

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень

на тему: **„РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ  
СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ КОМУТАЦІЙНОЇ ТА ЗАХИСНОЇ  
АПАРАТУРИ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61  
Спеціальності 141 „Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”  
(шифр і назва)

Гаразд Артур Сергійович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доцент Левонюк В.Р.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
Гаразду Артуру Сергійовичу

1. Тема роботи: **"РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ КОМУТАЦІЙНОЇ ТА ЗАХИСНОЇ АПАРАТУРИ"**

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент  
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 08.01.2025 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання.

4.3. Розробка та виготовлення лабораторного стенда.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	12.09.2024 – 30.09.2024	
2	Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання	1.10.2024 – 20.10.2024	
3	Розробка та виготовлення лабораторного стенда	21.10.2024 – 30.11.2024	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	1.12.2024 – 15.12.2024	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	16.12.2024 – 31.12.2024	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	1.01.2025 – 5.01.2025	
7	Завершення роботи в цілому	6.01.2025 – 8.01.2025	

Студент \_\_\_\_\_ Гаразд А. С.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(підпис)

УДК 621.3

Гаразд А. С. "Розробка лабораторного стенда фотоелектричної установки для обґрунтування структури і параметрів комутаційної та захисної апаратури". Кваліфікаційна робота. Дубляни. Львівський національний університет природокористування, 2025. 64 с. текстової частини, 2 таблиці, 34 рисунки, 21 джерел посилання.

**Метою** кваліфікаційної роботи є обґрунтування параметрів та розробка лабораторного стенда для дослідження систем захисту та комутації сонячних електростанцій. Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі **завдання**: здійснити огляд структури сонячних електростанцій; здійснити огляд теоретичних положень щодо організації систем захисту та комутації; розробити лабораторний стенд та методику його використання.

Проведено аналіз поточного стану розвитку ринку сонячної електроенергетики. Сформульовано мету та завдання кваліфікаційної роботи. Опрацьовано класифікацію сонячних електроенергетичних установок. Проаналізовано структуру та особливості застосування засобів захисту сонячних електроенергетичних установок. Виконано обґрунтування структури лабораторного стенда, підібрано апаратну частину засобів захисту, розроблено макет стенда та виконано його виготовлення, а також розроблено методики його використання. Розглянуто заходи безпеки праці при експлуатації лабораторного стенда. Розраховано вартість виготовлення лабораторного стенда.

**Ключові слова:** фотоелектрична установка, системи захисту та комутації, лабораторний стенд, методика використання.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	7
<b>1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>9</b>
1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження	9
1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи	14
1.3 Мета і завдання роботи	17
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ З ДАНОГО ПИТАННЯ</b>	<b>18</b>
2.1 Загальні відомості	18
2.2 Структура сонячних електроустановок різного типу	20
2.3 Засоби захисту та комутації сонячних електростанцій	25
<b>3 РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА</b>	<b>35</b>
3.1 Обґрунтування структури лабораторного стенда	35
3.2 Апаратна частина лабораторного стенда	36
3.3 Розробка макета лабораторного стенда	39
3.4 виготовлення експериментального стенда	40
3.5 Розробка методики використання лабораторного стенда	41
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>48</b>
4.1 Аналіз виробничих небезпек під час дослідної експлуатації лабораторного стенда	48
4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час	49

дослідної експлуатації лабораторного стенда	
4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час дослідної експлуатації лабораторного стенда	53
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	54
5 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	56
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	63

## ВСТУП

Розвиток енергетичного сектору України потребує не лише відновлення, реконструкції та побудови об'єктів традиційної енергетики, але й побудову та експлуатацію об'єктів відновлюваної енергетики. Ці об'єкти є складовою перспективного плану переходу на низьковуглецеві технології видобутку енергії, які є основою, так званого, енергетичного переходу України. До галузі відновлюваної входить низка незалежних галузей, які характеризуються як структурними особливостями, так і видами первинного енергетичного ресурсу – відновлюваними джерелами енергії. До них відносяться вітрові, сонячні, геотермальні, гідроенергетичні, біоенергетичні та інші види енергоустановок.

Стрімкий розвиток будь-якої галузі вимагає підготовки відповідної кількості інженерних кадрів, які матимуть змогу реалізувати свій трудовий потенціал у вигляді проєктованих та споруджених енергетичних об'єктів. Дана підготовка може бути проведена на рівні першого та другого рівнях вищої освіти, що дозволяє певною мірою виокремити виробничі завдання, які будуть реалізовувати фахівці.

Розвиток матеріальної бази вищої освіти є невід'ємною складовою якісного здобування знань, оскільки виконання експериментальних досліджень є одним із важливих його етапів, який покращує засвоєваність поданого матеріалу, вказує зв'язок між теоретичними основами процесу із практичним застосуванням тощо.

Сонячна енергетика є однією із галузей відновлюваної енергетики, що демонструють найбільшу динаміку розвитку, і яка за темпами встановленої потужності та обсягами виробництва електроенергії суттєво випереджає інші енергетичні системи. А поширеність її первинного енергетичного потенціалу, енергії сонячного випромінювання, забезпечує її максимальне використання у всіх регіонах світу.

Тому, очевидно, що підготовка фахівців за даною галуззю може бути пріоритетним у вищих навчальних закладах технічного та енергетичного спрямування.

Зважаючи на структуру сонячних енергетичних установок, важливим аспектом є системи захисту та комутації енергетичного обладнання, що забезпечує їх тривалу експлуатацію з максимальною ефективністю та довговічністю. Відповідно, цим питанням також повинна приділятися значна увага. Зокрема, в роботі пропонується розробка лабораторного стенда, який би ілюстрував структуру сонячної станції з набором відповідних структурних компонентів, із особливим підходом до формування систем захисту та комутації, як невід'ємної частини таких установок. Застосування такого стенда разом із розробленою методикою виконання лабораторної роботи дозволить більш чітко зрозуміти особливості формування структури та вибору засобів для сонячних електростанцій різної потужності.

Кваліфікаційна робота складається з 5 розділів, вступу, висновків та бібліографічного списку.



# 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження

Динамічний розвиток технологій, обсягів споживання енергетичних ресурсів, і відповідно зростання рівня забрудненості навколишнього середовища зумовлює пошук рішень, які б дозволили подальший розвиток людства без теперішнього негативного впливу. Цим рішення можна вважати формування та поширення для запровадження Цілей сталого розвитку (ЦСР). Їх також ще називають Глобальними цілями. Вони були ухвалені в далекому 2015 році на засіданні Організації Об'єднаних Націй. Глобальні цілі стали закликком до дій всіх націй, які населяють нашу планету стосовно скорочення бідності, зрівноваженого розвитку та захисту планети від негативного впливу людства (рис. 1.1). Глобальною метою є досягнення до 2030 року мирного та достатнього існування людства. Кожна із сімнадцяти цілей діють комплексно, тобто доповнюють та впливають на інші цілі, і таким чином забезпечується ефект комплексності та узагальненості окремих заходів задля отримання глобального результату. Глобальним результатом є збалансовані соціальна, економічна та екологічна стійкість як окремих країн, так і континентів. Уряди країн взяли на себе зобов'язання визначати пріоритетність прогресу для країн та спільнот, які найбільше відстають у певних напрямках, або глобально. Глобальні цілі покликані ліквідувати бідність, голод, СНІД, а також дискримінацію жінок та дівчат. Цілком зрозуміло, що досягнення глобальних цілей потребуватимуть сукупних заходів та зусиль, які передбачатимуть творчі підходи, запровадження науку, розвиток та трансфер технології, а також мобілізацію фінансових ресурсів всього людства. [3]



Рисунок 1.1 – Сімнадцять цілей сталого розвитку [3]

Серед сімнадцяти цілей сталого розвитку одне з чільних місць відведено цілі номер сім – "Доступна та чиста енергія", яка має на меті забезпечення людства енергією за доступною ціною, із забезпеченням надійності доступу до екологічно чистих енергетичних ресурсів.

Енергетика є основою сучасної цивілізації, оскільки вона забезпечує функціонування практично всіх галузей людської діяльності. Енергія є необхідною для транспорту, промисловості, сільського господарства, охорони здоров'я, освіти, комунікацій та багатьох інших сфер.

Однією з Глобальних цілей сталого розвитку, які наведені в офіційному документі Генеральної Асамблеї ООН, є ціль 7: Доступна та чиста енергія [2]. В Україні було розроблено у вересні 2017 р. Національну доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» [21], яка є планом дій щодо реалізації цілей сталого розвитку у нашій країні.

У вересні 2019 р. було видано Указ № 722 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року [16]. Даним указом підтримано резолюцію Генеральної Асамблеї ООН щодо глобальних Цілей сталого розвитку, з врахуванням умов розвитку нашої країни. У Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна», виокремлено Ціль 7 «Забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх».

Основними видами енергії є електрична, теплова, хімічна та інші, кожен з яких відіграє важливу роль у конкретних процесах. Виробництво та використання енергії визначають рівень економічного зростання, технологічного прогресу і добробуту суспільства. Без доступу до енергетичних ресурсів було б неможливо забезпечити масове виробництво товарів, перевезення товарів та людей, або функціонування сучасних міст з їх складними інфраструктурами.

У світі кількість людей, забезпечених електроенергією, щороку зростає, що стало результатом глобальних зусиль із розвитку енергетичної інфраструктури та впровадження нових технологій. Багато країн, особливо в Азії та Африці, зробили значні кроки для розширення доступу до електроенергії, що мало позитивний вплив на соціально-економічний розвиток.

Збільшення доступу до електроенергії дозволило значній кількості людей покращити рівень життя, отримати доступ до освіти, медицини та нових робочих місць. Це також стимулювало розвиток промисловості та бізнесу в регіонах, які раніше не мали доступу до стабільного енергопостачання [11].

Однак, незважаючи на суттєвий прогрес, проблема енергетичної нерівності досі залишається актуальною. Віддалені регіони та країни, що розвиваються, все ще стикаються з труднощами через обмежений доступ до електроенергії або нестабільність енергопостачання. Вирішення цієї проблеми потребує подальших інвестицій у розвиток інфраструктури,

особливо у відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергетика.

Інформаційні технології, що також є ключовим елементом сучасної цивілізації, залежать від постійного та надійного постачання електроенергії. Енергетика стає ще важливішою у зв'язку з глобальними викликами, такими як зміна клімату та необхідність переходу до відновлюваних джерел енергії. Ефективне управління енергетичними ресурсами є критичним для сталого розвитку, стабільності економік та безпеки держав.

У Звіті про прогрес в галузі енергетики представлена глобальна панель, яка відстежує досягнення у сферах доступу до енергії, підвищення енергоефективності та використання відновлюваних джерел. У ньому аналізується успіх кожної країни в цих трьох важливих напрямках і надається оцінка того, наскільки ми наблизились до виконання цілей сталого розвитку до 2030 року [1].

Відновлювана енергетика має вирішальне значення для сталого розвитку, боротьби зі зміною клімату та забезпечення енергетичної безпеки. Її важливість можна підкреслити через кілька ключових аспектів:

1. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна енергія, виробляють мінімальні або нульові викиди CO<sub>2</sub>, що сприяє зниженню впливу на клімат.

2. Країни, які покладаються на імпорт викопного палива, можуть стати більш енергетично незалежними, використовуючи власні відновлювані ресурси. Це знижує ризики, пов'язані з коливанням цін на енергоносії та політичними конфліктами.

3. Інвестиції у відновлювану енергетику стимулюють створення нових робочих місць у різних галузях, включаючи інженерію, будівництво та обслуговування. Це сприяє економічному зростанню та розвитку нових технологій.

4. Відновлювані джерела енергії сприяють збереженню природних ресурсів, таких як нафта та газ, і зменшують навантаження на екосистеми. Вони також допомагають зберегти біорізноманіття, оскільки знижують необхідність використання шкідливих для довкілля методів видобутку та спалювання викопного палива.

5. Розвиток відновлюваної енергетики стимулює інновації у сфері енергоефективності, зберігання енергії та систем управління. Це також відкриває нові можливості для децентралізованого виробництва енергії, зокрема у віддалених та сільських районах.

6. Зменшення забруднення повітря завдяки використанню відновлюваної енергії покращує здоров'я населення. Особливо це важливо в містах, де висока концентрація викидів від традиційних енергетичних джерел часто призводить до респіраторних та інших захворювань.

7. Відновлювані джерела енергії можуть бути більш стабільними та надійними в довгостроковій перспективі, оскільки вони не залежать від коливань ринкових цін на викопне паливо.

Таким чином, енергетика не лише підтримує базову інфраструктуру, але і є рушійною силою розвитку технологій та інновацій, визначаючи прогрес і добробут сучасного суспільства.

