

Слід зауважити, що це друге джерело електричної енергії ефективно функціонує також в аудиторіях 205М, 207М (аудиторія кафедри енергетики та електротехнічних систем), а також для деканату інженерно-технологічного

факультету. Останній зі споживачів при прокладці проводки є можливість не враховувати по причині передачі електричної енергії ззовні корпусу.

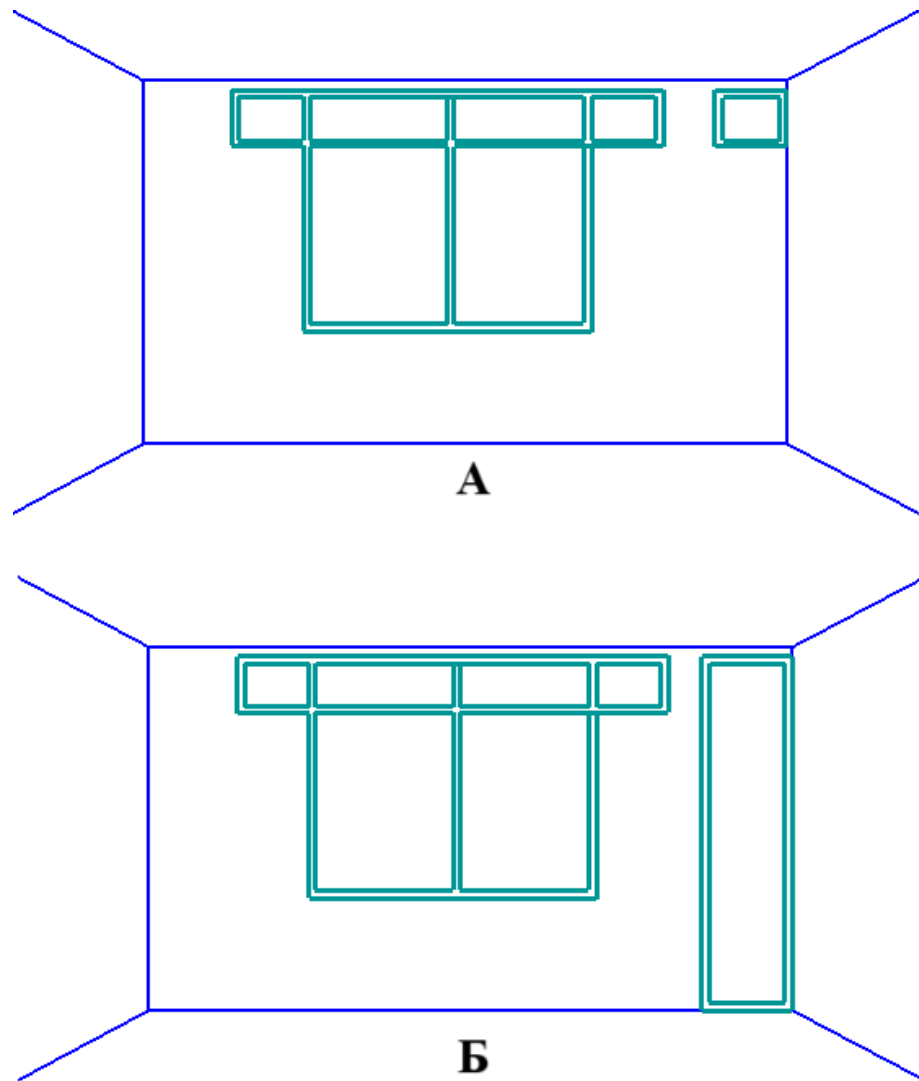


Рисунок 3.1. Реконструкція вікна лабораторії альтернативної енергетики. А – існуюча модель; Б – перспективна модель

За рахунок використання перспективної моделі розташування вікна та дверей для доступу до сонячної електростанції, а також виконання проводки з використанням сучасного набору з'єднувачів проводів, розеток та іншого відповідного обладнання є можливість реалізації віртуальних експериментів та повноцінних досліджень.

### 3.2. Вибір необхідного апаратного та програмного забезпечення для лабораторії для віртуалізації експериментів

Згідно з розділом 2 даної роботи друга група недоліків по функціонуванню лабораторії альтернативної енергетики стосується забезпечення матеріально-технічної бази відповідними інструментами, контрольно-вимірювальними приладами, програмним забезпеченням та іншими засобами для навчання. Основним з перерахованого є устаткування для зняття існуючих показників функціонування системи електропостачання.

Умовно, роботи, що проводяться з системами альтернативної енергетики в даній лабораторії, є можливість розділити за напрямками, умовно давши їм назви:

- сонячні електростанції;
- сонячний колектор;
- вітроенергетична установка.

Тому, відповідне технічне та матеріальне забезпечення для даних напрямків є можливість представити у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Інструменти та забезпечення по напрямкам досліджень в лабораторії альтернативної енергетики

№	Назва пристрою	Відмітка про застосування по напрямку		
		Сонячні електростанції	Сонячний колектор	Вітроенергетична установка
1.	Люксметр	+	+	
2.	Осцилограф	+	+	+
3.	Тахометр			+
4.	Амперметр	+	+	+
5.	Вольтметр	+	+	+
6.	Омметр	+	+	+
7.	Тепловізор	+	+	

8.	Тестер	+	+	+
9.	Комп'ютер	+	+	+
10.	Програмне забезпечення	+	+	+
11.	Споживачі електричної енергії	+	+	+

Використання різного роду сучасного інструменту, зокрема, кліщів і т. п., що є багатофункціональними, дає можливість не лише визначення одночасно кількох параметрів, а і за рахунок відповідного програмного забезпечення:

- показ параметрів на комп'ютері;
- побудова графіків та діаграм щодо зміни процесів в електричній системі, яка досліджується в певний момент.

### *3.3. Інтеграція з реальними лабораторними установками*

Лабораторні дослідження, що можуть проводитися в лабораторії альтернативної енергетики, є можливість поєднувати як дистанційно, так і в офлайн режимі. Якщо вести мову про віртуальні експерименти та одночасно – фізичні установки, то зв'язок між ними є можливість встановлювати за допомогою програмного забезпечення та відповідного інструменту. Знову ж таки, такий інструмент здатен працювати в різних режимах з керуванням та відображенням матеріалів як на власному табло, так і на ПК або смартфоні.



Рисунок 3.2. Засоби дистанційного керування та проведення експериментів

Технології, якими є можливість користуватися, дозволяють за допомогою wi-fi зв'язку керувати процесами з роздачі, передачі та витрати електричної енергії. Цим самим, є можливість прорахунку основних вольт-амперних характеристик системи, яка функціонує в лабораторії. Для прикладу, на рисунку 3.2 зображено розетку з wi-fi керуванням. Перевагами користування таким пристроєм є:

- можливість дистанційного вмикання/вимикання подачі електричної енергії з телефону, у тому числі і з затримкою в часі;
- відображення на телефоні витрати електричної енергії.

Другим з указаних елементів є струмовимірювальні кліщі PROTESTER PM2203. Перевагою даного інструменту є можливість відображення усіх показників системи, які вимірюються, на персональному комп'ютері з відповідним програмним забезпеченням. Цим реалізується поєднання віртуального експерименту зі справжнім, проведеним в лабораторії та можливість обробки отриманих результатів вдома. Серед основного набору по вимірюванню наявні такі функції:

- вимірювання напруги, сили струму та частоти;
- визначення коефіцієнту активної потужності ( $\cos\phi$ );

- визначення споживаної, активної, повної потужності;
- визначення споживаної енергії.