Серед інших цілей розвитку відновлюваної енергетики є зниження рівня викидів вуглекислого газу. Зокрема, на період до 2050 року передбачено, що за рахунок впровадження генерації енергії з відновлюваних джерел дозволить в глобальних заходах емісію вуглекислого газу на 25% (рис. 1.2). [8]

Відновлювана енергетика передбачає використання різноманітних природних ресурсів, як першоджерела енергії, серед яких слід виділити енергію вітру, теплоти навколишнього середовища, енергію водотоків, енергію біомаси, а також енергію сонячного випромінювання. Остання, крім свого великого поширення характеризується і абсолютним першоджерелом

всіх інших видів енергії, в тому числі, й викопних. Зважаючи на поширеність сонячного випромінювання, динаміку розвитку та особливості використання сонячна електроенергетика повинна бути ключовим елементом досягнення Глобальних цілей. Тому, саме цьому напрямку електроенергетики слід приділяти особливу увагу. Головними представниками даного напрямку є сонячні електростанції з різною структурою та призначенням.

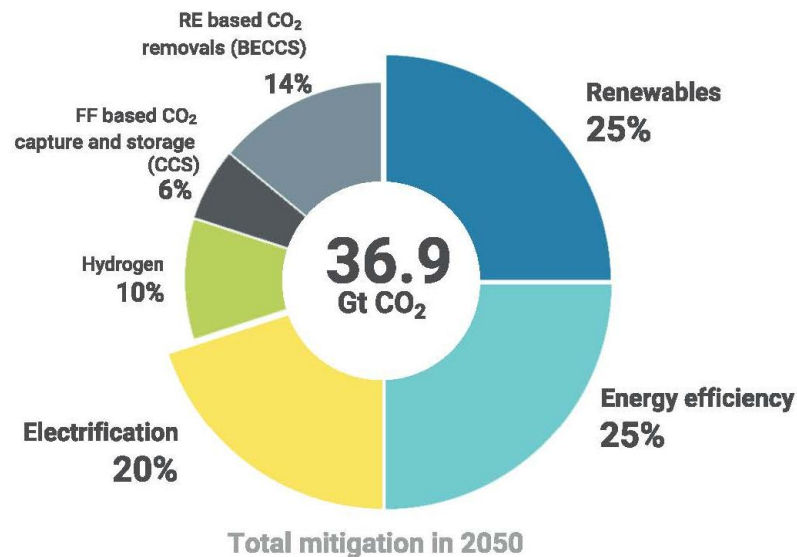


Рисунок 1.2 - Скорочення викидів до 2050 року за допомогою шести технологічних шляхів [8]

**Предметом дослідження** є процес обґрунтування структури та параметрів системи захисту та комутації сонячної електростанції із використанням лабораторного стенда.

**Об'єктом дослідження** є лабораторний стенд для дослідження структури сонячної фотоелектричної установки із акцентом на такі структурні елементи як система захисту та комутації силових кіл.

## 1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи

Сонячна енергетика характеризується значними динамічними характеристиками розвитку. Причому це не стосується лише однієї країни, чи

континенту. Це спостерігається в глобальному масштабі по всій планеті. Так, за даними [5] сонячна енергетика суттєво випередила інші галузі відновлюваної енергетики як за загальним рівнем встановленої потужності, так і за рівнем динаміки річного приросту (рис. 1.3).

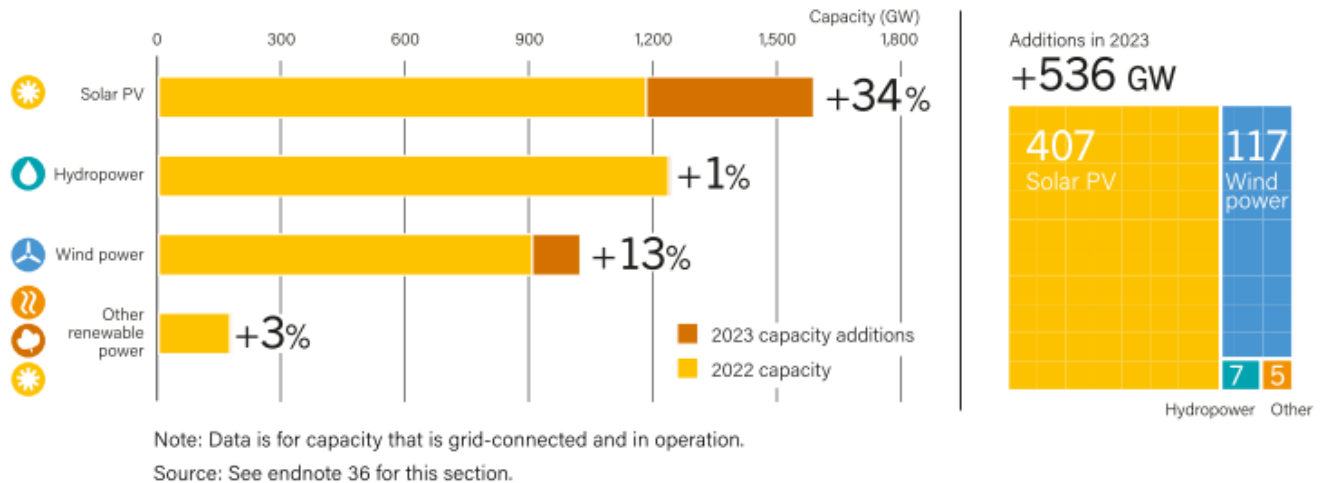


Рисунок 1.3 – Загальна потужність встановлених енергетичних систем за галузями, а також обсяги річного введення в експлуатацію енергетичних потужностей [5]

Як видно з рис. 1.3, загальна встановлена потужність сонячних станцій становить 1,589 ТВт, причому у 2023 році було введено в експлуатацію 407 ГВт потужностей, що становило в загальному прирості 34%. Це доволі значний приріст, який демонструє лідерські властивості галузі. Зокрема, вітроенергетика ввела в експлуатацію майже втричі менше потужностей, хоча ще недавно саме ця галузь була абсолютним лідером за встановленою потужністю.

Слід зауважити, що дана динаміка зростання очікується і в майбутньому, що передбачено, так званим, нульовим сценарієм Міжнародного енергетичного агентства до 2030 року [5] (рис. 1.4).

Як видно з рис. 1.4, у 2030 році очікується, що додана встановлена потужність сонячних електростанцій повинна перетнути межу у 600 ГВт, при сумарній доданій потужності, яка ледве не досягне 1 ТВт.

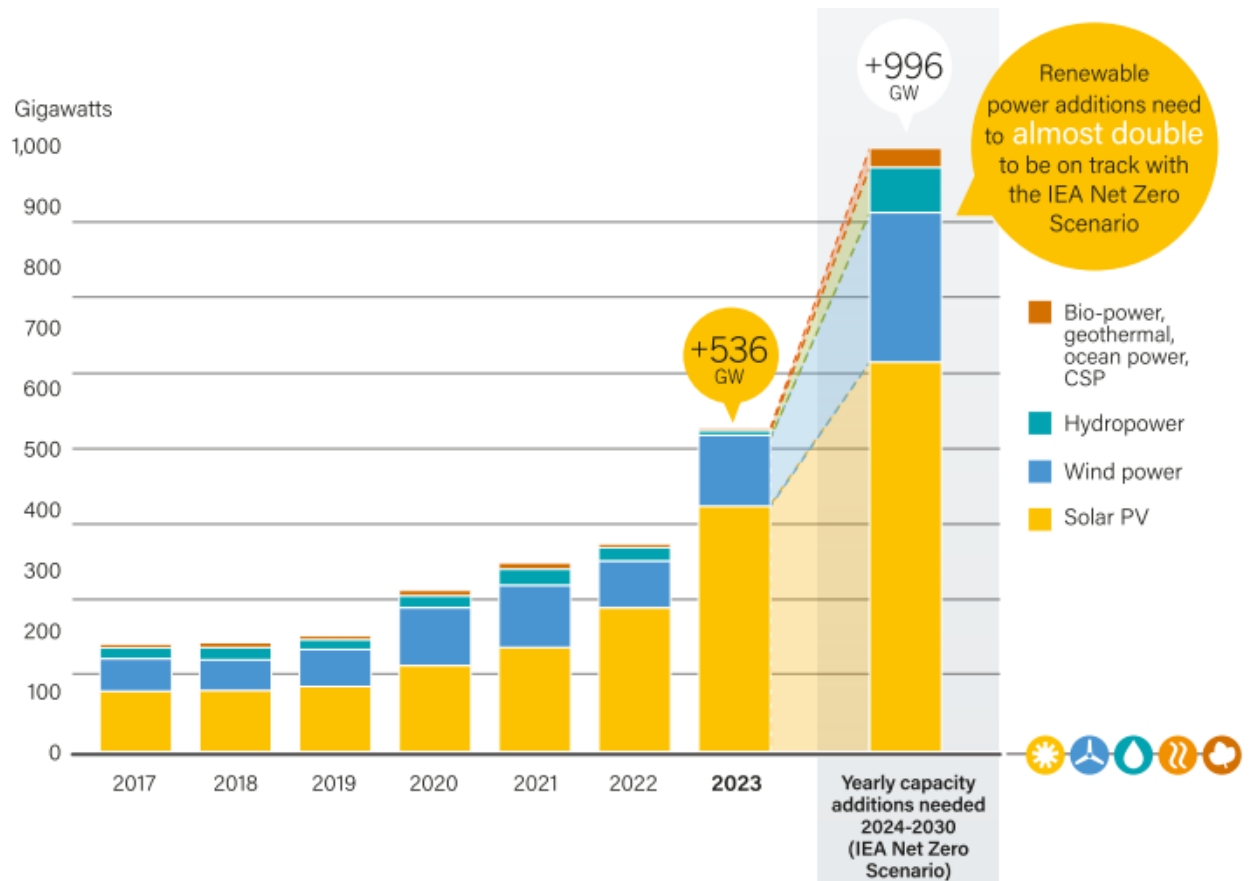


Рисунок 1.4 – Поточний стан та перспективи розвитку галузей відновлюваної енергетики до 2030 року

В Україні також динаміка зростання потужностей сонячних станцій демонструє постійне зростання, навіть не зважаючи на воєнні дії. Зокрема, на початок 2022 року було встановлено 6,2 ГВт сонячних станцій. На даний час в Україні функціонують сонячні станції встановленою потужністю 6,85 ГВт, з яких більш як 950 МВт перебувають на тимчасово окупованих територіях.

Проектування, спорудження та експлуатація сонячних електростанцій всіх типів потребують інженерний персонал, який здатен виконати всі види робіт з високою кваліфікацією, якісно та у визначені строки. Для цього в країні повинна бути розгорнута система фахової перед вищої та вищої освіти у галузі сонячної електроенергетики, яка серед іншого передбачає формування потужної матеріально-технічної бази навчання.



Найкращі результати навчання можна отримати за умови повного оснащення лабораторій матеріально-технічним забезпеченням, яке дозволяє повною мірою відобразити конструкцію, структуру та інші особливості сонячних станцій різної потужності. Для цього слід розробляти низку лабораторних стендів, серед яких одне з чільних місць повинен займати лабораторний стенд сонячної фотоелектричної установки із системою захисту та комутації силових кіл.

### **1.3 Мета і завдання роботи**

Метою даної роботи є обґрунтування параметрів та розробка лабораторного стенда для дослідження структури сонячних електростанцій, систем захисту та комутації, а також розробка методики виконання досліджень на ньому.

Відповідно до мети роботи, завданням є:

- аналіз конструктивних та технологічних параметрів фотоелектричних установок різної структури;
- аналіз теоретичних відомостей щодо організації систем захисту апаратури фотоелектричних установок;
- аналіз теоретичних відомостей щодо організації комутації силових кіл фотоелектричних установок;
- розробка лабораторного стенда сонячної установки для дослідження структури систем комутації та захисту енергообладнання;
- розробка методики дослідження структури систем комутації та захисту енергообладнання;
- розробка методичних рекомендацій для виконання лабораторних досліджень.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ З ДАНОГО ПИТАННЯ

### 2.1 Загальні відомості

Головне призначення фотоелектричних установок є генерування електричної енергії, які здійснюються за рахунок використання фотоелектричних перетворювачів – фотоелектричних панелей. Залежно від призначення, типу фотоелектричних елементів та за іншими особливостями фотоелектричні установки мають розгалужену класифікацію.

За способом розміщення сонячних модулів всі фотоелектричні системи діляться на наступні типи [12]:

- наземні сонячні електростанції;
- дахові сонячні електростанції;
- фасадні сонячні електростанції;
- сонячні електростанції інтегровані у конструкцію будівельних об'єктів;
- сонячні навіси і парковки;
- плавучі сонячні електростанції;
- мобільні (переносні) сонячні електростанції.