### *3.4. Висновки до розділу 3*

В третьому розділі даної роботи представлено способи реконструкції та покращення стану лабораторії. Серед основного визначено:

- ряд ремонтних робіт в кімнаті, де, головним чином, необхідним є доступ як до модулів сонячної електростанції, так і до щита керування нею;
- набір структурних елементів з технічного і матеріального забезпечення для виконання повного циклу занять по трьом напрямкам – сонячним електростанціям, сонячному колектору, вітроенергетичній установці;
- засоби дистанційного керування та вимірювання системи електропостачання з відображенням даних на телефоні та комп'ютері через wi-fi зв'язок.

## 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОНЛАЙН ТА ОФЛАЙН РЕЖИМАХ

### 4.1. Структурні схеми з керування установками альтернативної енергетики при проведенні лабораторно-практичних занять в лабораторії

Проектування сучасної лабораторії з технологіями, здатними забезпечити дистанційне керування та проведення досліджень в онлайн режимі з системами альтернативної енергетики містить комплексний характер. Першим з перерахованих недоліків існуючої лабораторії було підкреслено відсутність одночасного доступу здобувача як до сонячної електростанції, так і до щита керування нею. В третьому розділі даної роботи запропонованим технічним рішенням була реконструкція кімнати з розміщенням поруч вікна та дверей для виходу на балкон, де розміщено 4 модулі сонячної електростанції. Таке технічне рішення графічно зображено на рисунку 3.1. Однак, з метою проектування цілісної лабораторії, здатної працювати в онлайн та офлайн форматах, таке рішення представлено також на рисунку 4.1. Подальший набір елементів лабораторії буде доповнюватися згідно з обраним типом проектування.

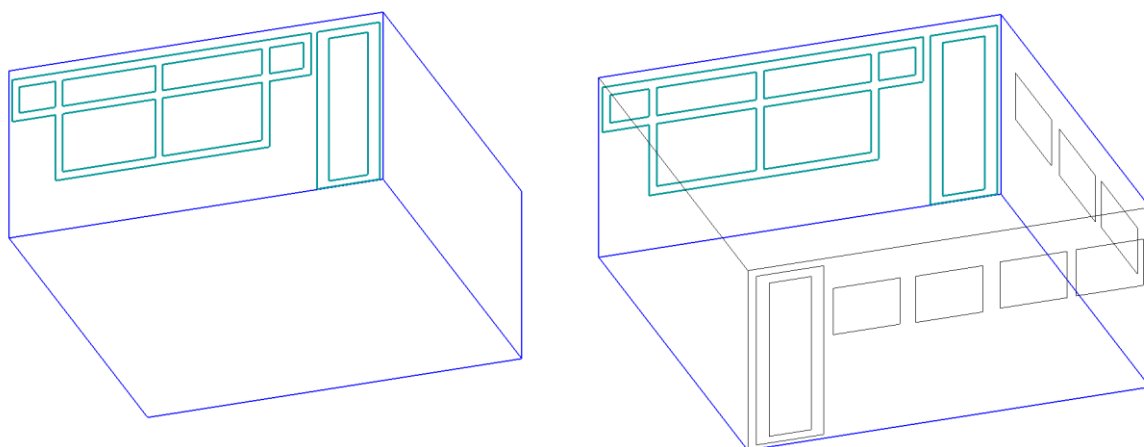


Рисунок 4.1. Проектування реконструкції лабораторії альтернативної енергетики

На рисунку 4.1 представлено одночасно два технічні рішення щодо реконструкції існуючої лабораторії. Перше з них має на меті заміну існуючого вікна на вікно з дверима. Відкритий доступ до модулів сонячної електростанції буде цілком можливим при використанні встановлених дверей в зовнішній стіні корпусу інженерно-технологічного факультету, аудиторії 201М.

Другим технічним рішенням маєтися на меті встановлення додаткових інформаційних стендів, вивісок та плакатів на стінах аудиторії. Дане технічне рішення зображено на правій частині рисунку 4.1.

Подальшими кроками в проектуванні автоматизації функціонування лабораторії альтернативної енергетики обрано встановлення систем безперебійного wi-fi інтернету. Одночасно із цим, набір структурних елементів для зв'язку систем альтернативної енергетики з використанням інтернет-ресурсів включатиме в себе:

- персональні комп'ютери;
- смартфони.

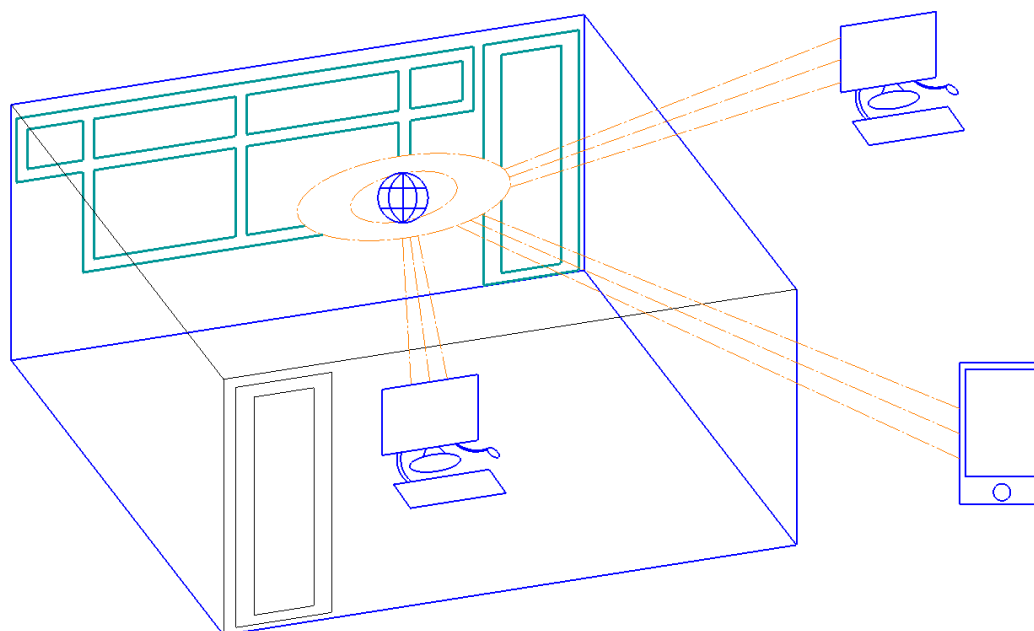


Рисунок 4.2. Реконструкція лабораторії альтернативної енергетики з використанням wi-fi ресурсів

Зі схеми рисунку 4.2 слід підкреслити, що доступ до інформаційних ресурсів щодо воль-амперних характеристик та роботи систем альтернативної енергетики матимуть одночасно усі користувачі, у кого буде доступ до такого серверу. Тобто відображення діючих показників струму, напруги, освітленості, опору, частоти та інших є можливість спостерігати вдома в телефоні або на персональному комп'ютері з використанням:

- інтернет-зв'язку;
- відповідного програмного забезпечення, встановленого на носіях користувачів, якими здійснюється відповідний контроль за системами.