За можливістю стеження за сонцем фотоелектричні системи діляться на [12]:

- стаціонарні сонячні електростанції з розташуванням сонячних панелей на фіксованих опорних конструкціях;
- рухомі сонячні електростанції, що змонтовані на одноосьових сонячних треках зі змінним кутом нахилу по відношенню до поверхні землі (кут нахилу сонячних фотомодулів коригується автоматично або механічно кілька разів на сезон);
- рухомі сонячні електростанції, змонтовані на одноосьових сонячних

трекерах типу «схід-захід» (кут нахилу сонячних фотомодулів коригується автоматично протягом світлового дня);

- рухомі сонячні електростанції на двовісних сонячних трекерах (кут нахилу та азимут сонячних фотомодулів коригується автоматично протягом світлового дня).

За можливістю роботи спільно (паралельно) з існуючими силовими електричними мережами фотоелектричні системи діляться на наступні типи сонячних електростанцій [12]:

- мережеві сонячні електростанції;
- автономні сонячні електростанції змінного струму;
- автономні сонячні електростанції постійного струму;
- гібридні і резервні сонячні електростанції;
- сонячно-дизельні гібридні електростанції.

За типом використовуваної технології перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику фотоелектричні системи діляться на [12]:

- кристалічні кремнієві сонячні електростанції (найбільш поширеними є рішення на базі монокристалічних і полікристалічних кремнієвих сонячних модулів);
- сонячні електростанції на аморфному кремнії;
- тонкоплівкові сонячні електростанції на основі сполук типу CdTe;
- тонкоплівкові сонячні електростанції на основі сполук типу CIGS/CIS;
- сонячні електростанції на основі полімерних органічних сполук.

Залежно від конструкції сонячних панелей розрізняють наступні системи [12]:

- односторонні сонячні електростанції (дахові та наземні);
- двосторонні сонячні електростанції (bifacial solar panels);
- світлопрозорі сонячні електростанції (найчастіше використовуються у вигляді BIPV рішень).

За типом застосування фотоелектричні системи діляться на [12]:

- домашні сонячні електростанції;
- комерційні сонячні електростанції.

Залежно від способу подальшого використання виробленої електроенергії фотоелектричні системи поділяються на [12]:

- сонячні електростанції для продажу виробленої електроенергії за «зеленим» тарифом (в залежності від особливостей місцевого законодавства може продаватися як вся вироблена енергія, так і різниця між виробленою і спожитою електрикою);
- сонячні електростанції для продажу виробленої електроенергії з використанням системи аукціонів;
- сонячні електростанції, що генерують електроенергію для власного споживання без продажу залишків у мережу;
- балансуєчі сонячні електростанції.

Як видно з поданого матеріалу існує велика різноманітність фотоелектричних станцій. Однак, незважаючи на це, у всіх станціях є одна спільна структурна особливість. Вони всі, крім основного енергетичного обладнання, власне фотопанелей, контролерів, інверторів та акумуляторних батарей містять засоби захисту та комутації силових кіл.

Зважаючи на значну вартість основного енергетичного обладнання та необхідність забезпечити безпечну експлуатацію цього обладнання, існує потреба у її захисту від струмів короткого замикання, імпульсних завад високих напруг тощо. Тому, всі сонячні станції, незалежно від її потужності та технологічного призначення потребують засобів захисту та комутації.

## **2.2 Структура сонячних електроустановок різного типу**

Сонячні енергоустановки можуть бути побудовані за різною топологією. Вони можуть бути автономними, мережевими та гібридними.

Причому мережеві сонячні установки також можуть бути такими, що не віддають вироблену електроенергію до зовнішньої електромережі, тобто вони працюють лише на власне споживання. Розглянемо кожен із зазначених типів сонячних установок більш детально.

Як було вказано, до першого типу можна віднести автономні установки, які працюють без прив'язки до зовнішньої електромережі (рис. 2.1).

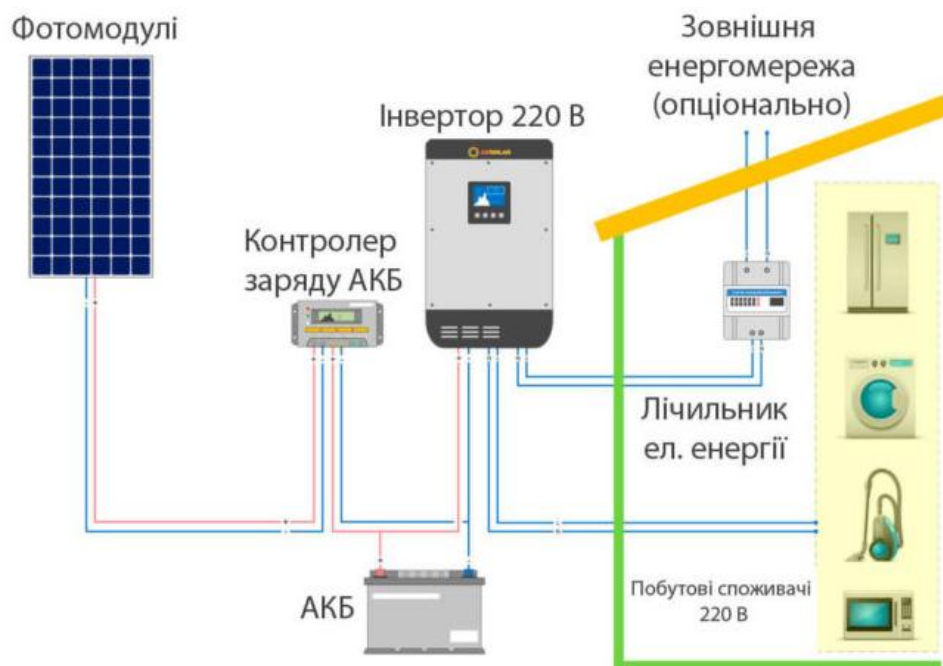


Рисунок 2.1 – Схема автономної фотоелектричної установки [17]

Серед особливостей структури такої установки є наявність контролера заряду акумуляторних батарей та акумуляторні батареї. Причому, наявність інвертора не є обов'язковою в таких установках. Вони встановлюються лише у випадках, коли необхідно забезпечити для споживачів змінний струм.

Такого типу установки не обов'язково повинні бути абсолютно автономними. Користувач може на певний період часу відмикати об'єкт живлення від зовнішньої електромережі, і тоді сонячна установка буде живити цей об'єкт лише від сонячних панелей та від акумуляторів.

Ще однією особливістю таких систем є їх висока вартість, оскільки тут присутні засоби акумулювання електроенергії, які зазвичай є доволі

дорогими. Крім того, такі установки навряд чи можуть претендувати на поширення, оскільки вони не зовсім відповідають умовам гарантованого живлення об'єкта електроенергією.

До другого типу відносять мережеві фотоелектричні установки. Вони повинні бути завжди приєднані до зовнішньої електромережі. Такого типу установки характеризуються найпростішою структурою, оскільки тут є лише сонячні панелі та мережевий інвертор (рис. 2.2). Однією із особливостей такого типу установок є неможливість їх роботи без наявності електроенергії у зовнішній електромережі. Це пов'язане з тим, що мережеві інвертори потребують для прив'язки до електромережі сигнал від неї. У випадку відсутності електроенергії у зовнішній електромережі мережеві інвертори припиняють власну генерацію. З цим пов'язані численні втрати мережевих установок під час тривалих вимкнень, наприклад, під час блек-аутів.

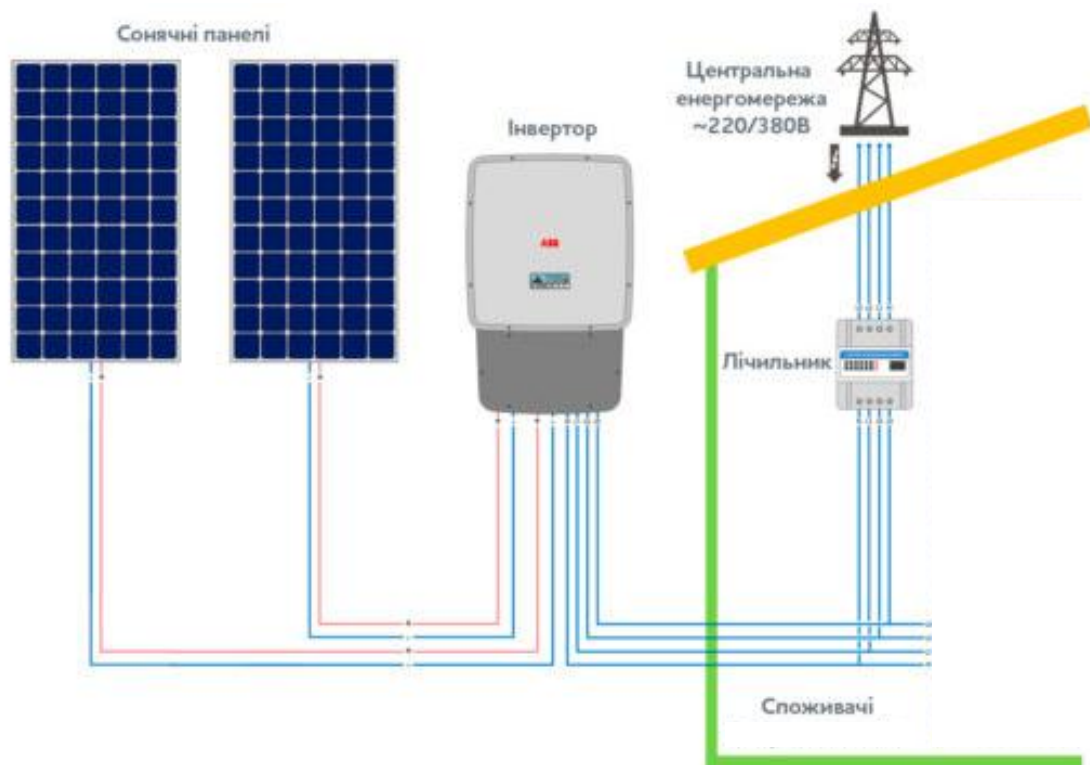


Рисунок 2.2 – Схема мережевої фотоелектричної установки [17]

Система комутації та захисту тут є традиційною і встановлюється як по лінії постійного, так і по лінії змінного струму.

Слід зазначити, що питома вартість таких установок є найнижчою через відсутність систем акумулювання електроенергії. Додатковим позитивним аспектом такої установки є можливість додаткового заробітку при реалізації надлишково виробленої електроенергії за "зеленим" тарифом.

Третя група фотоелектричних установок – гібридна – об'єднує в собі переваги та недоліки перших двох. В складі такої установки повинні бути і мережевий інвертор і система акумулювання електроенергії (рис. 2.3). Завдяки цьому, такі установки є найдорожчими від інших. Але вони мають велику гнучкість у реалізації алгоритмів роботи. Система комутації та захисту тут є як постійного, так і змінного струму з додаванням ще системи захисту та комутації акумуляторів.

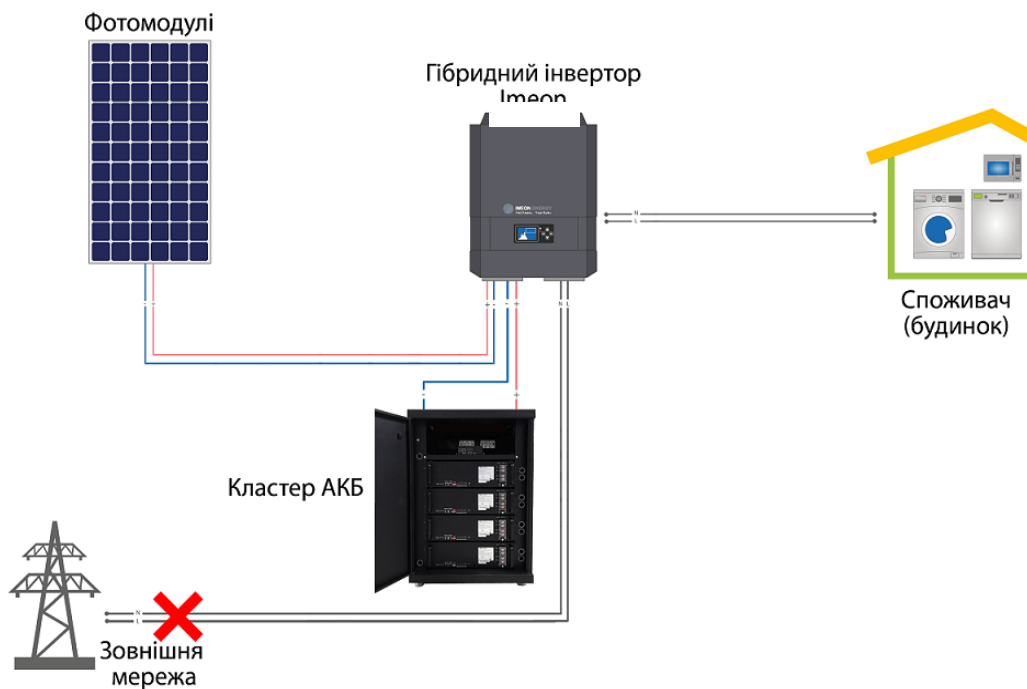


Рисунок 2.3 – Схема гібридної фотоелектричної установки [17]

Гібридні установки можуть бути побудовані двома способами: з використанням контролера та інвертора, а також із використанням гібридного інвертора з функцією контролера. Такі установки можуть серед іншого працювати на зовнішню електромережу з продажем надлишку за "зеленим" тарифом.