Живлення інтернет-ресурсів є можливість здійснювати як за традиційною схемою – від загального джерела живлення, що розташоване на території університету – від трансформаторної підстанції, так і від систем альтернативної енергетики. Останнім забезпечується вмикання автоматично за рахунок використання пристрою автоматичного включення резерву. Таке відбувається у разі вимкнення основного джерела живлення для споживачів електричної енергії.

Набір структурних елементів систем альтернативної енергетики залишається незмінним і включає в себе:

- 2 сонячні електростанції, 1 з яких розміщена всередині аудиторії, інша – на вулиці, поруч з аудиторією;
- вітроенергетичну установку вертикально-осьового типу;
- сонячний колектор.

Основні з перерахованих елементів, від яких здійснюється зняття показників струму, напруги, температури, опору, частоти, показано при проектуванні реконструкції лабораторії на рисунку 4.3.

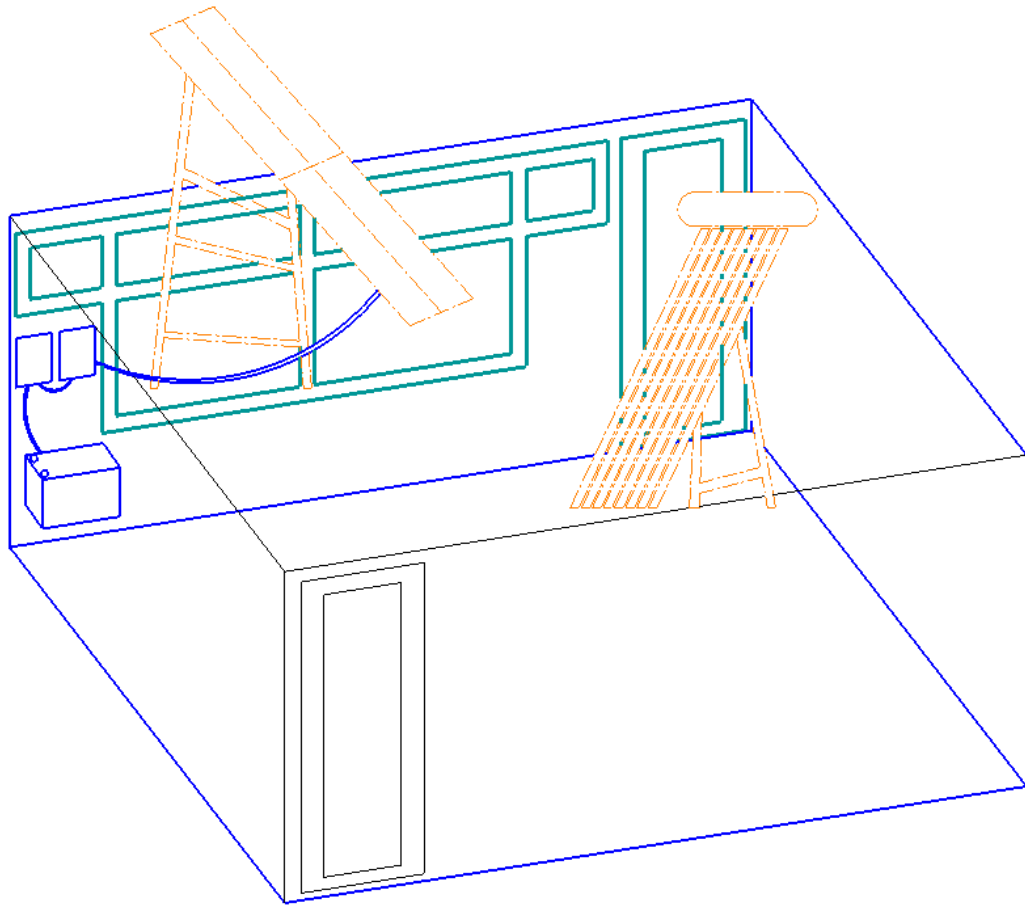


Рисунок 4.3. Системи альтернативної енергетики лабораторії

Цілісну структурну схему для спроектованої реконструкції лабораторії альтернативної енергетики є можливість представити на рисунку 4.4. Дана схема одночасно включає в себе кілька технологічних рішень, серед яких:

- встановлення додаткових дверей в аудиторії лабораторії;
- систему інтернет-ресурсів;
- пристрої користувачів для доступу до інформації щодо роботи електроустановок;
- системи альтернативної енергетики.

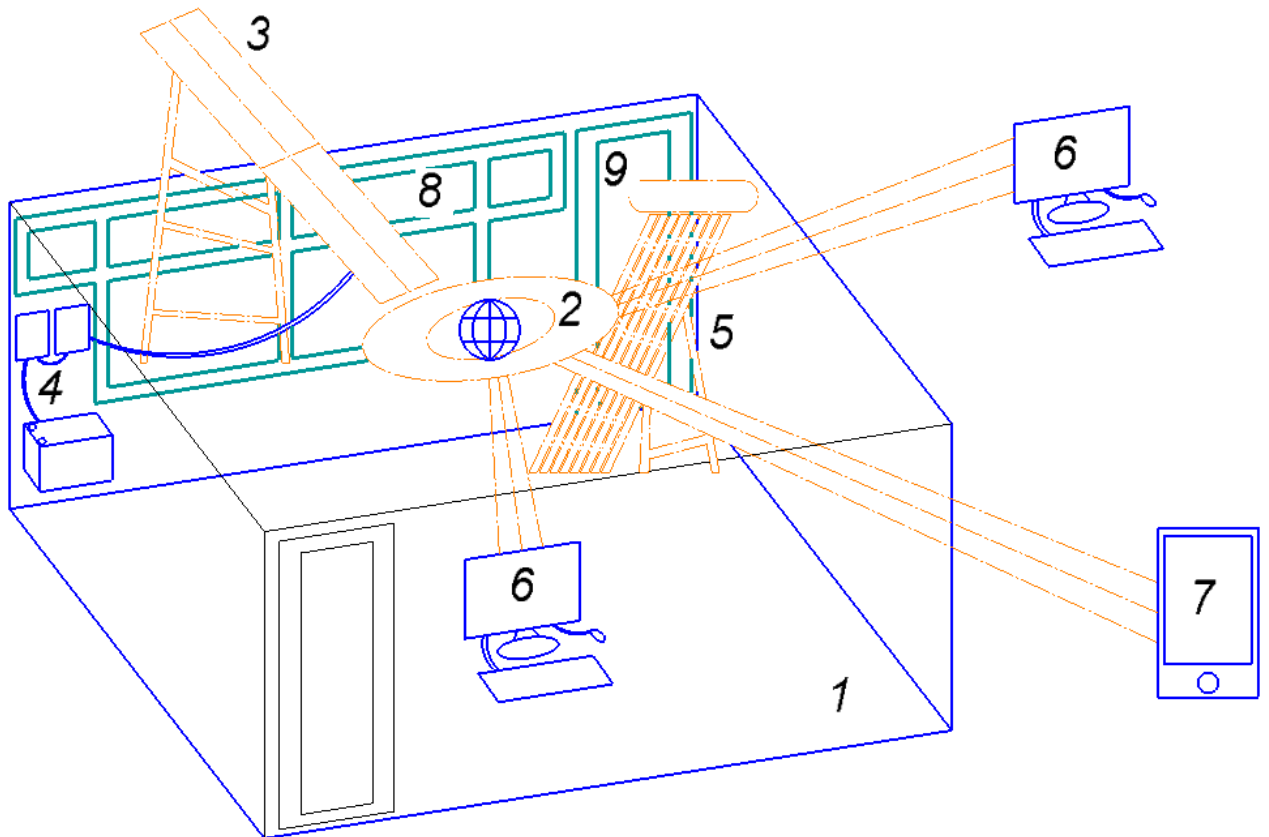


Рисунок 4.4. Структурна схема проектованої лабораторії альтернативної енергетики.

1 – приміщення лабораторії; 2 – джерело інтернет-ресурсів; 3 – сонячна електростанція; 4 – щит керування СЕС; 5 – сонячний колектор; 6 – персональні комп'ютери; 7 – смартфон; 8 – вікно; 9 – двері

Таким чином, представлений набір структурних елементів реконструкції лабораторії дає можливість дистанційного контролю за системами альтернативної енергетики, так і роботи з ними безпосередньо в аудиторії.

#### 4.2. Методика проведення експериментальних досліджень

Згідно з трьома обраними вище напрямками проведення експериментальних досліджень у ході проведення лабораторно-практичних занять доцільно розглянути методики по їх реалізації. Сонячні електростанції вважаються другими за поширення джерелами резервного живлення для споживачів. Тому, доцільно було б зупинитися на проведенні експериментів саме з ними.

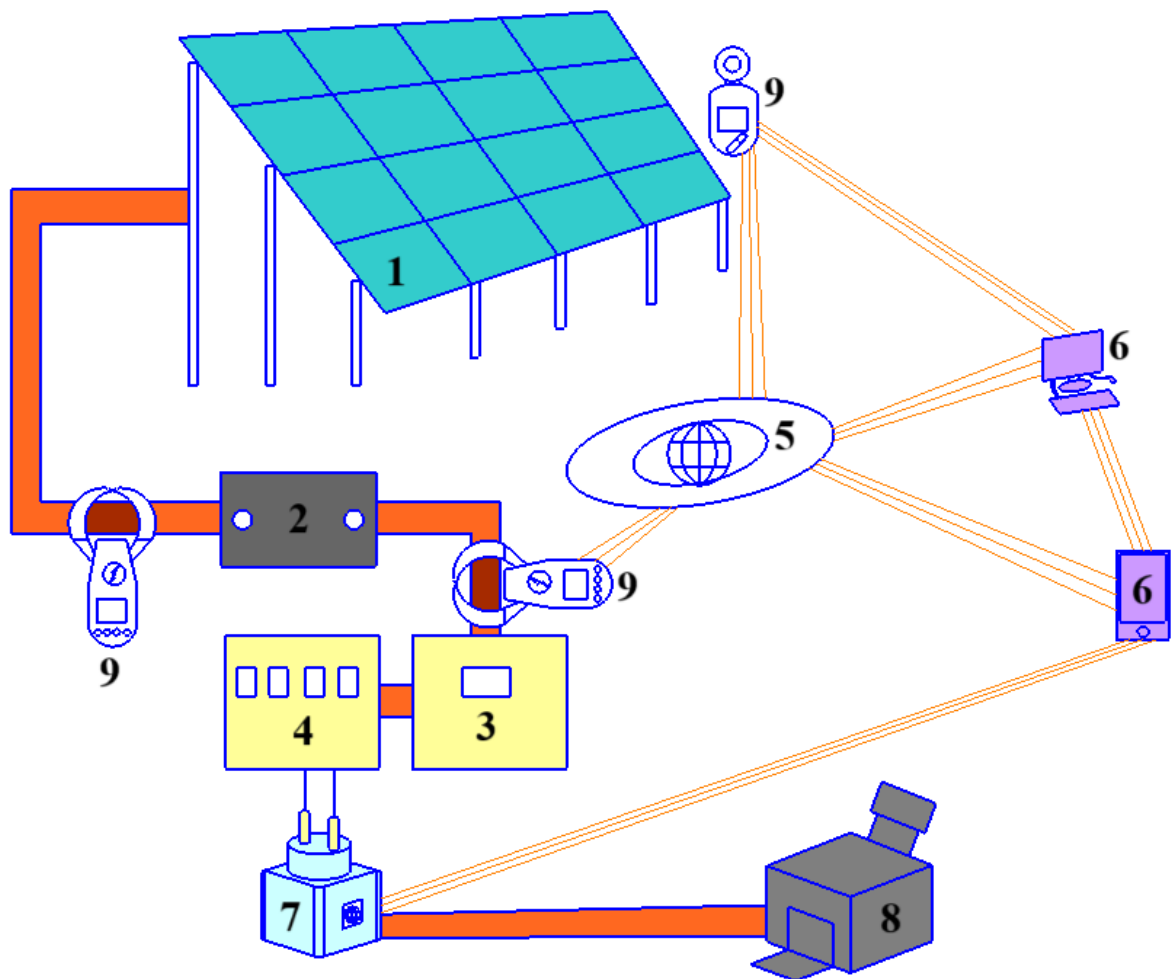


Рисунок 4.5. Схема функціональна експериментального дослідження.

1 – сонячна електростанція; 2 – акумулятор; 3 – інвертор; 4 – щит керування; 5 – джерело інтернету; 6 – користувачі; 7 – розетка інтернет-зв'язку; 8 – споживач електричної енергії; 9 – контрольно-вимірювальні прилади/засоби діагностування

Схемою функціональною проведення експериментальних досліджень систем альтернативної енергетики представлено основні структурні елементи.

Серед параметрів, які доцільно перевіряти, є такі:

- освітленість поверхні сонячних панелей;
- сила струму;
- напруга;
- частота;
- характер сигналу, який передається (синусоїди);
- споживання електричної енергії;
- рівень заряду акумуляторної батареї.

Використання в схемі функціональні і безпосередньо при експериментальному дослідженні набору інструментів дозволяє повною мірою виконувати усі вимірювання. Зокрема, згаданими у розділі 3 струмовимірювальними кліщами PROTESTER PM2203 ж можливість визначення усіх необхідних параметрів, окрім освітленості. Останній з указаних є можливість визначення люксетрами. Серед набору такого інструменту максимально важливим є використання засобів, що можуть працювати по інтернет-зв'язку та відображати сигнали не лише на власному табло, а і будувати графіки для користувачів дистанційно – на персональних комп'ютерах та смартфонах. Для прикладу, на рисунку 4.6 представлено відповідні графіки, побудовані з використанням відповідного програмного забезпечення струмовимірювальними кліщами PROTESTER PM2203.