Але найважливішою особливістю та цінністю таких установок є можливість накопичувати електроенергію і використовувати її або у пікові години доби (для зниження навантаження на зовнішню електромережу), або у періоди планових та аварійних відключень електроенергії. На даний час гідридні фотоелектричні установки є найбільш популярними в Україні через імовірність зимових блек-аутів.

Щодо четвертого типу фотоелектричних установок, то це модифікація другого типу з особливістю роботи мережевого інвертора. В такій мережевій системі крім мережевого інвертора присутній спеціальний смарт-лічильник, або спеціальний комутувальний пристрій, які відслідковують імовірні перетоки виробленої електроенергії до зовнішньої електромережі (рис. 2.4). У першому випадку буде відбуватися комунікація смарт-лічильника із інвертором щодо зниження потужності генерації ним до рівня, який відповідає поточному рівню споживання електроенергії. У другому випадку буде відбуватися пере направлення надлишку виробленої електроенергії на сторонні споживачі, які будуть здійснювати утилізацію цієї електроенергії, наприклад, на ТЕН системи гарячого водопостачання тощо.

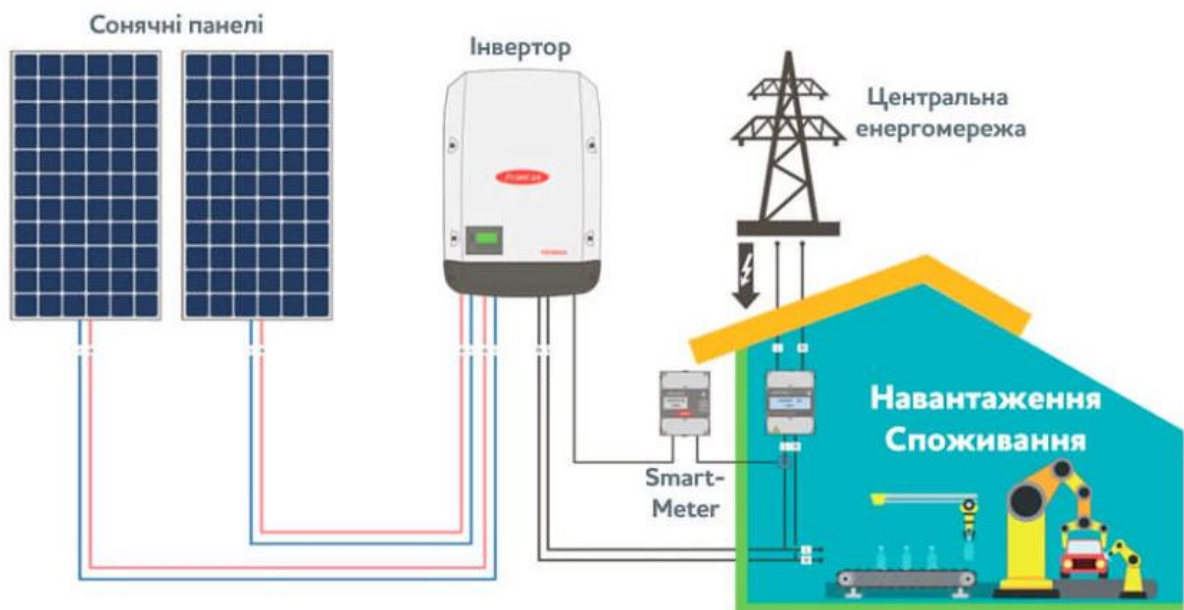


Рисунок 2.4 – Схема фотоелектричної установки для власного споживання без передачі до зовнішньої електромережі [17]



В такого типу установках потужність генерування електроенергії підбирається таким чином, що її максимальне значення завжди було меншим від мінімального рівня споживання. Такого типу системи стали популярними не лише для живлення промислових об'єктів, а й житлових.

### **2.3 Засоби захисту та комутації сонячних електростанцій**

На роботу сонячних станцій впливають багато чинників, головний з яких це сонячна активність впродовж доби, сезону тощо. Сонячна радіація є ключовим елементом впливу на продуктивність сонячних станцій. Також на продуктивність установок певною мірою впливає температура навколишнього середовища та вологість повітря. Однак, є й інші природні чинники, які можуть негативно впливати. До таких чинників слід віднести такі явища як блискавки.

Механізм формування блискавки визначається наявністю зон з різним електричним потенціалом, який спричинюється нерівномірністю розподілу в товщі простору вологи, льоду, повітряних потоків. Все це спричинює формування в хмарах двох зон з різнойменним зарядом – додатним та від'ємним. За умови перевищення якого критичного рівня різниці потенціалів формується електричний розряд, який і називається блискавкою. Блискавка може бути сформована в хмарах, а також між хмарою та землею. Ці розряди можуть бути як одинарними, так багатократними, залежно від умов, які сформували цю блискавку.

Прямі удари блискавки несуть сильну загрозу наземним конструкціям сонячних станцій, житловим та промисловим об'єктам через величезну енергію, яку вони несуть. Власне під час формування блискавки спостерігаються імпульсні струми з високою напругою. Слід зауважити, що крім прямого шкідливого впливу удару блискавки можна спостерігати й опосередкованого впливу її дії на електромережі, засоби телекомунікації

електронні пристрої тощо. Також суттєво може постраждати й сонячна електростанція, яка містить чутливі електронні компоненти, зокрема, фотопанелі, інвертори, контролери, системи моніторингу, телекомунікації тощо. Відповідно до цього сонячні станції при встановленні повинні бути захищені від імпульсних перенапруг із застосуванням спеціальних пристроїв захисту – засобами захисту від імпульсних перенапруг, які можуть бути виконані за трьома технологіями:

- відсікальні засоби (зазвичай це розрядники);
- обмежувальні засоби (зазвичай це напівпровідникові засоби, такі як обмежувальні діоди, стабілітрони, а також головна група – варистори);
- комбіновані засоби (це системи, які об'єднують в свої системі особливості перших двох груп).

Здійснимо коротку оцінку засобів для захисту сонячних станцій від імпульсних перенапруг.

Відсікальні засоби – розрядники, мають переривну вольт-амперну характеристику. Вони виконані з герметичного балона, заповненого інертним газом, наприклад, неоном. В нормальному стані при нормативній напрузі в системі розрядник працює як ізолятор, тобто, він не проводить електроенергію. При появі високого потенціалу на вході відбудеться раптовий розряд (пробій), що викличе з'єднання фазного провідника із провідником землі. В цьому випадку відбудеться короткочасне закорочування силового кола на землю. Як тільки імпульсна перенапряга спаде, то розрядник знову переходить до режиму ізолятора. Конструкція розрядників дозволяє їх використовувати багатократно, тобто вони можуть працювати декілька років без заміни. Особливістю розрядників є їх висока ефективність та здатність розсіювати велику частку (до 90%) імпульсних струмів.

Обмежувальні елементи – варистори, мають безперервну вольт-амперну характеристику. Варистори виготовляють з оксиду цинку, що

робить їх доступними за вартістю, відносно розрядника. Ці пристрої є таким собі резистором з великим опором, який не дозволяє замкнути фазний провідник на землю, і який при прикладанні високої напруги його зменшує пропорційно до неї до такого рівня, що забезпечує заколючування фазного провідника на землю. Цим забезпечиться відведення небезпечної високої напруги з силового кола. Варистори характеризуються швидкою реакцією на перенапругу, з періодом менш як 25 нс, а також володіють добрим розсіюванням струму розряду. Крім того, ці пристрої характеризуються низькою вартістю. Зазвичай варистори використовуються в засобах захисту від імпульсних перенапруг 2 і 3 типу, як такі, які добре працюють з індукованими перенапругами. Щоправда в умовах великих імпульсних струмів вони можуть виявитися не достатньо ефективними. Ще однією особливістю роботи варистора є його одноразове спрацювання, що може ставити під сумнів його здатність в умовах реальних блискавок, які можуть мати декілька розрядів.

Одним із недоліків систем захисту ліній від перенапруг є те, що варистор навіть у справному стані має здатність проводити мікроструми, які можуть спричинити деякі втрати потужності установки. Крім того, тривала робота таких пристроїв може бути обмежена власне особливістю проводити мікроструми. За певний період струм протікання через варистор може зростати в силу його старіння, і в певний момент часу, коли ці струми будуть збільшеними відбуватиметься перегрів варистора, що може спричинити його пробій. Тобто буде імітовано скид наднапруг через деградацію варистора. Це може негативно вплинути на роботоздатність силових пристроїв, у випадку значного впливу на величину напруги силового кола.

Комплексні елементи – це пристрої, які об'єднують або в одному корпусі, або в одному вузлі два вищенаведені типи пристроїв. Наприклад, фірма CITEЛ виготовляє комплексні обмежувачі перенапруг за технологією VG. В цій технології застосовується послідовне приєднання розрядника та

варистора. За таких умов досягається вища надійність роботи захисного обладнання, усувається можливість самовільного спрацювання внаслідок деградації робочого елемента тощо. Так, наявність розрядника забезпечує відсутність фізичного кола на варисторі, що суттєво подовжує термін його експлуатації. Період спрацювання таких комбінованих пристроїв є в межах від 20 до 25 нс.

Наведемо приклади обладнання, яке може використовуватися в сонячних електростанціях для захисту їх від імпульсних перенапруг на прикладі засобів словенської фірми ETI. Зокрема, це обмежувачі перенапруги ETITES M T12 PV (рис. 2.5, а), які призначені для захисту фотоелектричних станцій від імпульсів перенапруги. В цих пристроях використовується варистор, який додатково обладнано тепловим захистом, який у випадку перевищення струмом допустимого значення відключає обмежувач від мережі (рис. 2.5, б).

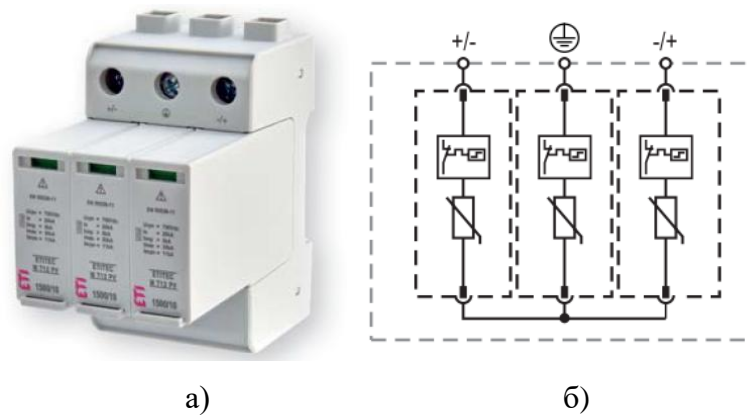


Рисунок 2.5 - Обмежувачі перенапруги ETITES M T12 PV [4]

Для захисту від імпульсних перенапруг мережевих інверторів застосовують обмежувачі перенапруги ETITES M T12 950/12,5 4У (рис. 2.6, а), які мають чотири паралельно приєднаних варисторів, які з'єднані за схемою, подано на рис. 2.6, б).

Для роз'єднання силових кіл сонячних електростанцій застосовують вимикачі навантаження, які можуть бути постійного та змінного струму.

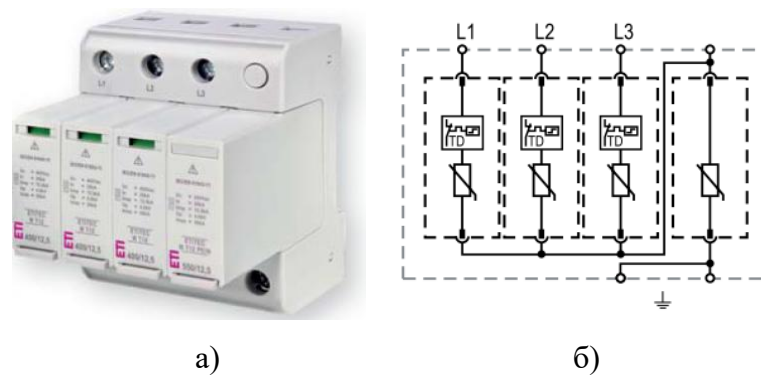


Рисунок 2.6 - Обмежувач перенапруги ETITES M T12 950/12,5 4Y [4]

Спеціальна серія вимикачів-роз'єднувачів LS SMA (рис. 2.7) використовується для комутації перетворювачів струму DC/AC та інших елементів фотоелектричних систем (сонячних електростанцій). Ця лінійка вимикачів комутує навантаження від 3 до 58 ампер, номінальною напругою від 500 до 1500V постійного струму.



Рисунок 2.7 - Вимикач навантаження LS SMA [4]

Для комутації перетворювачів струму DC/AC, а також інших елементів фотоелектричних PV-систем використовуються вимикачі LBS DC (рис. 2.8). Конструкція вимикачів дозволяє комутувати навантаження до 250A на полюс при напрузі 1000V DC (категорія DC 21B). Контакти вимикача виготовлені з матеріалу, що запобігає їх окисненню під час експлуатації. Мінімальний час комутації захищає пристрій від нагрівання.



Рисунок 2.8 - Вимикач навантаження LBS DC [4]

Вимикачі LBS AC (рис. 2.9) використовуються для безпечної комутації ліній напругою до 1000V змінного струму, які з'єднують інвертори фотоелектричних PV-систем або шафи збору потужності з мережею. Конструкція вимикачів дозволяє комутувати навантаження до 400А при напрузі 1000V AC (категорія AC-22В).



Рисунок 2.9 - Вимикач навантаження LBS AC [4]

Захист силових ліній також відноситься до важливих структурних рішень у електричній схемі сонячних електростанцій. Такий захист здійснюється як по лінії постійного, так і по лінії змінного струму. Зокрема, йдеться про захист від короткого замикання проводів, який може бути реалізований за рахунок використання запобіжників. Найбільш поширеним

варіантом є використання плавких вставок, які розраховуються на номінальний та максимальний струми спрацювання.

Зокрема, для захисту ліній постійного струму зі сторони фотопанелей застосовуються запобіжники циліндричні CH gPV (1000V DC) (рис. 2.10, а) та CH gPV (1500V DC) (рис. 2.10, б). Вони виготовляються з габаритними розмірами та корпусами 10x38, 14x51, 10x85, 14x85 на струм від 10 до 63 А.



Рисунок 2.10 – Циліндричні запобіжники типу gPV [4]

Для даного типу запобіжників необхідним є застосування тримачів запобіжників EFH DC (рис. 2.11).

Для захисту ліній постійного струму з напругою 1000 і 1500 В з струмами понад 100А застосовують ножові запобіжники NH DC 1000V gPV (рис. 2.12, а) та NH DC 1500V gPV (рис. 2.12, б).

Для даного типу запобіжників застосовують тримачі РК DC (рис.2.13, а), РК XL (рис.2.13, б), U...GZ/1500/H (рис.2.13, в), TL1,3 (рис.2.13, г).

Захист по стороні змінного струму реалізовується за допомогою ножових запобіжників NH 800V AC з характеристикою gG (рис. 2.14, а) та характеристикою gS (рис. 2.14, б).



Рисунок 2.11 – Тримачі запобіжників типу EFH DC [4]



Рисунок 2.12 – Ножові запобіжники NH DC gPV [4]

Для ліній захисту інверторів по лінії змінного струму використовують роз'єднувачі ножових запобіжників SL 800V AC (рис. 2.15).



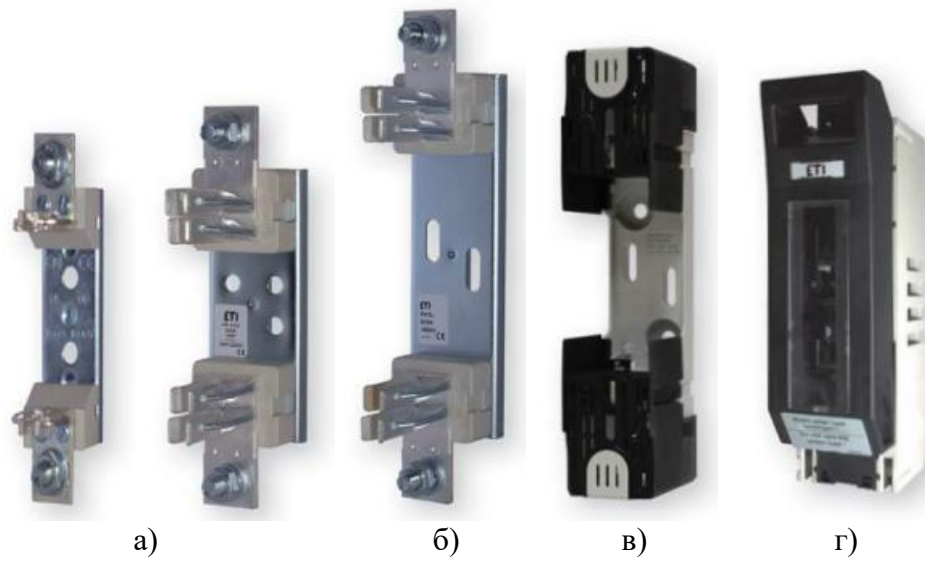


Рисунок 2.13 – Тримачі запобіжників постійного струму [4]



Рисунок 2.14. – Ножові запобіжники NH 800V AC з характеристикою gG і gS



Рисунок 2.15 – Тримачі запобіжників змінного струму [4]

За опрацьованою методикою визначення структури систем захисту будується електрична схема їх приєднання до сонячної станції, як це показано на рис. 2.16.

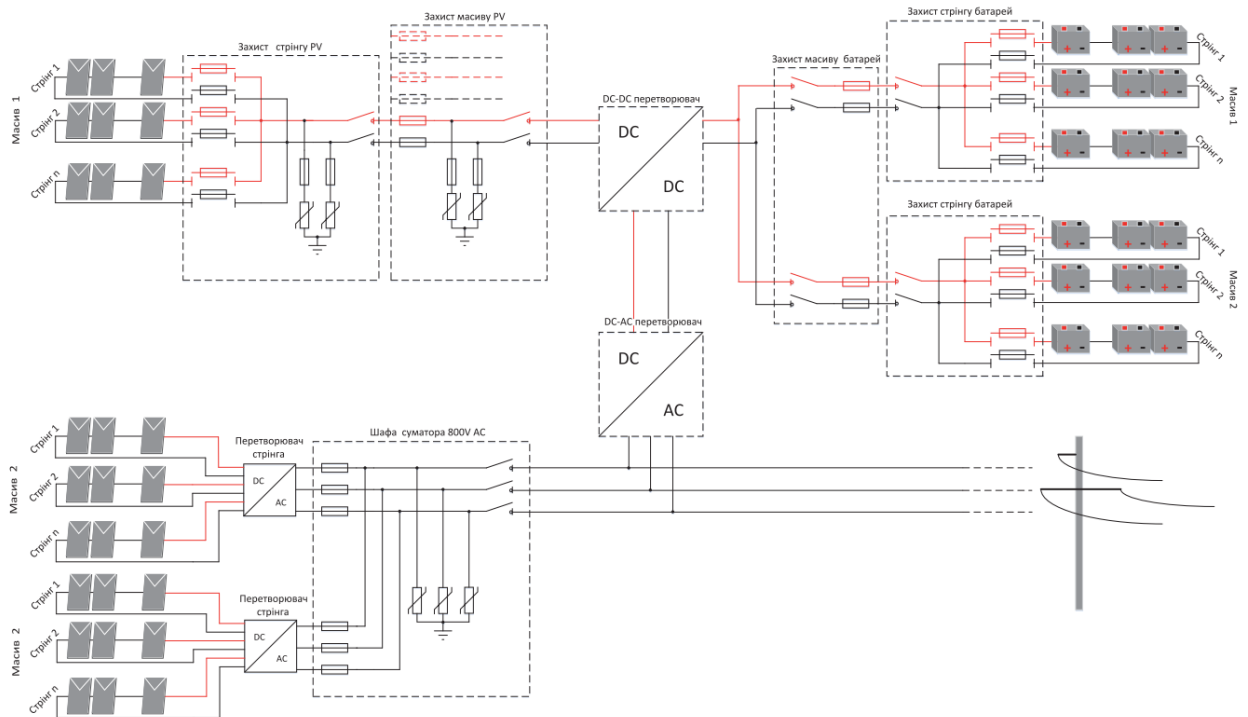


Рисунок 2.16 – Електрична схема приєднань сонячної електростанції [4]

Як видно з огляду, для захисту сонячних станцій застосовується велика номенклатура засобів, кожен з яких потребує ретельного підбору стосовно місця застосування, вибору оптимальних електричних параметрів спрацювання, діапазону робочих напруг та струмів тощо.

## **3 РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

### **3.1 Обґрунтування структури лабораторного стенда**

Згідно з назви лабораторного стенда, в структурі навчального стенда є сонячна фотоелектрична установка, яка реалізована на плиті ДСП, що закріплена на металевому каркасі.. До структури стенда входить: сонячна фотоелектрична панель; мережевий гібридний інвертор; акумулятор; щит захисту постійного струму; щит захисту змінного струму; щит захисту акумуляторної батареї; з'єднувальні провідники.

Кожен із перелічених структурних елементів є завершеною конструктивною одиницею з відповідними електричними, габаритними та масовими показниками.

Всі структурні компоненти сонячної фотоелектричної установки розміщені на похилій плиті та закріплені гвинтами, що дозволяє виконати монтаж та демонтаж цих компонентів. Між структурними компонентами залишено між елементні дистанційні простори, які дозволяють виконати з'єднання відповідних входів і виходів блоків провідниками із застосуванням конекторів типу МС4. Похила плита дозволяє забезпечити зручність щодо доступу до кожного із структурних елементів системи. Для зручності аналізу схемних рішень з'єднання структурних елементів між собою у систему кришки щитів можуть бути демонтовані. Розміри плити вибрані таким чином, щоб було зручно дістатися до всіх структурних елементів стоячи перед лабораторним стендом без застосування додаткових засобів.

Для зручності аналізу схеми фотоелектричної системи, яка є рекомендована виробником електротехнічних виробів (фірма ЕТІ) в нижній частині стенда подано зразковий варіант.

Розташування структурних елементів дозволяє відстежити ланцюг силових кіл та зрозуміти алгоритм монтажу систем захисту та комутації для сонячних станцій будь-якого розміру.

### 3.2 Апаратна частина лабораторного стенда

Як було зазначено вище, основними базовими елементами лабораторного стенда є металевий каркас та плата ДСП, на якій виконується кріплення необхідних компонентів. На каркасній конструкції здійснюється монтаж структурних компонентів сонячної електростанції: сонячна панель, систем захисту та комутації, інвертор, акумулятор.

Як зразок інвертора використано макет гібридного інвертора з відповідними комутаційними входами та виходами: вхід мережа 220 В; вихід мережа 220 В – споживач; вхід фотопанелі; вхід акумулятор (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Макет гібридного інвертора

До структурних компонентів систем захисту та комутації входять три щити: захист по лінії постійного струму; захист по лінії змінного струму та захист акумулятора.

До складу щита захисту постійного струму крім власне пластикового щита зовнішнього монтажу на 12 корпусів входить: вимикач навантаження LS SMA; дві пари тримачів циліндричних запобіжників типу EFH 10 DC із запобіжниками 25 А; пристрій захисту від імпульсних перенапруг ETITEC C T2 PV (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Щит захисту постійного струму

До складу щита захисту змінного струму входить: трифазний автоматичний вимикач ETIMAT 6 з номіналом по струму 25А; трифазний пристрій захисного вимкнення EFI-4 з номіналом по струму 25А та струмом спрацювання 30 мА; пристрій захисту від імпульсних перенапруг ETITEC C T2 275/20 (рис. 3.3).

До складу щита захисту акумуляторних батареї входить: пластиковий щит зовнішнього монтажу на 8 корпусів; вимикач навантаження типу LS SMA; пара тримачів циліндричних запобіжників типу EFH 10 DC (рис. 3.4). В навчальному стенді використано гелевий акумулятор фірми Altek типу АВТ-80-12-GEL (рис.3.5).



Рисунок 3.3 – Щит захисту змінного струму



Рисунок 3.4 – Щит захисту акумулятора



Рисунок 3.5 – Акумулятор Altek ABT-80-12-GEL

### 3.3 Розробка макета лабораторного стенда

Для розробки макета лабораторного стенда було придбано комплектуючі, які б відображали основні структурні компоненти гібридної фотоелектричної установки. Для формування лицевої поверхні, на якій біде відображено схему та апаратні засоби застосовано лист ДСП з розмірами 1500 мм у висоту і 2000 мм у ширину. Такий лист дозволяє повністю розмістити на поверхні всі структурні елементи та проводити монтажні та демонтажні роботи без обмежень у просторі стосовно наявних компонентів.

У верхньому лівому куті листа розміщено фотоелектричну панель, у правому верхньому куті – гібридний інвертор (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Макет лабораторного стенда гібридної фотоелектричної установки

Щити захисту та комутації AC та DC розміщені між панеллю та інвертором. В правому нижньому куті під інвертором розміщено щит захисту акумулятора і ще нижче – сам акумулятор.