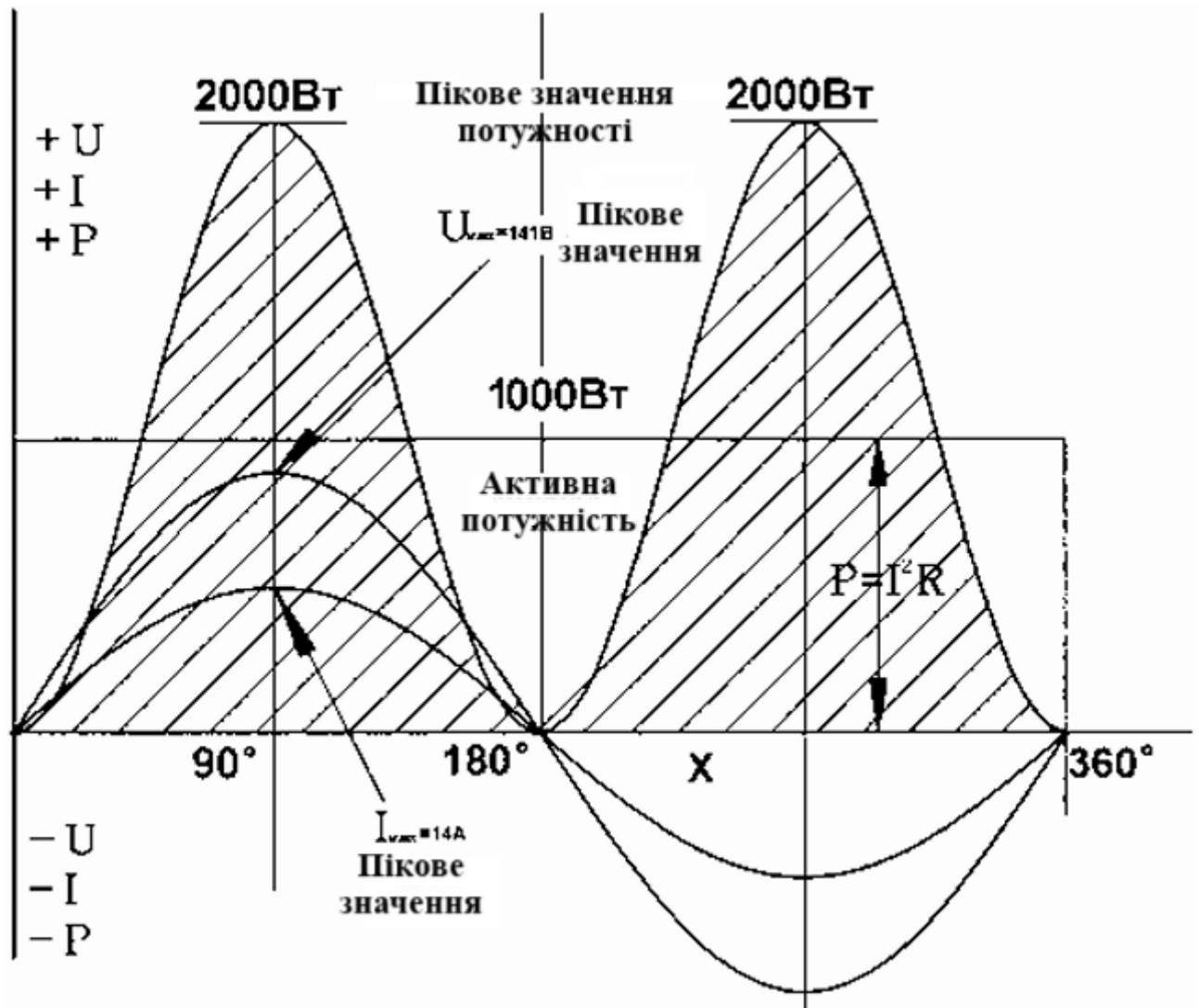


Рисунок 4.6. Графіки потужності з використанням програмного забезпечення та інструменту PROTETER PM2203

Подібно до схеми функціональної, зображеної на рисунку 4.5 доцільно представити схеми проведення експериментів та відображення їх з іншими системами альтернативної енергетики. Серед них наявними є сонячний колектор та вітроенергетична установка.

Для вітроенергетичної установки основним параметром, що піддається вимірюванням, є швидкість обертання робочого колеса. Такий показник є

можливість визначення тахометром безконтактним. Для прикладу, PCE-DT50. Такий пристрій здатен працювати в двох різних режимах вимірювання:

- ручний режим вимірювання;
- автоматичний режим вимірювання.

За ручного режиму вимірювання пристроєм вимірюється швидкість обертання рухомих частин доти, доки натиснуто тригер. За автоматичного режиму вимірювання відбуватиметься до тих пір, доки не завершиться автоматичний режим вимкнення його. З метою подальшої оцінки вимірювань в ручному тахометрі наявним є режим мінімального, максимального, а також середнього значень.

Другим параметром, що піддається визначенню для вітроенергетичної установки є швидкість потоку повітря, сконцентрованого для обертання робочого колеса вітряка. Такий параметр визначають анемометром. Однак, з метою більш якісного відображення усіх параметрів погодних умов, що є також корисним при роботі з сонячними батареями, доцільним є використання безпроводного комбінованого метеодатчика WH65 (7 в 1). Це, свого роду, бездротовий модуль, що працює від живлення з сонячної батареї через акумулятори. Це є актуальним метою наочного представлення функціонування сонячних панелей. Модуль включає у себе:

- датчики температури та вологості повітря;
- датчик світла;
- датчик дощу;
- крильчатий анемометр (для оцінки швидкості вітру);
- датчик напрямку вітру.

Перевагою указанного модулю вважається підтримка роботи з Wi-Fi метеомодулем GW1000, що дозволить приймати у реальному часі дані. Передача даних від датчика WH65 відбувається по радіоканалу на частоті 433 МГц, і за відстані до 100 метрів. Ключовим аспектом вважається підтримання

завантаження даних по усім датчикам на безкоштовний сервер [ecowitt.net](http://ecowitt.net) з виведенням історії та побудовою графіків для аналізу.



Рисунок 4.6. Засоби вимірювання.

А – бездротовий модуль WH65; Б - терморегулятор

З метою виконання експериментів з сонячним колектором набір структурних елементів частково співпадає з набором сонячної електростанції. Спільним елементом є люкметр, яким здійснюється вимірювання освітленості. З метою визначення температури рідини, що нагрівається колектором, доцільним є використання спеціальних термодатчиків, що також підтримують wi-fi зв'язок (рисунок 4.6, Б).

Загальну функціональну схему усіх систем альтернативної енергетики лабораторії представлено на рисунку 4.7. Перевагою такої схеми є її робота, що покривається інтернет-зв'язком та відображення показників, будування графіків, діаграм та можливість їх аналізу дистанційно в онлайн-форматі.