У вільному полі – внизу зліва – розміщено зразок схеми гібридної сонячної установки, яку рекомендує запроваджувати фірма ETI. У вільних полях над щитами захисту та комутації АС та DC в перспективі можуть бути розміщені додаткові інформаційні матеріали.

### **3.4 Виготовлення експериментального стенда**

Для виготовлення навчального стенда було використано наявний матеріал в лабораторії відновлюваної енергетики ЛНУП. Зокрема, за основу стенда було застосовано невикористаний каркас від навчальної парти. Лист ДСП було окремо придбано для потреб навчального процесу та підготовлено відповідний розмір. Для кріплення листа на каркасі його було дещо змодифіковано. Зокрема, верхня частина була дооснащена похилою поверхнею, яка реалізована приварюванням квадратної профільної труби з розмірами 25x25 мм. Таким чином було задано необхідний ухил розміщення листа ДСП, що покращує зручність використання стенда.

Відповідно до запропонованого розташування структурних компонентів, як це було показано на рис. 3.6, було виконано розмітку отворів для кріплення апаратних засобів. Кріплення засобів здійснюється за допомогою гвинтів, що максимально відображає фактичну процедуру монтажу структурних компонентів на об'єкті.

Для зручності аналізу логістики та схеми приєднань як загалом, так і в кожній структурній одиниці зокрема, кришки щитів можуть бути не змонтовані, або монтуються після виконання всіх приєднань відповідно до прийнятої схеми.

Загальний вигляд експериментального стенда гібридної фотоелектричної установки із структурними компонентами, які відображають елементи захисту та комутації силових кіл, подано на рис. 3.7.





Рисунок 3.7 – Загальний вигляд лабораторного стенда гібридної фотоелектричної установки

Для використання в навчальному процесі даного стенда необхідно розробити методику виконання лабораторної роботи, а також розробити методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи.

### 3.5 Розробка методики використання лабораторного стенда

Лабораторний стенд є навчально-лабораторною базою для вивчення основ схемотехніки та монтажу компонентів сонячних електростанцій, засобів їх захисту та комутації, силових елементів, акумуляторів тощо.

Лабораторний стенд використовується наступним чином:

- 1) розробляється схема сонячної електростанції, за якою буде виконано монтаж структурних компонентів;

2) здійснюється опрацювання методики визначення параметрів силових кіл, і на їх основі підбору відповідних засобів (запобіжники, тримачі запобіжників, пристрої захисту від імпульсних перенапруг, вимикачі навантаження тощо);

Наведемо приклад обґрунтування параметрів засобів захисту та комутації для сонячної електростанції.

Захист на стороні постійного струму. Кожна частина установки на стороні постійного струму повинна бути стійкою до довгострокового перевантаження по струму. Крім того, для виконання регламентних, сервісних та ремонтних робіт необхідно мати можливість роз'єднувати коло постійного струму, тобто є необхідним використання вимикача навантаження постійного струму.

Відповідно до рекомендацій фірми ETI [4], є чітка методика, якою слід користуватися для вибору запобіжників для сонячних станцій. На рис. 3.8 і рис. 3.9, подано алгоритм дій для визначення параметрів та вибору запобіжників типу СН gPV та NH gPV.



Рисунок 3.8 – Алгоритм вибору запобіжників СН gPV

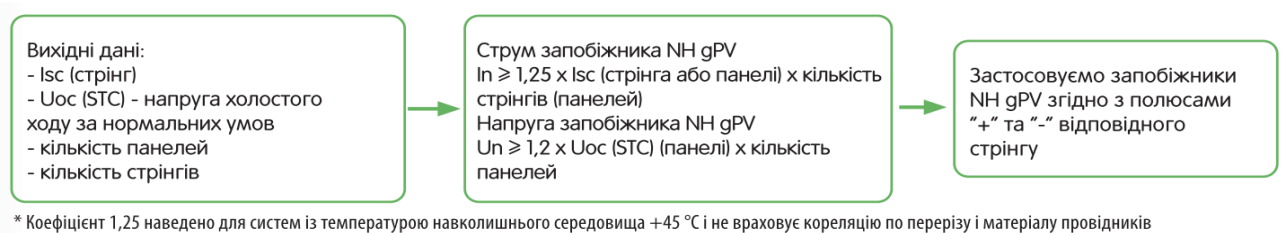


Рисунок 3.9 – Алгоритм вибору запобіжників NH gPV

Якщо є необхідним влаштування захисту для кожного із стрінгів плавкими запобіжниками, то їх характеристики вибираються з наступних умов

$$U_n \geq U_{oc} \cdot 1,2 \text{ В}, \quad (3.1)$$

$$I_n = \frac{I_{sc}}{K} \cdot 1,4 \text{ А}, \quad (3.2)$$

де  $K$  – температурний коефіцієнт корекції.

Для наших умов, отримаємо результат

$$U_n \geq 822 \cdot 1,2 = 986,4 \text{ В},$$

$$I_n = \frac{10,53}{0,96} \cdot 1,4 = 15,36 \text{ А}.$$

Для даного параметра умов потрібно використати плавкий запобіжник типу СН 10×38 gPV UL2579 з наступними параметрами номінальна напруга 1000 В, номінальний струм 16 А. Даний запобіжник може бути вставлений у роз'єднувач плавких запобіжників типу EFH 10 DC 2р.

Роз'єднання силового кола постійного струму можна реалізувати із застосуванням роз'єднувача навантаження LS16 SMA A2 1000V фірми ETI [4].

Захист від імпульсних перенапруг може бути реалізований на базі обмежувальних засобів, таких як обмежувачі імпульсних перенапруг. Ці засоби необхідно встановити для кола постійного струму, так і для кола змінного струму. В першому випадку вони будуть захищати від імпульсних перенапруг фотопанелі та інвертор. В другому випадку вони будуть захищати інвертор та електрообладнання у внутрішній електромережі.

Для вибору засобів захисту від імпульсних перенапруг необхідно розрахувати максимальну пульсацію робочої напруги постійного струму, з використанням формули

$$U_{CPV} \geq U_{oc} \cdot 1,2. \quad (3.3)$$

Для наших умов, отримаємо такий результат

$$U_{CPV} = 822 \cdot 1,2 = 986,4 \text{ В.}$$

Відповідно до результатів розрахунку слід вибрати обмежувач перенапруг типу ЕТІТЕС S В-PV 1000/20 кА. Цей пристрій відповідає умовам використання класу II. Його робоча напруга становить 1000 В, а номінальний струм рівний 20 кА [4].

Захист по стороні змінного струму. В цьому колі слід вибрати засоби захисту інвертора, який на виході забезпечує номінальний струм 20 А. Якщо буде застосовано провідники з поперечним перерізом 16 мм<sup>2</sup>, то короткочасне максимальне може становити 56 А. Відповідно до цього, автоматичний вимикач повинен бути розрахований на робочий струм, який буде знаходитися в межах

$$I_b \leq I_n \leq I_{k \max}, \quad (3.4)$$

або

$$20 \text{ А} \leq I_n \leq 56 \text{ А}.$$

Для таких умов може бути вибрано вимикач типу CLBS 40 з номінальним струмом  $I_n = 40 \text{ А}$  [6].

Максимальна пульсація робочої напруги на стороні АС контуру визначається як

$$U_{CH} = 400 \cdot 1,2 = 480 \text{ В.}$$

Для даних умов можна вибрати обмежувач напруги типу ЕТІМАТ 6 С40 690/20 4+1 РС. Даний автоматичний вимикач є пристроєм II типу. В нього робоча напруга становить 760 В, а максимальний струм рівний 20 кА [6].

- 3) здійснюється вибір комплектуючих та збирання щита захисту та комутації по лінії постійного струму;
- 4) здійснюється вибір комплектуючих та збирання щита захисту та комутації по лінії змінного струму;

5) здійснюється вибір комплектуючих та збирання щита захисту та комутації по лінії акумулятора;

Наведемо приклад вибору параметрів системи захисту акумулятора

Для правильного вибору засобів захисту лінії з'єднання акумулятора з силовими колами слід дотримуватися чотирьох основних правил. Зокрема, необхідно визначити:

- точку короткого замикання;
- номінальну напругу системи;
- робочу точку системи акумулявання;
- селективність між вибраним запобіжником та внутрішнім запобіжником акумулятора.

Методику вибору запобіжника акумулятора зручно ілюструвати на діаграмі, яка міститься в довідкових матеріалах проспектів фірми ETI [4].

На рис. 3.10, подано електричну схему приєднання акумулятора до силової мережі та умову, для якої необхідно підібрати запобіжники.

На рис. 3.11, подано алгоритм вибору точки короткого замикання.

На рис. 3.12, подано алгоритм розрахунку номінальної напруги та вибору робочої точки системи.

На рис. 3.13, подано алгоритм перевірки на селективність між вибраним запобіжником та внутрішнім запобіжником акумулятора.

- 6) вибирається та закріплюється акумулятор;
- 7) вибирається та закріплюється інвертор;
- 8) на листі ДВП закріплюються щити та силові компоненти;

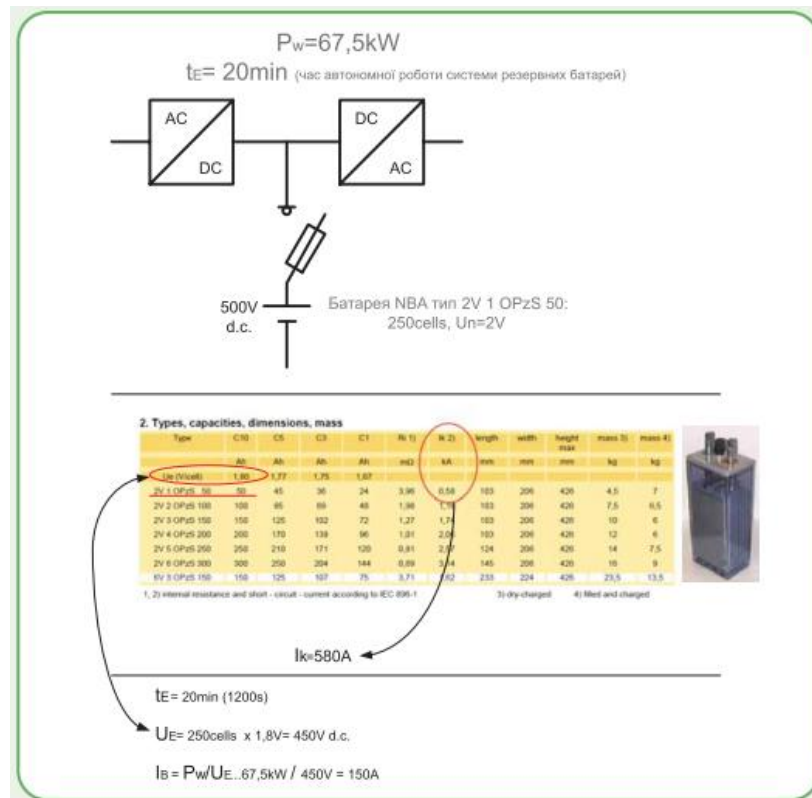


Рисунок 3.10 - Електрична схема приєднання акумулятора та вихідні параметри для розрахунку

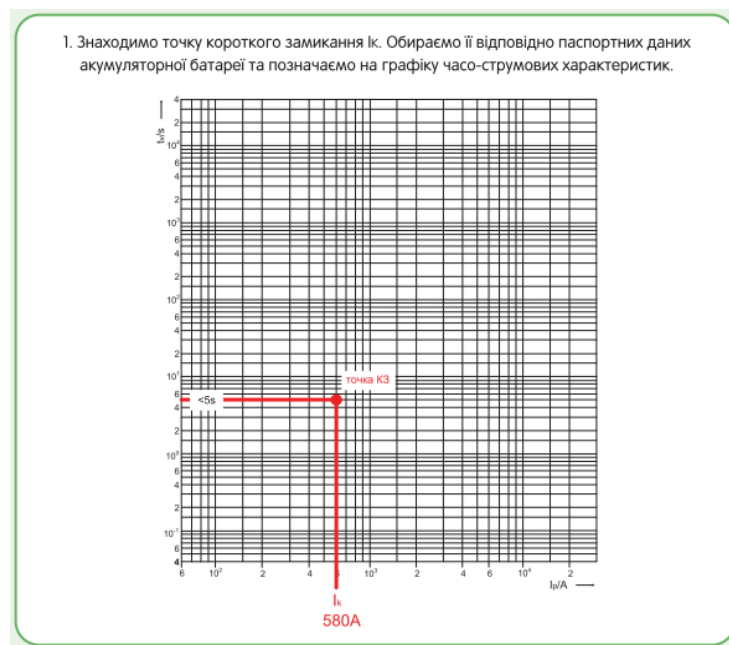


Рисунок 3.11 - Алгоритм вибору точки короткого замикання

9) здійснюється обв'язка інвертора (приєднання до інвертора щитів захисту та комутації DC, AC і акумулятора);

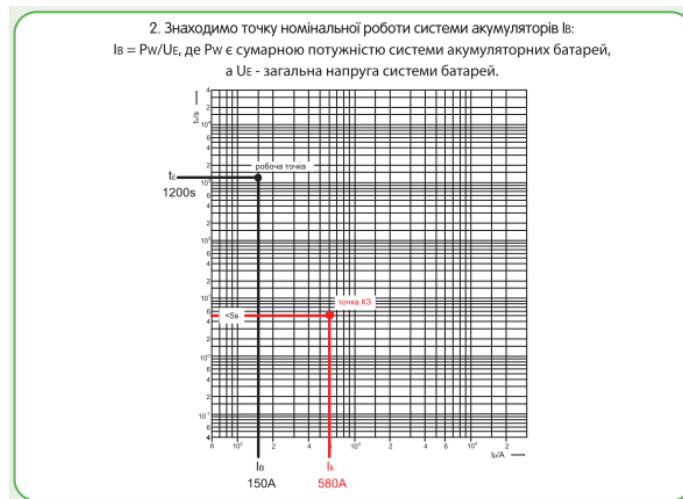


Рисунок 3.12 – Алгоритм розрахунку напруги робочої точки системи

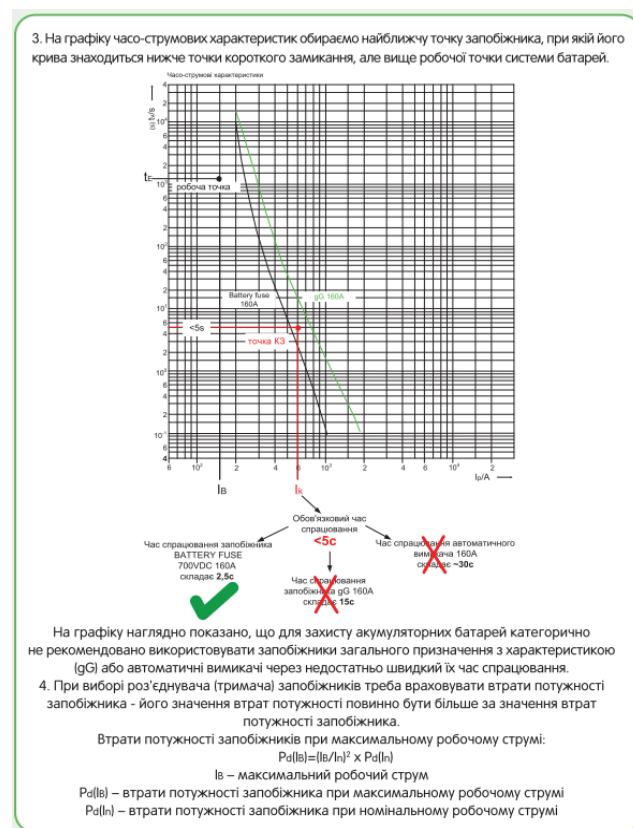


Рисунок 3.13 – Алгоритм перевірки на селективність запобіжників

- 10) здійснюється обв'язка акумулятора;
- 11) після демонстрації збирання та перевірки правильності збирання закриваються кришки щитів;
- 12) макет фотоелектричної станції (лабораторний стенд) готовий до використання.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації лабораторного стенда**

Дослідна експлуатація лабораторного обладнання, в тому числі, й розробленого стенда вимагає уважного ставлення до вимог техніки безпеки, оскільки цей стенд, незважаючи на всі позитивні риси, може містити певну небезпеку. Для уникнення виникнення небезпечних ситуацій під час дослідної експлуатації лабораторних стендів в лабораторії відновлюваної енергетики слід виконати моделювання виникнення таких явищ.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій. Але, як показали дослідження, будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї з багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій і катастроф.

Основні принципи побудови моделі такі. Вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми чи катастрофи.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій.



Різні події моделі зображують у вигляді символів: коло - базова подія з відповідними числовими даними; ромб - нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних досліджень); прямокутник - подія, що виникає як результат дії символу-оператора; овал - подія-умова, що використовується з оператором "Заборона"; хатка - подія, яка може відбутися або не відбутися; трикутник - символ перенесення.

При побудові логіко-імітаційних моделей для аналізу людино-машинних систем у лабораторії відновлюваної енергетики можна застосувати логічні оператори "І", "АБО" та інші.

#### **4.2 Оцінка рівня безпеки виникнення аварій і травм під час дослідної експлуатації лабораторного стенда**

Оцінюючи рівня безпеки при дослідній експлуатації лабораторного стенда можуть виникати такі травми та аварії: механічне ушкодження при монтажі та демонтажі структурних компонентів стенда, механічне ушкодження при роботі з кабелями, зокрема при підготовці їх до приєднання відповідно до вибраної схеми з'єднань тощо. Оскільки даний стенд не приєднаний до електромережі, то основних небезпек немає, однак, при виконанні операцій монтажу реального електрогенерувального та комутувального обладнання такі небезпеки можуть існувати. В цій частині роботи промодельємо саме такий варіант використання лабораторного стенда.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми або катастрофи залежно від досліджуваного явища.

Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-якого випадкового явища. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини (об'єкта) виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі аварії або травми (чи катастрофи). Після цього будують модель (дерево відмов і помилок оператора). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події.

Головну випадкову подію (конкретна аварія, травма або катастрофа), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути. Після вибору головної випадкової події (події) розпочинають побудову моделі ("дерева"). Використовуючи оператори "Г" та "АБО", виконують набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна. Після визначення відповідних аварійних, травмо небезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів "Г", "АБО" та інших. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірності базових подій визначають за даними виробництва.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначають номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі. На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули. Для проведення обчислень ймовірності травми при дослідній експлуатації теплової помпи використовують логіко-імітаційної моделі процесу її формування (рис. 5.1).

Умовно прийнято, що ймовірності базових подій  $P_1 = 0,2$ , а  $P_2 = 0,3$ . Підставивши дані ймовірностей базових подій одержимо:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44;$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0,44 + 0,44 - 0,44 \cdot 0,44 = 0,686;$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2 + 0,5 - 0,2 \cdot 0,5 = 0,6;$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2 + 0,01 - 0,2 \cdot 0,01 = 0,208;$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} = 0,6 + 0,208 - 0,6 \cdot 0,208 = 0,6832;$$

$$P_{16} = P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{15} = 0,1 \cdot 0,686 \cdot 0,6832 = 0,047.$$

Таким чином, на робочому місці при дослідній експлуатації лабораторного стенда за наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 4,7 уражень електричним струмом від інвертора. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки до 1.

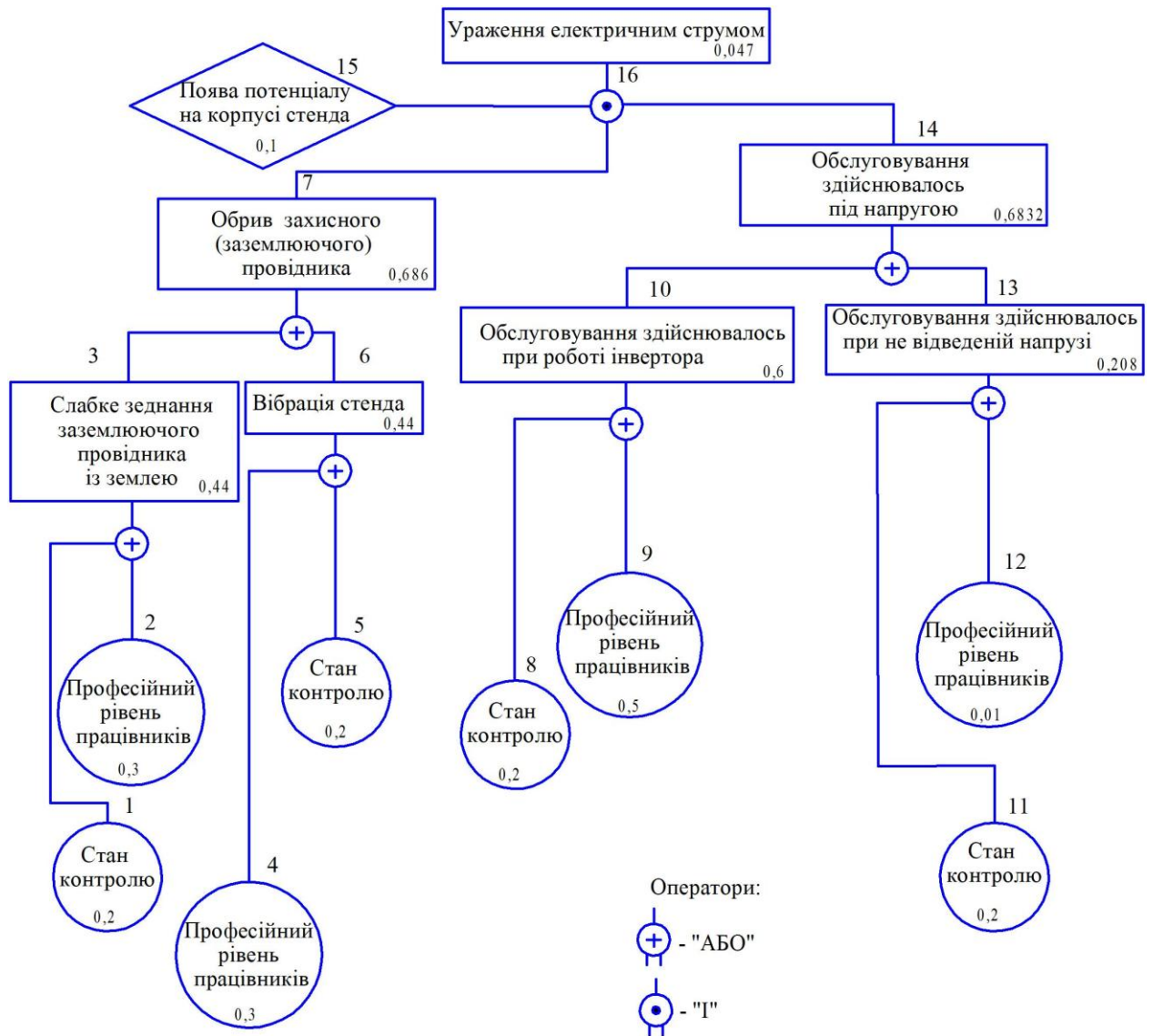


Рисунок 5.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при дослідній експлуатації лабораторного стенда за умови використання діючого електрообладнання та приєднання стенда до електромережі

Слід мати на увазі, що на даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, які призведуть до травми з інших причин. Але складовими причинами іншої травми також можуть бути такі недоліки, як неефективний контроль чи низький професійний рівень знань працюючих з охорони праці.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмо - небезпечних ситуацій.

### **4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час дослідної експлуатації лабораторного стенда**

При дослідній експлуатації лабораторного стенда та при проведенні занять в лабораторії відновлюваної енергетики необхідно керуватися загальними правилами поведінки в навчальних аудиторіях, лабораторія тощо, а також "Правилами технічної експлуатації електрообладнання".

Студенти перед початком навчання повинні бути ознайомленими з загальними правилами техніки безпеки, в тому числі, й з інструкцією з експлуатації лабораторних стендів.

Забороняється допускати сторонніх осіб до робочого місця. Необхідно підтримувати робоче місце в чистоті. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань лабораторного стенда вологими руками.

Ремонтні роботи та роботи з обслуговування лабораторного стенда, проводяться тільки коли установка вимкнена і від'єднана від електромережі.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки робітники несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди. Порушення інструкції розглядається як невикористання правил внутрішнього трудового розпорядку.

Стосовно вимог техніки безпеки для студентів, то крім вище перелічених вимог слід додати наступне.

Студентам забороняється:

- без дозволу викладача або обслуговуючого персоналу виконання будь-яких робіт на лабораторному стенді;
- самовільне вмикання та вимикання лабораторного стенда;
- самовільне коригування схеми приєднання силових кабелів;
- виконувати будь-які види робіт з обслуговування лабораторного стенда при його роботі.

Дотримання всіх вимог правил техніки безпеки дозволить проводити дослідну експлуатацію лабораторного стенда без виникнення небезпечних ситуацій.

#### **4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Одним з найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Адже, актуальність проблеми природно-техногенної безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невідомо зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Відповідальність за організацію цивільної оборони згідно із Законом “Про цивільну оборону України” лягає на керівника підприємства. Керівництво підприємства повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створює загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Найбільш повне та організоване виконання заходів цивільної оборони на об’єкті досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідні проводити при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій: оповіщення та інформуванні, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди; спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою, забезпечується створенням та підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до них існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості; укриття в захисних спорудах, якому підлягає працююча зміна та усе населення,

досягається створенням фонду захисних споруд; евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж; медичний захист проводиться для зменшення ступеня зараження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим; біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно – господарських, спеціальних протиепідемічних та медичних заходів; радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного і хімічного контролю, засобами індивідуального захисту.