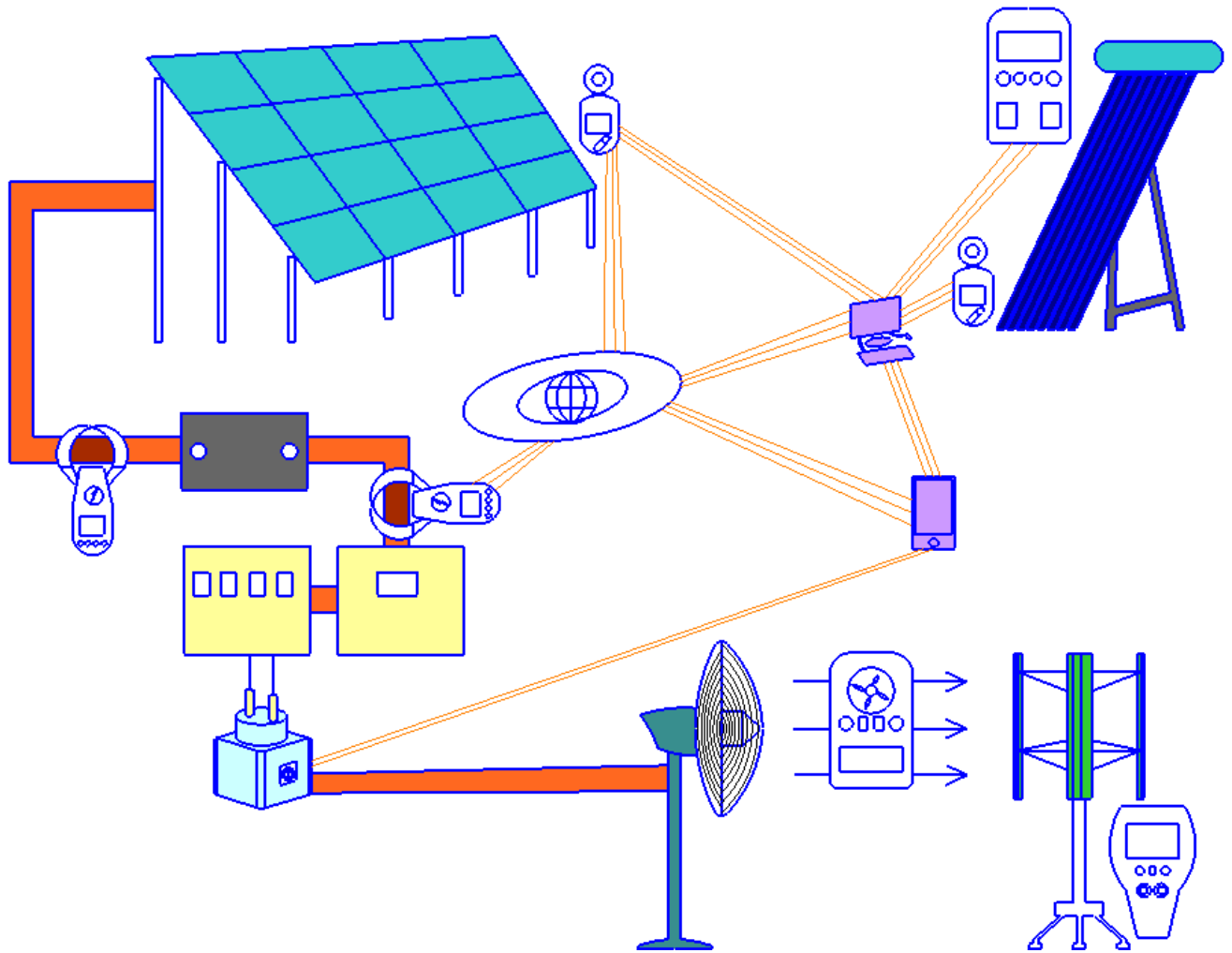


Рисунок 4.7. Схема функціональна досліджень систем альтернативної енергетики в лабораторії

#### 4.3. Висновки до розділу 4

В розділі представлено шлях реконструкції аудиторії лабораторії альтернативної енергетики з розподілом експериментальних досліджень за характером та спрямуванням по трьом напрямкам. Визначено набір структурних елементів, до яких входять контрольно-вимірювальні прилади, засоби діагностування, передачі та аналізу параметрів систем альтернативної енергетики.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Нормативні вимоги щодо безпеки

При реконструкції навчальної електролабораторії та впровадженні нового обладнання, включаючи сучасні вимірювальні прилади та програмне забезпечення для віртуальних експериментів, необхідно неухильно дотримуватися чинних в Україні нормативно-правових актів з охорони праці.

*Це включає:*

- державні стандарти,
- правила улаштування електроустановок (ПУЕ),
- правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів,
- інші галузеві та локальні норми і правила, що регламентують безпеку

праці в навчальних закладах та при роботі з електрообладнанням і комп'ютерною технікою.

Особливу увагу слід приділити вимогам електробезпеки при роботі з наявним обладнанням, таким як сонячна електростанція, та з новим обладнанням, що буде встановлено в процесі реконструкції. Важливо забезпечити наявність сертифікатів відповідності та іншої технічної документації на все обладнання, що підтверджує його безпечність та придатність до використання в навчальному процесі. Також необхідно врахувати ергономічні вимоги до організації робочих місць здобувачів вищої освіти при роботі з комп'ютерами під час проведення віртуальних експериментів.

## 5.2. Інструкції для здобувачів вищої освіти та викладачів

Для забезпечення безпечного проведення навчальних занять, як при використанні фізичного обладнання лабораторії, так і при роботі з віртуальними експериментами, необхідно розробити чіткі та детальні інструкції з охорони праці для здобувачів вищої освіти та викладачів. Ці інструкції повинні враховувати специфіку роботи з наявним обладнанням, таким як сонячна панель, сонячна електростанція, сонячний колектор, а також з новими вимірювальними приладами та програмним забезпеченням.

*В інструкціях слід чітко визначити:*

- порядок підготовки до виконання лабораторних робіт,
- правила користування обладнанням,
- вимоги електробезпеки,
- правила поведінки в лабораторії,
- а також порядок дій у разі виникнення нештатних ситуацій.

Окремо необхідно передбачити інструкції з безпеки при роботі з високовольтними елементами сонячної електростанції та інших енергетичних систем. Перед початком занять здобувачі вищої освіти повинні бути ознайомлені з відповідними інструкціями та пройти первинний інструктаж з охорони праці. Викладачі, у свою чергу, несуть відповідальність за проведення інструктажів та контроль за дотриманням здобувачами вищої освіти вимог безпеки під час виконання лабораторних робіт.

### 5.3. Охорона праці в процесі реконструкції

Реконструкція навчальної електролабораторії є відповідальним процесом, що потребує особливої уваги до питань охорони праці на етапі монтажу та налагодження нового обладнання. До виконання будівельно-монтажних та електромонтажних робіт повинні залучатися лише кваліфіковані фахівці, які мають відповідні допуски та пройшли необхідні інструктажі з охорони праці.

На місці монтажу необхідно забезпечити наявність *засобів колективного та індивідуального захисту*:

- захисні каски,
- спецодяг,
- діелектричні рукавички та інше.

Слід дотримуватися правил пожежної безпеки та електробезпеки при проведенні всіх видів робіт. Перед початком реконструкції необхідно розробити план виконання робіт, в якому будуть визначені потенційні небезпеки та передбачені заходи щодо їх запобігання.

Після завершення монтажних робіт необхідно провести ретельну перевірку працездатності та безпечності встановленого обладнання, а також виконати необхідні випробування та налагодження. До початку експлуатації оновленої лабораторії слід провести повторний інструктаж з охорони праці для викладачів та здобувачів вищої освіти з урахуванням особливостей нового обладнання та технологій.

#### *5.4. Висновки до розділу 5*

Забезпечення належного рівня охорони праці в навчальній електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ є ключовим фактором створення безпечного та ефективного навчального середовища. Дотримання нормативних вимог, розробка детальних інструкцій для здобувачів вищої освіти та викладачів, а також впровадження комплексу заходів безпеки на всіх етапах навчального процесу, включаючи реконструкцію, дозволить запобігти травматизму, професійним захворюванням та забезпечити якісну підготовку майбутніх фахівців у галузі енергетики та електротехнічних систем. Керівництво кафедри та університету повинно забезпечити необхідні ресурси та здійснювати постійний контроль за дотриманням вимог охорони праці.

## 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 6.1. Оцінка вартості обладнання

Виходячи з мети проєкту, що полягає у реконструкції навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ шляхом впровадження віртуальних експериментів, першочерговим етапом економічного обґрунтування є оцінка вартості необхідного обладнання. Враховуючи актуальність модернізації для забезпечення якісної підготовки, що відповідає сучасним вимогам, до цього переліку слід включити нові стенди, якщо їх модернізація або заміна є необхідною для інтеграції з віртуальним середовищем або розширення функціональних можливостей лабораторії. Ключовою складовою витрат стане придбання ліцензій на віртуальні програмні засоби, що забезпечать можливість моделювання та проведення лабораторних робіт, тим самим розширюючи можливості навчання та підвищуючи його ефективність, як зазначено у вступі до дипломного проєкту. Вартість цих засобів може варіюватися залежно від кількості користувачів, функціоналу та умов ліцензування. Для забезпечення належної роботи віртуального середовища та доступу студентів до програмних засобів необхідно передбачити придбання або модернізацію серверного обладнання. Його вартість буде залежати від необхідної продуктивності, обсягу зберігання даних та надійності. Крім того, слід врахувати витрати на облаштування робочих місць для студентів, включаючи комп'ютерну техніку, монітори та інше периферійне обладнання, необхідне для роботи з віртуальними лабораторними комплексами. Загальна вартість обладнання буде сумою витрат на кожен з цих елементів.

Тому, перелік обладнання для лабораторії представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Вартість устаткування

№	Найменування обладнання	Кількість, од	Вартість од., грн	Загальна вартість, грн
1.	Люксметр цифровий UNI-T UT381A	1	3125	3125
2.	Тахометр безконтактний PCE-DT50	1	3072	3072
3.	Струмовимірювальні кліщі PROTESTER PM2203	1	11340	11340
4.	Ноутбук Lenovo IdeaPad 1 15ALC7 (82R400DTUS) + обладнання	1	35000	35000
5.	Програмне забезпечення	1	20000	20000
6.	Осцилограф 2 кан. 100МГц і генератор сигналу 2в1, FNIRSI 1014D	1	6275	6275
7.	Професійний ІЧ тепловізор UNI-T UTi120S, IP54 LCD АКБ, карта 16ГБ	1	8495	8495
8.	Бездротовий модуль WH65	1	4199	4199
9.	Інші витратні матеріали	-	15000	15000

Загальна сума витрат  $M_{\text{зар1}}$  на закупку обладнання виражається за формулою 6.1:

$$M_{\text{зар1}} = M_1 + M_2 + M_n, \text{ грн} \quad (6.1)$$

де  $M_1, M_2, M_n$  – вартість обладнання з таблиці 6.1

$$M_{\text{зар1}} = 3125 + 3072 + 11340 + 35000 + 20000 + 6275 + 8495 + 4199 \\ + 15000 = 106506 \text{ грн}$$

## 6.2. Витрати на модернізацію

Після визначення вартості обладнання, наступним кроком у економічному обґрунтуванні реконструкції навчальної електролабораторії є оцінка витрат, пов'язаних з його впровадженням та інтеграцією в навчальний процес, що безпосередньо сприятиме досягненню мети дипломного проекту – покращенню якості навчання та розширенню можливостей студентів. До цих витрат належить інсталяція та налаштування придбаного програмного забезпечення на серверному обладнанні та робочих місцях студентів. Враховуючи впровадження віртуальних експериментів, важливою складовою є витрати на налаштування віртуальних експериментів, що може включати адаптацію існуючих методичних матеріалів до віртуального середовища або розробку нових віртуальних лабораторних робіт, що дозволить розширити спектр досліджуваних явищ та підвищити наочність навчання. Окремою статтею витрат є навчання персоналу – викладачів та лаборантів – роботі з новими програмними засобами та обладнанням, а також методиці проведення занять з використанням віртуальних лабораторій. Ці витрати можуть включати оплату курсів підвищення кваліфікації, тренінгів або залучення зовнішніх спеціалістів. Сума цих витрат складатиме загальну вартість модернізації лабораторії.

З метою розрахунку витрат на освоєння нових методів та засобів навчання доцільним є представлення переліку можливих стажувань/підвищень кваліфікації. До таких можна віднести:

- стажування з джерел енергії;
- стажування з альтернативної енергетики;

- підвищення кваліфікації/навчання персоналу для проведення занять в дистанційному режимі або в умовах воєнного стану;
- стажування на Обленерго та РЕМ;
- підвищення кваліфікації з методики проведення експериментів;
- курси з інформаційних технологій;
- практичні заняття з джерелами альтернативної енергетики, їх монтажем та налаштуванням;
- підвищення кваліфікації з академічної доброчесності;
- забезпечення доступу до ліцензійного програмного забезпечення, інструкцій з експлуатації обладнання;
- підвищення кваліфікації з охорони праці та правил техніки безпеки при роботі з електроустановками.

Для детального аналізу витрат на указаний перелік необхідних умов навчання персоналу доцільно представити орієнтовну вартість кожного з пунктів у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Вартість освітніх послуг

№	Найменування обладнання	Кількість, год·люд	Вартість 1 од., грн	Загальна вартість, грн
1.	Стажування з джерел енергії	180·3	4200	12600
2.	Стажування з альтернативної енергетики	180·3	4200	12600
3.	Підвищення кваліфікації/навчання персоналу для проведення занять в дистанційному режимі або в умовах воєнного стану	180·3	4200	12600
4.	Стажування на Обленерго та РЕМ	180·3	-	-

5.	Підвищення кваліфікації з методики проведення експериментів	60·3	2000	6000
6.	Курси з інформаційних технологій	180·3	6200	18600
7.	Практичні заняття з джерелами альтернативної енергетики, їх монтажем та налаштуванням	30·3	1500	4500
8.	Підвищення кваліфікації з академічної доброчесності	180·3	4200	12600
9.	Забезпечення доступу до ліцензійного програмного забезпечення, інструкцій з експлуатації обладнання	-	25000	25000
10.	Підвищення кваліфікації з охорони праці та правил техніки безпеки при роботі з електроустановками	60·3	2000	6000

Загальна сума витрат  $M_{\text{заг}}$  на закупку обладнання виражається за формулою 6.2:

$$M_{\text{заг2}} = M_1 + M_2 + M_n, \text{ грн} \quad (6.2)$$

де  $M_1, M_2, M_n$  – вартість освітніх послуг з таблиці 6.2

$$M_{\text{заг}} = 12600 + 12600 + 12600 + 6000 + 18600 + 4500 + 12600 + 25000 + 6000 = 110500 \text{ грн}$$

### *6.3. Економія в порівнянні з традиційним підходом*

Впровадження віртуальних експериментів у навчальну електролабораторію кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ, як один із ключових аспектів реконструкції, може призвести до значної економії коштів у порівнянні з традиційним підходом до навчання, що використовує виключно фізичні експерименти, забезпечуючи тим самим економічну ефективність запропонованих змін.

Однією з основних статей економії є зниження витрат на придбання витратних матеріалів, необхідних для проведення фізичних лабораторних робіт (електричні компоненти, проводи, тощо), що є суттєвою частиною поточних витрат, як це можна припустити, виходячи з опису існуючої лабораторії у вступі. Віртуальні експерименти усувають цю потребу, що дозволяє суттєво скоротити поточні витрати. Крім того, віртуальне обладнання не потребує регулярного фізичного обслуговування, ремонту або калібрування, що також зменшує відповідні експлуатаційні витрати.

Зручність у використанні віртуальних лабораторій, включаючи гнучкість у плануванні занять та відсутність необхідності фізичної підготовки обладнання до кожного експерименту, може призвести до оптимізації робочого часу персоналу. Також слід врахувати потенційне зниження витрат на електроенергію, оскільки віртуальне обладнання, як правило, споживає значно менше енергії, ніж реальні електричні установки. Порівняльний аналіз річних витрат на підтримку традиційної та віртуальної лабораторій дозволить кількісно оцінити економічну вигоду від реконструкції, що є важливим аргументом на користь запропонованого проєкту.

#### *6.4. Висновки до розділу 6*

На основі проведеної оцінки вартості обладнання, витрат на модернізацію та обґрунтування потенційної економії в порівнянні з традиційним підходом, можна зробити висновки щодо економічної доцільності реконструкції навчальної електролабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем Сумського НАУ шляхом впровадження віртуальних експериментів.

Враховуючи актуальність модернізації, як зазначено у вступі до дипломного проєкту, загальний обсяг необхідних інвестицій слід порівняти з прогнозованим терміном їх окупності за рахунок економії поточних витрат на матеріали, обслуговування та енергоспоживання, що є важливим фактором для прийняття рішення про впровадження проєкту.

Крім того, у висновках необхідно наголосити на якісних перевагах, які надасть модернізація навчального процесу, таких як підвищення якості підготовки фахівців, розширення можливостей для проведення складних та небезпечних експериментів у безпечному віртуальному середовищі, а також відповідність сучасним вимогам до цифровізації освіти. Економічне обґрунтування має переконливо показати, що інвестиції в реконструкцію лабораторії є вигідними в довгостроковій перспективі та сприяють підвищенню ефективності навчального процесу, що є ключовою метою даної дипломної роботи.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі представлено проєкт реконструкції лабораторії альтернативної енергетики Сумського НАУ. У ході виконання роботи здійснено:

- аналіз існуючого устаткування;
- перелік робіт, які виконуються у лабораторії;
- план реконструкції лабораторії;
- перелік обладнання для проведення лабораторно-практичних робіт в дистанційному режимі;
- схеми структурні проведення експериментальних досліджень з наявними установками альтернативної енергетики в лабораторії.

Серед основних переваг розробленого проєкту реконструкції є дистанційний зв'язок зі здобувачами з лабораторії альтернативної енергетики через інтернет зв'язок. Більшість контрольно-вимірювальних пристроїв функціонують по такому зв'язку з можливістю фіксації усіх даних через власні накопичувачі пам'яті.

Функціонування кожної з систем альтернативної енергетики може бути окремо одна від одної, так і в сукупності всіх азом узятих. Представлені схеми проведення експериментів є досить ефективними та мають на меті покращення функціонування лабораторії не тільки як навчальних елементів, а і з метою конкретного виконання поставлених функцій.

Дистанційна форма навчання вимагає комплексного підходу, що базується на функціонуванні систем альтернативної енергетики та передачі усіх сигналів та показів контрольно-вимірювальних приладів в онлайн режимі. Тому, розроблені рекомендації є корисними з метою автоматизації процесів вимірювання, обробки інформації та її засвоєння здобувачами спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плачкова С.Г. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє.– Кн. 5 Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс] / С.Г. Плачкова – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5>.
2. Блекаут (Blackout) – що це таке простими словами». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://termin.in.ua/blekaut-blackout/>.
3. Ye Song, Lin Huang, Yong Wang, Yaohan Du, Zihao Song, Qichang Dong, Xiaoqing Zhao, Jiacheng Qi, Guomin Zhang, Wengui Li, Long Shi, Energy performance and fire risk of solar PV panels under partial shading: An experimental study, Renewable Energy, Volume 246, 2025, 122910, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122910>.
4. Calculation of Solar Insolation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-ofsolar-insolation>.
5. Ebru Akpınar, Gizem Gül Katircioglu, Mehmet Das, Effects of solar tracking on different types of solar panels; experimental study for thermal and photovoltaic types, International Journal of Hydrogen Energy, 2025, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.155>.
6. Future of Solar Photovoltaic, Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. IRENA. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic>.
7. Фотоенергетика: Навчальний посібник / Ю.П. Колонтаєвський, Д.В. Тугай, С.В. Котелевець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. – 160 с.

8. Єдина система конструкторської документації (ЄСКД): Навчальний посібник / За ред. О. А. Анікієва. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 344 с.

9. Єдина система конструкторської документації (ЄСКД): Навчальний посібник / В. М. Бабенко, А. А. Панов, Ю. В. Федоров. – Київ: Вид-во НТУУ «КПІ», 2008. – 480 с.

10. Зорін В.В., Штогрин Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи (окремí розділи): Навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 248 с.

11. Курсове і дипломне проектування: Навчальний посібник // П.С. Кашенко, О.І. Біленко, О.А. Устименко, та ін. – К., 2008. – 502 с.

12. ПКП «Техноноватор»: Типи сонячних батарей [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/typessun-battery-ua.html>.

13. Atmosfera: Сонячні електростанції – Типи сонячних панелей [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachnielektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej/>.

14. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk>.

15. Сонячні електростанції у приватних домогосподарствах (СЕСд): динаміка розвитку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk/content/sesd>.

16. Положення про кваліфікаційні роботи у Сумському національному аграрному університеті / Уклад.: І.Д. Скляр, Г.І. Ребенко, О.М. Бакуменко, О.В. Таценко, Є.А. Самохіна, Н.О. Капінос, Л.О. Рибіна, Л.А. Циганенко, Н.М. Баранік, Г.О. Бабошина, О.І. Рибіна Суми: СНАУ, 2022. 17 с.

17. Дипломне проектування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. Частина 2 «Проектування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка

пуско-захисної апаратури» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 76 с.

18. Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. (Редакція станом на 20.01.2018).

19. Методичні вказівки спрямовані для надання методичної допомоги здобувачам вищої освіти першого (бакалаврського) рівня з питань охорони праці під час виконання розділу «Охорона праці» в випускних роботах для спеціальностей 208 «Агроінженерія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 «Електрична інженерія», 275 «Транспортні технології» галузь знань 27 «Транспорт» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

20. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання, станом на 21.08.2017).

21. Кравець О.В. Методичні вказівки до економічної частини дипломних проектів ФЕСВ / О.В. Кравець, М.І. Стручаєв. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – 15 с.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-ть листів	Номер листа	Примітки
1	A4	КП.6.04.003.ПЗ	Реконструкція навчальної	59	59	
2			електролабораторії кафедри			
3			енергетики та електротехнічних			
4			систем Сумського НАУ			
5			з розробкою навчально-методичного			
6			комплексу для проведення			
7			віртуальних експериментів			
8			Кваліфікаційний проєкт.			
9			Пояснювальна записка.			
10	A4	КП.6.04.001.E1	Проектована лабораторія	1	1	
11			Схема електрична структурна			
12	A4	КП.6.04.002.E2	Зв'язок елементів дослідження.	1	2	
13			Схема електрична функціональна			
14	A4	КП.6.04.003.E2	Схема функціональна досліджень в електролабораторії	1	3	
15			Схема електрична функціональна			
16	A4	КП.6.04.004.E7	Освітлення електролабораторії	1	4	
17			Схема електрична розташування			
18	A4	КП.6.04.005.E1	Сонячна електростанція.	1	5	
19			Схема електрична структурна			
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
				КП.06.04.003.ТП		
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		
Розробив	Кучер				Літ	Лист
Перевірив	Барсукова				i	59
						59
Н.контр.	Чепіжний				СНАУ, 2025	
Затверд.	Чепіжний					