Одним із основних завдань цивільної оборони є навчання населення вмінню застосування засоби індивідуального захисту та дій у надзвичайних ситуаціях.

Тому заходи щодо зниження ступеня впливу негативних наслідків аварійних ситуацій здійснюються з метою завчасної підготовки підприємств від надзвичайних ситуацій та створення умов для підвищення стійкості їх роботи, проведення своєчасних робіт щодо рятувальних заходів.

## 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Виготовлення лабораторних стендів завжди було складним та вартісним завданням. В першу чергу, це пов'язане із особливістю процесу формування його структури, визначення завдань, які будуть реалізовуватися, пошук та купівля комплектуючих, виготовлення каркасної конструкції, і власне завершальний процес – виготовлення стенда. Насправді, на цьому етапі буде завершено лише технічна частина розробки лабораторного стенда, оскільки в подальшому необхідно розробити методичні рекомендації з його використання для проведення занять. Тобто, необхідно опрацювати методику експерименту, дати опис основних теоретичних положень, які повинні бути відображені в результаті експерименту тощо.

Слід зауважити, що основними затратами при розробці та виготовленні навчального експериментального стенда все-таки є купівля матеріалів та комплектуючих. Вартість трудових затрат зазвичай є не настільки високою, щоб можна було її вважати основною складовою кінцевої ціни. Тим не менше, і цією складовою витрат не слід нехтувати, оскільки тут вартість закладається не лише на процес фізичного виготовлення щитів, каркасної конструкції тощо. Тут також слід врахувати значні затрати часу на передпроектну підготовку, опрацювання теоретичного матеріалу, розробку методики виконання експериментів тощо.

Таким чином, є розуміння, що визначення вартості розробки та виготовлення навчального стенда буде складатися з двох основних складових: затрати на матеріальні ресурси, а також затрати на трудові ресурси, які відображені у вартості робочого часу.

Для розрахунку вартості матеріальних ресурсів слід скласти специфікацію компонентів, з яких складається лабораторний стенд. Ця специфікація може бути наскрізною, або блоковою. Наприклад, окремо може



бути розраховано вартість окремих блоків – щитів захисту і комутації. Після цього сумуються вартості всіх структурних компонентів.

Щодо трудових ресурсів, то тут очевидно врахувати дві основні складові – опрацювання теоретичного матеріалу та розробка стенда, а також власне його виготовлення із наявних матеріальних засобів.

Отже, вартість виготовлення експериментального стенда сонячної електростанції для дослідження структури засобів комутації та захисту можна визначити за формулою

$$B_{ec} = \sum_n^{i=1} B_k + \sum_n^{i=1} B_{np}, \quad (5.1)$$

де  $B_k$  – вартість структурних компонентів експериментального стенда, грн.;

$B_{np}$  – вартість трудових ресурсів, грн.

Вартість матеріальних ресурсів визначимо із застосуванням сформованої табл. 5.1, де вміщено перелік структурних компонентів за блоками, основними та додатковими компонентами.

Як видно з табл. 5.1, основна складова вартості припадає на виготовлення щитів захисту всіх типів. Це пов'язане з тим, що тут присутнє діюче обладнання, яке зазвичай не є дешевим. Щодо вартості макета інвертора та акумулятора, то тут закладено утилізаційну вартість цих компонентів. При використанні діючих зразків обладнання вартість навчального стенда може зрости багатократно, залежно від потужності обладнання, а також від бренда, який буде використано.

Найменшу сукупну вартість, і відповідно, найменший вплив на загальну вартість стенда має власне металевий каркас та плита ДСП. Щоправда тут буде необхідно долучити до загального кошторису значні затрати праці на виконання зварювальних, фарбувальних та монтажних робіт.

Отже, вартість матеріальних засобів становитиме

$$\sum B_k = 6849 + 7031 + 2808 + 2360 + 1677 = 20725 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – Вартість структурних компонентів експериментального стенда

Назва	Марка	К-сть	Ціна, грн.	Вартість, грн
Корпус пластиковий зовнішнього монтажу на 12 елементів	ECT 12PT 12	1	679	679
Вимикач навантаження	LS SMA	1	1683	1683
Тримач циліндричних запобіжників	EFH 10 DC	2	609	1218
Пристрій захисту від імпульсних перенапруг	ETITEC C T2 PV	1	3269	3269
<b>Щит захисту DC</b>				<b>6849</b>
Корпус пластиковий зовнішнього монтажу на 12 елементів	ECT 12PT 12	1	679	679
Трифазний автоматичний вимикач	ETIMAT 6	1	846	846
Трифазний пристрій захисного вимкнення	EFI-4	1	1939	1939
Пристрій захисту від імпульсних перенапруг	ETITEC C T2 275/20	1	3567	3567
<b>Щит захисту AC</b>				<b>7031</b>
Корпус пластиковий зовнішнього монтажу на 8 елементів	ECT 8PT 8	1	516	516
Вимикач навантаження	LS SMA	1	1683	1683
Тримач циліндричних запобіжників	EFH 10 DC	1	609	609
<b>Щит захисту акумулятора</b>				<b>2808</b>
Акумулятор	Altek ABT-80-12-GEL	1	9960	960
Макет інвертора		1	1200	1200
З'єднувальні провідники		1	200	200
<b>Силові елементи</b>				<b>2360</b>
Метизи		1	50	50
Лист ДВП		1	1113	1113
Металевий каркас		1	514	514
<b>Додаткові засоби</b>				<b>1677</b>
<b>ВСЬОГО</b>				<b>20725</b>

Тепер визначимо затрати трудових ресурсів для виготовлення окремих структурних блоків і стенда загалом. Для зручності розрахунків, тут також всі складові витрат відобразимо у формі таблиці, як це показано в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вартість трудових ресурсів, необхідних для виготовлення експериментального стенда

Назва	Затрати часу, год.	Ціна трудових ресурсів, грн/людино-годин	Вартість трудових ресурсів, грн
Щит захисту DC	4	120	480
Щит захисту AC	4	120	480
Щит захисту акумулятора	3	120	360
Опрацювання теоретичних відомостей	20	60	1200
Розробка стенда	10	120	1200
Додаткові засоби	8	120	960
<b>ВСЬОГО</b>			<b>4680</b>

Як видно з табл. 5.2, незважаючи на низьку вартість трудових ресурсів, які відповідають найнижчій кваліфікації, вона є співмірною із вартістю розробки стенда, і відповідно вони формують половину всіх трудових затрат. Загальна ж вартість трудових ресурсів, в структурі матеріальних засобів становить лише четверту частину.

Тепер можна просумувати отримані результати та отримати загальну вартість експериментального стенда. Отже,

$$V_{ec} = 20725 + 4680 = 25405 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна вартість розробки та виготовлення експериментального стенда становить 25405 грн.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Розвиток людства неминучий без використання сучасних технологій, які опираються на викопні енергетичні ресурси. Для уникнення негативного впливу традиційної енергетики, традиційних технологій виробництва продукції, режимів споживання продукції, за ініціативи ООН запроваджені Цілі Сталого Розвитку, одним із ключових елементів яких є доступна та чиста енергія.

Доступна та чиста енергія передбачає можливість забезпечити енергію всі верстви населення, а також забезпечити екологічність енергетичних ресурсів. Це можливо досягнути за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, таких як вітру, сонця, геотермії, біомаси тощо.

Одним із найперспективніших видів енергетичних ресурсів відновлюваної енергетики є сонячна тепло- та електроенергетика. Зокрема, сонячна електроенергетика характеризується найбільш динамічними темпами розвитку, і це дозволяє зробити висновок про те, що вона в перспективі буде становити найбільшу частку енергетичних засобів.

Динамічний розвиток сонячної енергетики зумовлює також і потребу у інженерно-технічному персоналі, який буде займатися проектуванням, монтажем, налагодженням, експлуатацією, а також утилізацією компонентів сонячних електроустановок.

Одним із напрямків навчальної діяльності є практична підготовка, яка потребує розробки та використання спеціалізованих навчальних стендів, лабораторних установок, на яких може бути відпрацьована технологія монтажу, експлуатації, вивчення конструкції енергетичних систем тощо.

В даній роботі запропоновано розробити навчальний лабораторний стенд сонячної електроустановки, де основну увагу приділено системам захисту та комутації.

Насамперед було проаналізовано наявні типи сонячних електростанцій, які можуть бути реалізовані на рівні побутового та промислового споживача. До таких систем відносяться: автономні, мережеві та гібридні сонячні електростанції, які мають відповідну структуру, набір компонентів та алгоритм функціонування.

Зважаючи на відносно високу вартість сонячних енергетичних систем є доцільним застосовувати низку захисних та комутаційних засобів, які дозволяють забезпечити тривалу та безпечну експлуатацію енергетичного обладнання.

До структурних компонентів систем захисту сонячних електроустановок можна віднести: захист від короткого замикання; захист фотопанелей від імпульсних перенапруг; захист інвертора від імпульсних перенапруг тощо. У випадку застосування систем акумулювання електричної енергії необхідно застосувати також і захист акумуляторних батарей.

Було опрацьовано теоретичні відомості стосовно наявних технологій та методів захисту елементів сонячних електроустановок, серед яких є запобіжники, засоби захисту від перенапруг, а також засоби комутації, до яких відносяться вимикач навантаження, автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення тощо.

На основі теоретичного матеріалу було розроблено структуру лабораторного стенда, до якого увійшли: сонячна фотоелектрична панель; мережевий гібридний інвертор; щит захисту постійного струму; щит захисту змінного струму; щит захисту акумуляторної батареї та акумуляторна батарея.

Відповідно до розробленої структури були підібрані необхідні засоби, основна частка яких була представлена апаратами фірми ETI (Словенія).

Для використання розробленого та виготовленого лабораторного стенда було опрацьовано методику його використання, яка передбачає послідовність виконання операцій із підбору та монтажу засобів захисту й

комутації, як по стороні постійного струму, так і по стороні змінного струму, в тому числі і систему захисту акумулятора.

Опрацьовано матеріал стосовно безпечної експлуатації сонячної електроустановки. Проаналізовано аспекти виникнення травмонебезпечних ситуацій під час експлуатації та обслуговування сонячних енергетичних установок та розроблені відповідні заходи щодо покращення охорони праці.

За даними ринкової вартості структурних компонентів, з яких були побудовані щити захисту та комутації сонячної електроустановки, а також допоміжних компонентів, які входять до структури лабораторного центру, було визначено вартість апаратних засобів та вартість трудових затрат для виготовлення лабораторного стенда.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. 17 Цілей сталого розвитку. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsili-stijkogo-rozvytku/>.
2. About the Sustainable Development Goals. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable%20development-goals/>.
3. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>.
4. GREEN PROTECT Компоненти для захисту фотоелектричних систем. URL: <https://www.eti.ua/katalohy-ua/zahalnyy-kataloh/green-protect-komponenty-dlya-zakhystu-fotoelektrychnykh-system>.
5. Renewables 2024. Global Status Report. Energy supply. Paris : Ren21, 2024. 138 p. URL: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024\\_Supply.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2024_Supply.pdf) .
6. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Edycja 2023. Krakow: Redakcja GLOBEnergia, 2023. 376 s.
7. Tytko R. Fotowoltaika. Podręcznik dla studentów, uczniów, instalatorów, inwestorów. Krakow : Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2022. 520 s.
8. World Energy Transitions Outlook. IRENA, 2022. URL: [www.irena.org](http://www.irena.org).
9. Відновлювана енергетика - одна з глобальних та ключових цілей людства. URL: <https://uare.com.ua/novyny/471-vidnovlyuvana-energetika-odna-z-globalnikh-ta-klyuchovikh-tsilej-lyudstva.html>.
10. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
11. Завгородня С. П. Доступність енергії для населення: проблеми та перспективи : аналіт. доповідь. Київ : НІСД, 2020. 66 с.

12. Класифікація сонячних електростанцій (СЕС). URL: <https://avenston.com/articles/pv-power-plants-classification/>.
13. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. К. : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
14. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: Навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
15. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії : навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 483 с.
16. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30 вересня 2019 року № 722. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.
17. Сайт фірми SmartEco. URL: <https://smarteco.biz.ua>.
18. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
19. Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНУП, 2021. 32 с.
20. Цілі сталого розвитку. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%96%D0%BB%D1%96\\_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE\\_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%96%D0%BB%D1%96_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83).
21. Цілі Сталого Розвитку: Україна : національна доповідь 2017. URL: [http://un.org.ua/images/SDGs\\_NationalReportUA\\_Web\\_1.pdf](http://un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf).