

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 621.311

ПОГОДЖЕНО

Директор Інституту енергетики,  
автоматики і  
енергозбереження

/Каплун В.В./

(підпис)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри  
інженерії енергосистем

/Антипов Є.О./

(підпис)

«    »    2023 р.

«    »    2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Система електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України (м. Києва) з розробкою автономної фотоелектричної станції»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання)

Керівник

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

Петренко А.В.

(ІПБ)

Бадах В.М.

(ІПБ)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. завідувача кафедри  
Інженерії енергосистем

к.т.н. доцент Антипов Є.О.  
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)

2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

**Бадаху Віктору Миколайовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Система електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБІП України (м. Києва) з розробкою автономної фотоелектричної станції» затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від 06.03.2023 р. № 324 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 31 жовтня 2023 р.  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи план навчально-дослідного розсадника, стандартні схеми різних типів фотоелектростанцій, каталоги обладнання

Перелік питань, що підлягають дослідженню: Загальна характеристика навчально-дослідного розсадника НУБІП України. Розрахунок навантаження та розробка структури електроживлення навчально-дослідного розсадника НУБІП України. Розрахунок та вибір обладнання для мережевої сонячної фотоелектростанції. Розрахунок та вибір обладнання для автономної сонячної фотоелектростанції. Дослідження ефективності роботи сонячної фотоелектростанції навчально-дослідного розсадника НУБІП України. Заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «28» червня 2023 р.

Керівник магістерської роботи

(підпис)

Петренко А.В.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Бадах В. М.

(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Метою магістерської роботи є розробка автономної фотоелектричної станції для системи електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

Об'єктом дослідження є система електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

Предметом дослідження є взаємозв'язок параметрів автономної фотоелектричної станції на систему електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

У роботі розраховано і запропоновано для будівництва дахову автономну сонячну електростанцію потужністю 5,5 кВт на площі 25,83 м<sup>2</sup>. Сонячна електростанція обладнана 10 фотоелектричними модулями, кожен потужністю 550 Вт, розміщеними в 1 ряд, а також інвертором потужністю 5 кВт. Найкраща ефективність роботи сонячної станції згідно графіків спостерігається з квітня по вересень. В середньому генерування електроенергії складає 3,190 кВт-год/м<sup>2</sup>/день.

Для забезпечення автономної роботи вибрано акумуляторні батареї марки Pylontech (5 кВт-год, 48 В) US5000. Номінальна напруга = 48В, ємність = 100 Агод кількістю 14 шт, загальна ємність яких становитиме 1400 Агод і повинна забезпечити навантаження електроенергією до 25 год.

У роботі детально описані загальні правила безпечної експлуатації сонячної електростанції, захист людей від ураження електричним струмом.

Виконано розрахунок та улаштування контуру заземлення сонячної фотоелектростанції.

Ключові слова: автономна електростанція, сонячна електростанція, електропостачання, система електроживлення.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО РОЗСАДНИКА НУБІП УКРАЇНИ	9
1.1 Основні відомості про навчально-дослідний розсадник	9
1.2 Оцінка кліматичних умов у місці розташування навчально-дослідного розсадника	15
1.3 Визначення електроприймачів, які потребують підключення до сонячної фотоелектростанції	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО РОЗСАДНИКА НУБІП УКРАЇНИ	23
2.1 Розрахунок електричного навантаження навчально-дослідного розсадника	23
2.2 Розробка електричних схем внутрішніх електричних мереж підключення електроприймачів	25
2.3 Розробка електричних схем електричної мережі підключення сонячної фотоелектростанції	27
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	30
3.1 Обґрунтування вибору виробників обладнання сонячної фотоелектростанції	31
3.2 Розрахунок та вибір кількості та типу обладнання для сонячної фотоелектростанції до навчально-дослідного розсадника	33
3.3 Вибір інвертора напруги сонячної фотоелектростанції	38

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО РОЗСАД- НИКА НУБІП УКРАЇНИ	47
--	----

4.1 Розрахунок ефективності встановлення та експлуатації сонячної фотоелектростанції	47
---	----

РОЗДІЛ 5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	54
--	----

5.1 Загальні правила безпечної експлуатації сонячної електростанції	54
--	----

5.2 Захист людей від ураження електричним струмом	56
---	----

5.3 Розрахунок та улаштування контуру заземлення сонячної фотоелектростанції у навчально-дослідному розсаднику	59
---	----

ВИСНОВКИ	65
----------	----

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
----------------------------	----

## ВСТУП

# НУБІП України

Фотоелектричний метод перетворення сонячної енергії в електричну наразі є найбільш розвиненим у науковому та практичному плані.

Тенденції, що склалися в світовій енергетиці, стимулюють зростання інтересу до альтернативних джерел енергії в сучасному енергетичному секторі. Фотоелектричні елементи є найбільш перспективними, екологічно чистими кандидатами для зменшення нафтової залежності і перетворюють сонячну енергію безпосередньо в електричну.

Сонце є найпотужнішим джерелом енергії порівняно з усіма іншими джерелами, доступними для людини. На відстані близько 150 мільйонів кілометрів від Сонця на кожен квадратний метр поверхні, перпендикулярної до сонячних променів, припадає 1,4 кВт променистої енергії, а на 1 м<sup>2</sup> поверхні Землі - в середньому 0,35 кВт.

Слід мати на увазі, що більше половини енергії сонячного випромінювання не передається безпосередньо на землю поверхню, а відбивається атмосферою. На 1 м<sup>2</sup> суші та океану припадає в середньому близько 0,16 кВт сонячної радіації.

Насправді, сонячна радіація для всієї поверхні Землі близька до 1014 кВт або 105 млрд кВт. Ця цифра може бути набагато більшою, ніж поточна потреба людства в енергії. Ця енергія, ймовірно, в багаторазово перевищує не тільки сьогоденні, але й майбутні потреби людства в енергії.

Сонячні фотоелектричні системи широко використовуються для живлення основних систем електропостачання та різного обладнання, а також для підзарядки хімічних акумуляторів. Крім того, сонячні панелі використовуються в стаціонарних і мобільних об'єктах, таких як електромобілі, кораблі та літаки.

Головною особливістю сонячного фотоелектричного обладнання є використання безкоштовної та відновлюваної енергії. Це головна перевага сонячного фотоелектричного обладнання. Абсолютною незаперечною перевагою сонячної енергії є її універсальність, а також те, що вона має безпрецедентну доступність. Використання сонячної енергії необхідне у

віддалених місцях, куди дуже складно, а іноді й неможливо прокласти кабелі від електростанції або доставити інші енергоресурси.

Світові держави та великі енергетичні концерни вкладають значні кошти в розвиток сонячної енергетики та її дослідження. Найбільші світові венчурні інвестиції в чисті технології припадають на сонячну енергетику. Основним географічним регіоном розвитку ринку венчурного капіталу є Північна Америка. На Європу та Ізраїль припадає 21%, Китай та Індія були визнані привабливими для інвестицій, а на решту регіонів - менше 1%.

Відповідно до Стратегії енергетичної безпеки, одним із ключових напрямків є розвиток альтернативного енергопостачання та використання відновлюваних джерел енергії. Зелений тариф в Україні є аналогом політики "зелених" компенсацій ЄС. У вересні 2008 року Верховна Рада законодавчо закріпила цей інструмент як тариф, за яким має закуповуватися електроенергія, вироблена з альтернативних джерел енергії. Зелений тариф передбачає ціну на електроенергію, значно вищу за ту, за якою її продають традиційні виробники, і оптовий ринок України в особі ДП "Енергоринок" зобов'язаний купувати такий товар. Зелений тариф розраховується за такою формулою: роздрібний тариф для споживачів другого класу (за яким електроенергію купують юридичні особи на енергоринку) множить на коефіцієнт "зеленого" тарифу, який встановлюється окремо для кожного з чотирьох основних видів "зелених" джерел енергії (сонце, вітер і вода), а також на коефіцієнт "зеленого" тарифу, який встановлюється окремо для кожного з чотирьох основних видів.

В Україні середній показник сонячної енергії становить близько 1,5 тис. кВт-год на рік на м<sup>2</sup>, а в деяких випадках перевищує аналогічні показники в Європі, де використання сонячної енергії є найбільш поширеним.

Метою магістерської роботи є розробка автономної фотоелектричної станції для системи електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

Об'єктом дослідження є система електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

Предметом дослідження є взаємозв'язок параметрів автономної фотоелектричної станції та системи електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

Для досягнення мети, поставленої в магістерській роботі, необхідно:

1) Проаналізувати та вибрати схему електропостачання лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

2) Розрахувати електричні умови для вибору фотоелектричних перетворювачів.

3) Обґрунтувати використання автономної фотоелектричної станції на основі фотоелектричних перетворювачів для системи електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

4) Розробити технічні рішення з використанням фотоелектричних перетворювачів та їх характеристики для системи електропостачання лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

5) Розробити заходи технічної безпеки з обслуговування автономної системи електропостачання.



## РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО  
РОЗСАДНИКА НУБІП УКРАЇНИ

## 1.1. Основні відомості про навчально-дослідний розсадник

Навчально-дослідний розсадник відноситься до навчально-наукового об'єкту у ННІ лісового і садово-паркового господарства НУБІП України. На території навчально-дослідного розсадника кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій вже змонтовано приміщення, див. рис. 1.1, у якому студенти третіх-четвертих курсів бакалаврату і магістратури проходилимуть навчальні практики з лісового та декоративного розсадництва і лабораторні заняття із насінництва.



Рис. 1.1. Лабораторний будинок навчально-дослідного розсадника НУБІП України (м. Києва)

Будівля з дерев'яного бруса на 130 квадратних метрів. Окрім допоміжних приміщень, навчального класу на 20 місць, кабінету викладачів, планується облаштувати дві навчально-наукові лабораторії: якості деревного садивного матеріалу та експрес-методів діагностики стану рослин та їх мінерального живлення.

Лабораторний будинок Національного університету біоресурсів і природокористування України розташований за адресою вул. Полковника Затевахіна, 4 в м. Києві.

Основні технічні показники:

- Напруга мережі - 0,38/0,22 кВ
- Категорія надійності електропостачання - III
- Тип системи заземлення - TN-S
- Розрахункова потужність - 8,5 кВт
- СЕС - сонячна електростанція - 5 кВт (інвертор), - 5 кВт (фотоелектричні модулі) Для розподілу електричної енергії і технічного обліку передбачається встановлення розподільних щитів ЩО-1 і ЩО-2, в приміщенні на першому поверсі будівлі.

Групові мережі виконуться мідними кабелями в пятипровідному (380 В) і трьохпровідному (220 В) виконанні. Передбачене розділене виконання силової та освітлювальної мережі.

Електрична проводка до розеток, виконується кабелями з мідними жилами марки ВВГнгд 3х2,5, що прокладаються в металорукаві (або металевих трубах).

Електрична проводка до світильників і вимикачів керування освітленням, виконується кабелями з мідними жилами марки ВВГнгд 3х1,5, що прокладаються в металорукаві (або металевих трубах).

Монтаж світильників, вимикачів, розеток виконується на металевих основах (металевих підрозетниках) до дерев'яних поверхонь.

В якості захисних мір від ураження електричним струмом рекомендується застосовувати:

- захисне заземлення всіх металевих неструмоведучих частин обладнання, яке в нормальному режимі не знаходиться під напругою. Заземлення виконується шляхом приєднання корпусів електроустановки, труб та ін. до нульового захисного ланцюга;

- захисне відключення, згідно "Правил будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" та ДБН В. 2.5-27-2006 "Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд" - з використанням диференціальних автоматичних вимикачів (ПЗВ), які монтуються в лінії живлення розеточних груп.

Автоматичні вимикачі, що встановлені в групових лініях та мережах живлення вибрані з урахуванням селективності їх спрацювання.

Роботи з монтажу електричних мереж проводити згідно з діючими ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС.

У лабораторній будівлі основними споживачами електроенергії є освітлювальні прилади, комп'ютери та обігрівачі. Протягом дня найдовше використовуються освітлювальні прилади та комп'ютерна техніка.

Поверхові плани електричних мереж показані на рис. Поверхові плани внутрішніх електричних мереж показані на рис. 1.1 - 1.2. А пояснення до графічних зображень на планах показані у таблицях 1.1 - 1.2. Дослідження освітлювальних приладів, що використовуються в навчальному закладі, допомагає з'ясувати тип і величину освітленості. Аналіз освітлювальних приладів, що використовуються в навчальному закладі, дозволяє визначити тип освітлювальних ламп. Для освітлення використовуються світлодіодні лампи потужністю від 2 до 36 Вт.

На даний момент для централізованого дистанційного керування робочим освітленням поверхів і коридорів в приміщеннях. Для централізованого управління робочим освітленням використовуються автоматичні вимикачі, які встановлюються в розподільчих і групових щитах, а також місцеві клавшні вимикачі для управління освітлювальними приладами всередині приміщень.

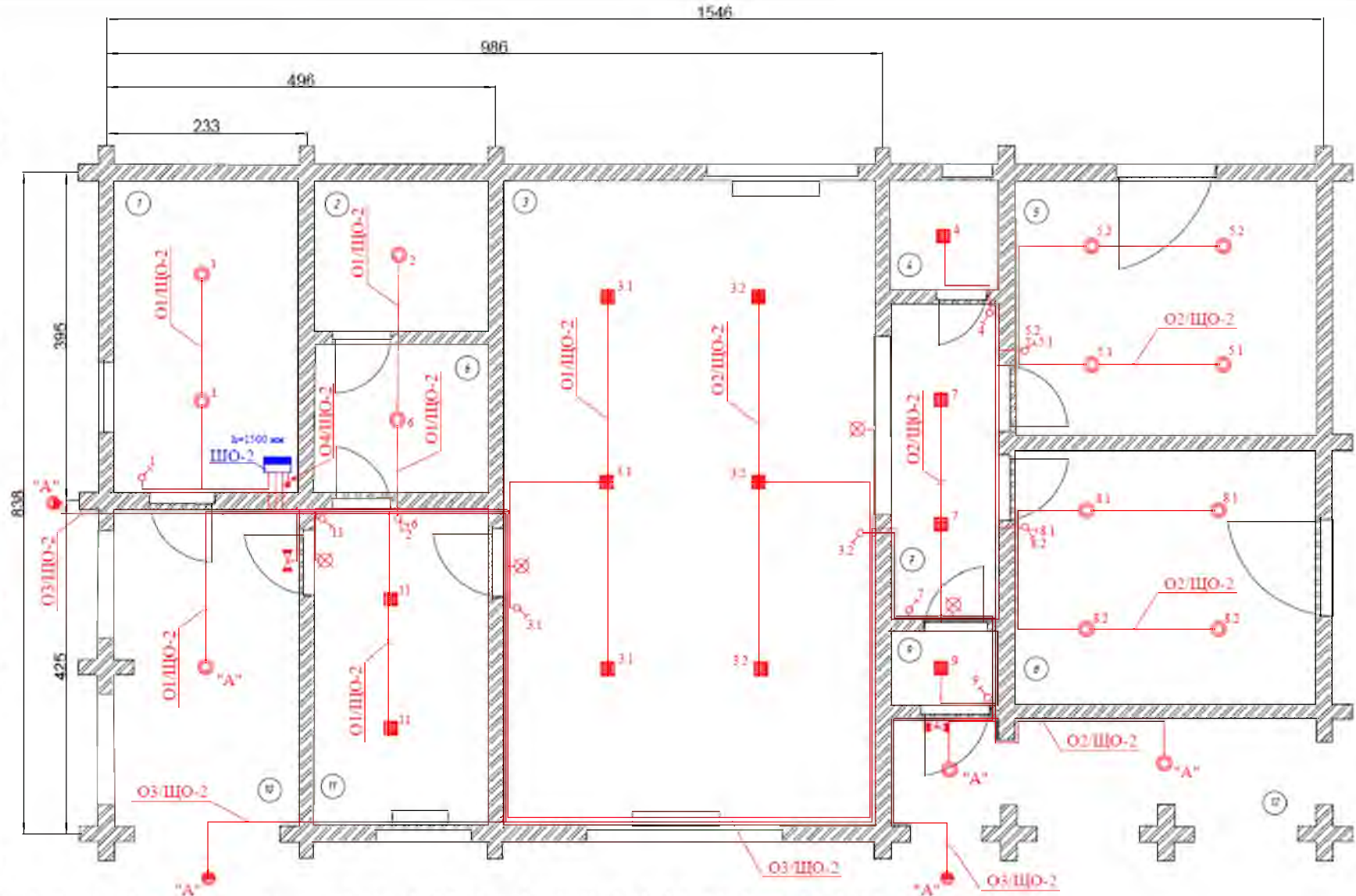


Рис. 1.1. Внутрішня електрична мережа освітлення першого поверху лабораторного будинку

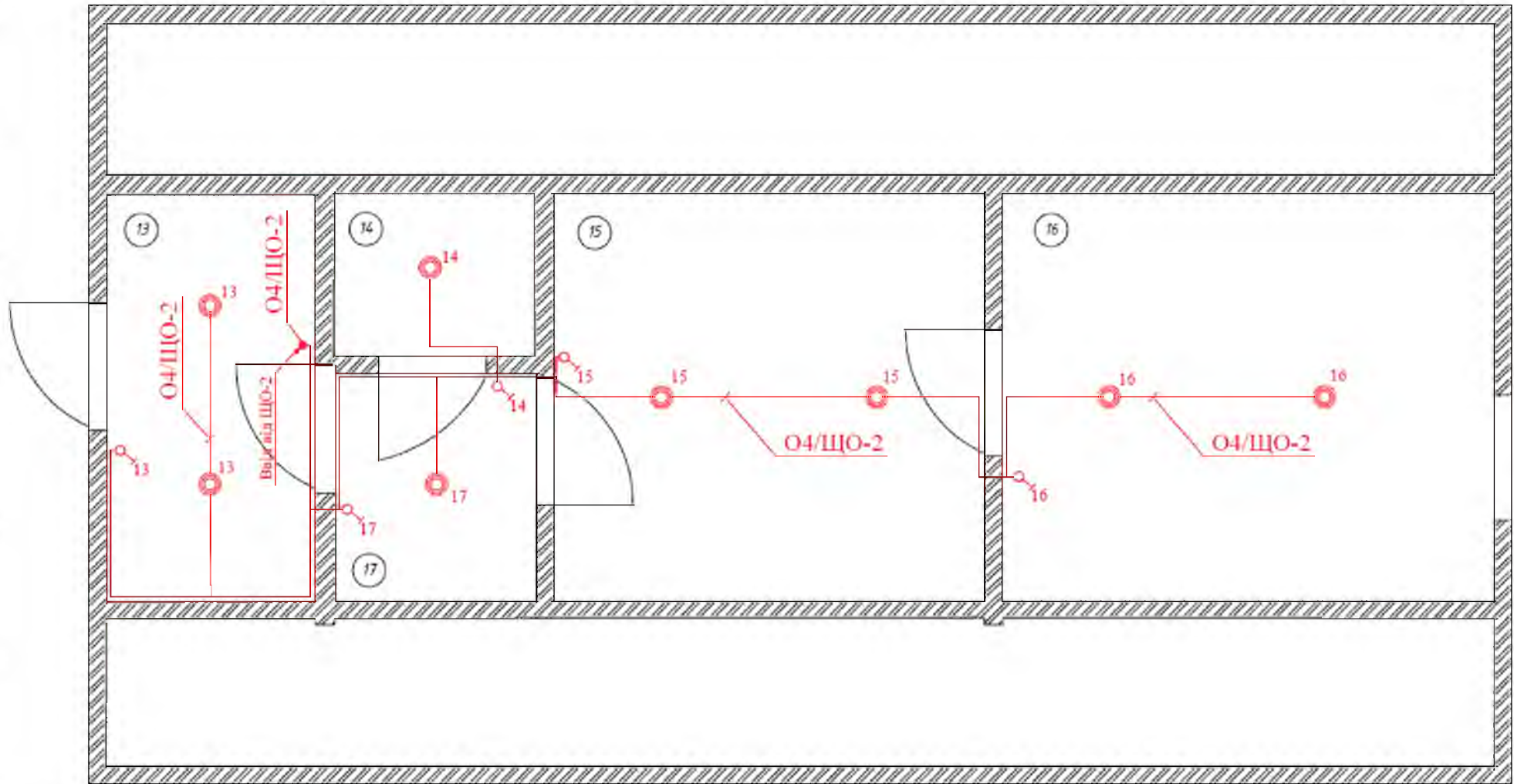


Рис. 12. Внутрішня електрична мережа освітлення другого поверху лабораторного будинку

Таблиця 1.1

## Експлікація приміщень першого поверху

Номер прим.	Назва	Пл., м <sup>2</sup>
1	Котельня	
2	Санвузол 1	
3	Навчальний клас	
4	Туалет	
5	Лабораторія 1	
6	Санвузол 2	
7	Коридор	
8	Лабораторія 2	
9	Тамбур	
10	Тераса 1	
11	Викладацька	
12	Тераса 2	

Таблиця 1.2

## Зображення умовні графічні електрообладнання на планах

Поз.	Позначення	Назва	Кіл.
1		Світильник стельовий накладний, 36 Вт	12
2		Світильник світлодіодний герметичний, 10 Вт	15
3		Світильник спеціального освітлення, 2 Вт	4
4		Світильник аварійного освітлення, 5 Вт	2
5		Світильник зовнішнього освітлення, 30 Вт	3
6		Вимикач однополюсний	7
7		Вимикач однополюсний, двохклавішний	3
8	"А"	Датчик автоматичного керування	6
9		Щиток груповий (розподільний)	1

Освітлювальні щитки встановлюються в нішах будівельних конструкцій.

Освітлювальні щитки встановлюються в нішах будівельних конструкцій.

Електропостачання до силового розподільчого щита та групових електроосвітлювальних приладів виконано за системою магістралі. Розподіл електроенергії на силові розподільчі щити та щити групового електроосвітлення виконано плановим методом.

Для облаштування комп'ютерних робочих місць передбачено, що живлення комп'ютерних розеток з незалежними лініями починається від групового щитка.

На основі отриманих планів мереж внутрішнього освітлення (рис. 1.1-1.2) можна розрахувати встановлену потужність внутрішнього освітлення лабораторного корпусу з двох поверхів. Звідси встановлена потужність світлодіодного освітлення лабораторного будинку складає 770 Вт.

1.2 Оцінка кліматичних умов у місці розташування навчально-дослідного розсадника

У Києві тепловий режим залежить в першу чергу від сонячної енергії.

Відмінності у висоті Сонця та тривалості його сяйва визначають сезонні зміни температури повітря.

У день літнього сонцестояння опівдні висота Сонця над горизонтом становить  $63^\circ$ . У день зимового сонцестояння найвища висота Сонця над горизонтом становить лише  $16^\circ$ , а тривалість цього дня - 8 годин.

Загальна тривалість сонячного сяйва в Києві за рік становить 1927 годин, або близько 40% від того, що можна очікувати. Фактично це 57% від можливої тривалості. У серпні відношення поточної тривалості сонячного сяйва до можливої становить 59%. Тривалість дня цього місяця менша порівняно з

червнем. Відповідно, і тривалість сонячного сяйва також менша - 263 години. У вересні відбулося різке зменшення кількості годин - цього місяця вона становить

194 години. У грудні спостерігається найкоротша тривалість сонячного сьйва 40 годин.

Річна сумарна сонячна радіація в столиці в середньому становить  $4,0 \times 10^9$  Дж/м<sup>2</sup> на рік. Вона спостерігається протягом усього року, її найвищі та найнижчі значення спостерігаються у червні, а найнижчі - у грудні. Це місце розташування Києва. Географічні координати: 50° 27' північної широти, 30° 30' східної довготи. У таблиці 1.3 показано кількість днів без світла для цього географічного положення.

Таблиця 1.3

### Кількість днів без сонця, що обумовлені погодними умовами

Широта місцевості	Період		
	Літні місяці	Осінні та весняні місяці	Зимні місяці
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Виконавши аналіз рівня наземної сонячної радіації в місті Києві за даними бази даних сервера Meteonorm 8.0, отримали місячні дані добової радіації. Як показано в таблиці 1.4, зведені розраховані середньомісячні дані добових рівнів сонячної радіації.

Розглянемо існуючі види електромагнітної радіації. Сонячна радіація вимірюється потужністю перенесеної нею енергії на одиницю площі поверхні за одиницю часу (Вт/м<sup>2</sup>). Для вимірювання сонячної радіації використовують актинометри і піргеліометри.

Пряма радіація - сонячна радіація, що доходить до земної поверхні у вигляді пучка паралельних променів, що виходять безпосередньо від сонячного



диска. Змінюється в залежності від висоти знаходження Сонця над горизонтом, прозорості атмосфери та хмарності.

Розсіяна радіація - сонячна радіація, що була розсіяна в атмосфері, надходить на земну поверхню з усього небокраю. У похмурі дні вона є єдиним джерелом енергії в приземних шарах атмосфери.

Сумарна радіація - сукупність прямої і розсіяної сонячної радіації, що надходить у природних умовах на земну поверхню. Вона залежить від географічної широти, висоти над рівнем моря, прозорості атмосфери і хмарності.

У гірських районах розподіл сонячної радіації дуже складний, тому що її величина визначається також ще експозицією і крутістю схилів. Розподіл сумарної радіації представлено для рівнин і передгір'їв з абсолютними висотами до 600 м.

Таблиця 1.4

### Зведені розраховані середньомісячні дані добових рівнів сонячної радіації

Site **Kyiv (Ukraine)**  
Data source **Meteonorm 8.0 (1999-2017), Sat=23%**

	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	21.3	13.2	-3.6	3.69	2.780	82.2
February	38.5	25.0	-2.7	3.60	3.049	80.3
March	78.8	41.3	2.5	3.90	3.288	70.8
April	117.6	66.0	10.1	3.40	4.068	59.5
May	158.8	78.5	16.2	3.20	3.570	59.9
June	172.5	72.9	19.1	3.20	3.347	65.9
July	173.7	78.4	21.4	2.99	3.518	66.5
August	145.6	69.5	20.6	2.80	3.530	64.7
September	97.0	43.1	14.4	3.00	3.303	71.4
October	53.6	32.9	8.5	3.10	2.995	75.0
November	21.6	14.7	3.3	3.39	2.947	83.1
December	15.6	11.0	-1.1	3.69	2.777	83.2
<b>Year</b>	<b>1094.5</b>	<b>546.6</b>	<b>9.1</b>	<b>3.3</b>	<b>3.264</b>	<b>71.9</b>

Global horizontal irradiation year-to-year variability **11.2%**

1.3. Визначення електроприймачів, які потребують підключення до сонячної фотоелектростанції

У цьому підрозділі ми визначимо, окрім освітлення ще кілька розеточних груп лабораторного будинку, які необхідно підключити до сонячної електростанції.

У всіх приміщеннях слід застосовувати кабелі і проводи з мідними жилами. Монтаж розеток, світильників, вимикачів треба робити на металевих основах (металевих підрозетниках) до дерев'яних поверхонь. Монтаж електрокабеля ВВГнгд робити в металорукаві (металевій трубі).

Електроживлення електроприймачів, які відносяться до інженерного обладнання (насоси, вентилятори, калорифери, кондиціонери тощо), потрібно виконувати кабелями або проводами з мідними жилами перерізом не менше ніж  $2,5 \text{ мм}^2$ .

У всіх приміщеннях лінії групової мережі, що прокладаються від групових щитків до світильників загального освітлення, штепсельних розеток і стаціонарних електроприймачів, повинні виконуватись трипровідними (L-, N- і PE-провідники). N- і PE-провідники повинні мати відповідне кольорове або інше маркування. Не допускається об'єднувати N-провідники, а також PE-провідники різних ліній групової мережі, на відміну від розподільних мереж. N- і PE-провідники не допускається підключати на щитках під ешльний контактний затискач. Переріз провідників повинен відповідати вимогам ДБН В.2.5-27, глави 1.7 ПУЕ.

У місцях проходу кабелів і проводів та систем шинопроводів крізь стіни, перегородки, міжповерхові перекриття необхідно забезпечити можливість заміни проводки. Для цього прохід повинен виконуватись у трубі чи коробі або в будівельних конструкціях повинні передбачатись отвори.

Розроблена внутрішня електрична мережа розеток першого і другого поверхів з розподілом на групи, що планується підключати до сонячної електростанції лабораторного будинку зображені на рис. 1.3-1.4.

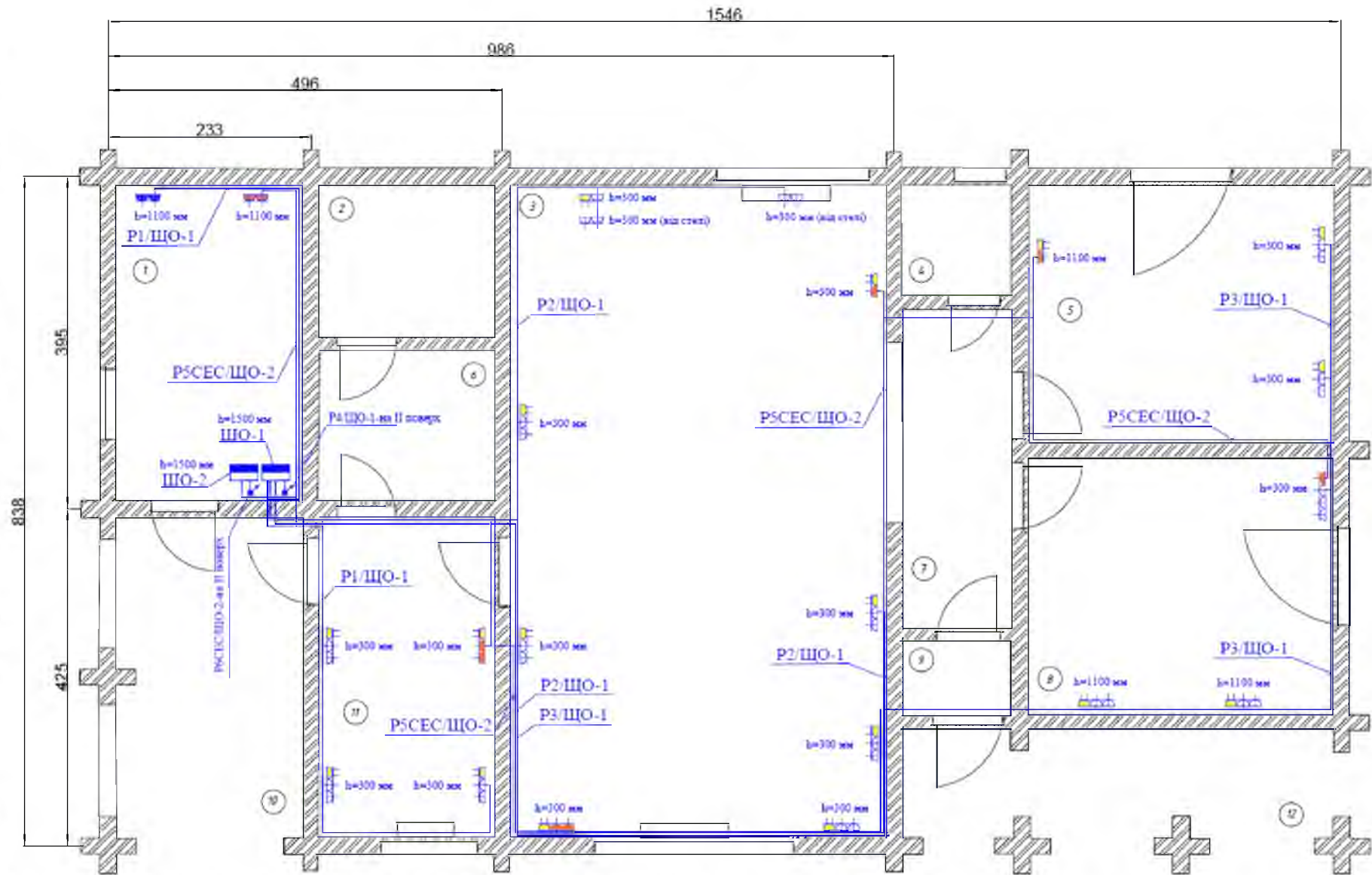


Рис. 1.3. Внутрішня електрична мережа розеток першого поверху лабораторного будинку

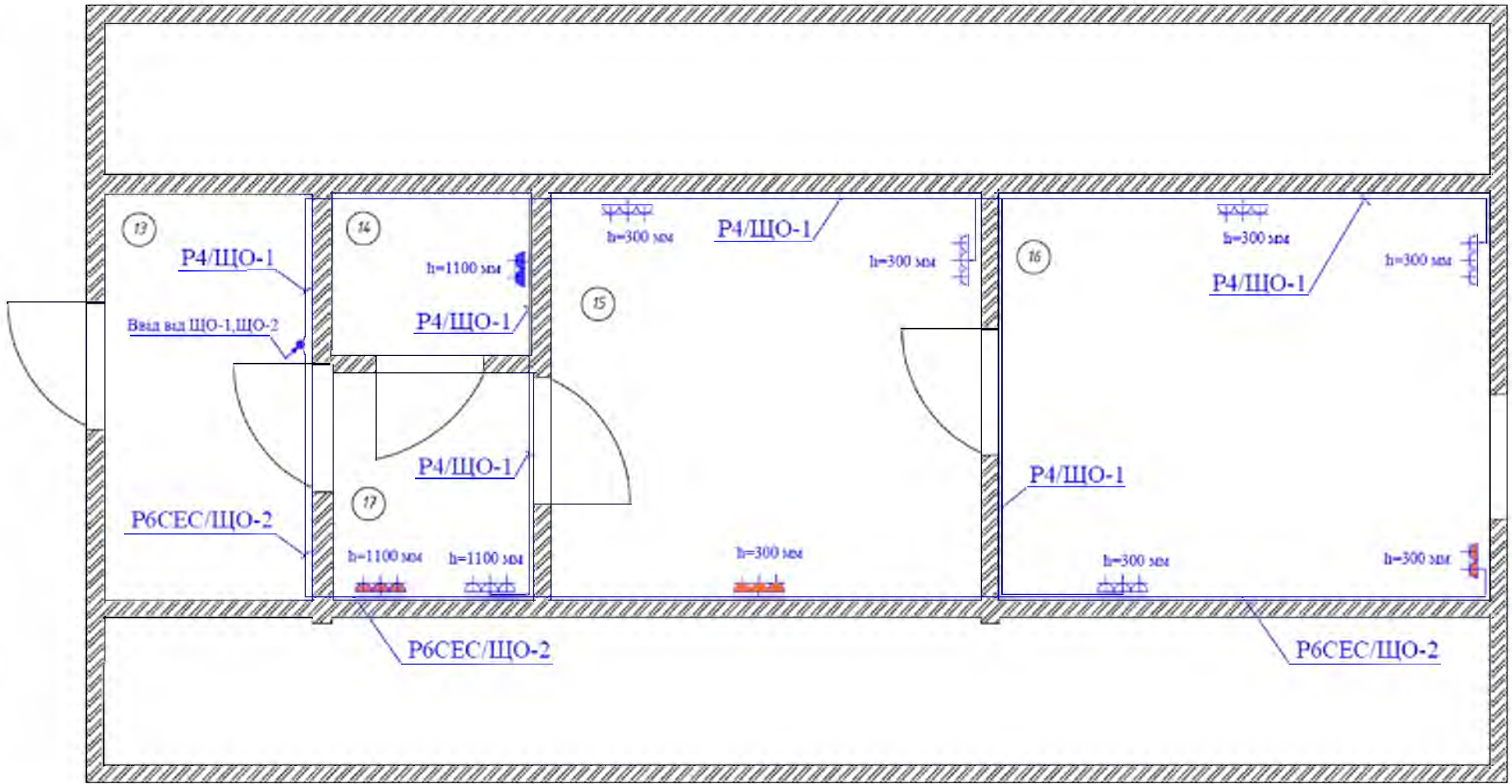







Рис. 1.4. Внутрішня електрична мережа розеток другого поверху лабораторного будинку




Пояснення до графічних зображень на планах показані рис. 1.3 – 1.4 наведені у табл. 1.5 – 1.6.

### Зображення умовні графічні електрообладнання першого поверху

Поз.	Позначення	Назва	Кіл.
1		Штепсельна розетка двохполюсна із третім заземлюючим контактом	32
2		Штепсельна розетка двохполюсна із третім заземлюючим контактом, вологозахищена	4
3		Штепсельна розетка двохполюсна із третім заземлюючим контактом (від СЕС)	7
4		Комп'ютерна розетка	16
5		Щиток груповий (розподільний)	2

Таблиця 1.6

### Зображення умовні графічні електрообладнання другого поверху

Поз.	Позначення	Назва	Кіл.
1		Штепсельна розетка двохполюсна із третім заземлюючим контактом	18
2		Штепсельна розетка двохполюсна із третім заземлюючим контактом, вологозахищена	2
3		Штепсельна розетка двохполюсна із третім заземлюючим контактом (від СЕС)	8
4			

Розглянемо роботу схеми сонячної електростанції в автономному режимі, що показана на рис. 1.5. За винятком спеціальних застосувань, де сонячна енергія використовується безпосередньо споживачами, всі автономні системи повинні включати в себе акумулятори. Енергія від акумуляторів може використовуватися, коли сонячного випромінювання недостатньо або коли навантаження перевищує генерацію фотоелектричних перетворювачів.

Для живлення освітлення лабораторного будинку, а також для того, щоб не залежати від аварій в електромережі (перевантаження та зношення силового обладнання, падіння дерев на повітряні лінії, стихійні лиха та ін.), доцільно використовувати автономну фотоелектричну систему електроживлення з

аккумуляторними батареями. Фотоелектричні перетворювачі використовуються для зменшення споживання електроенергії.

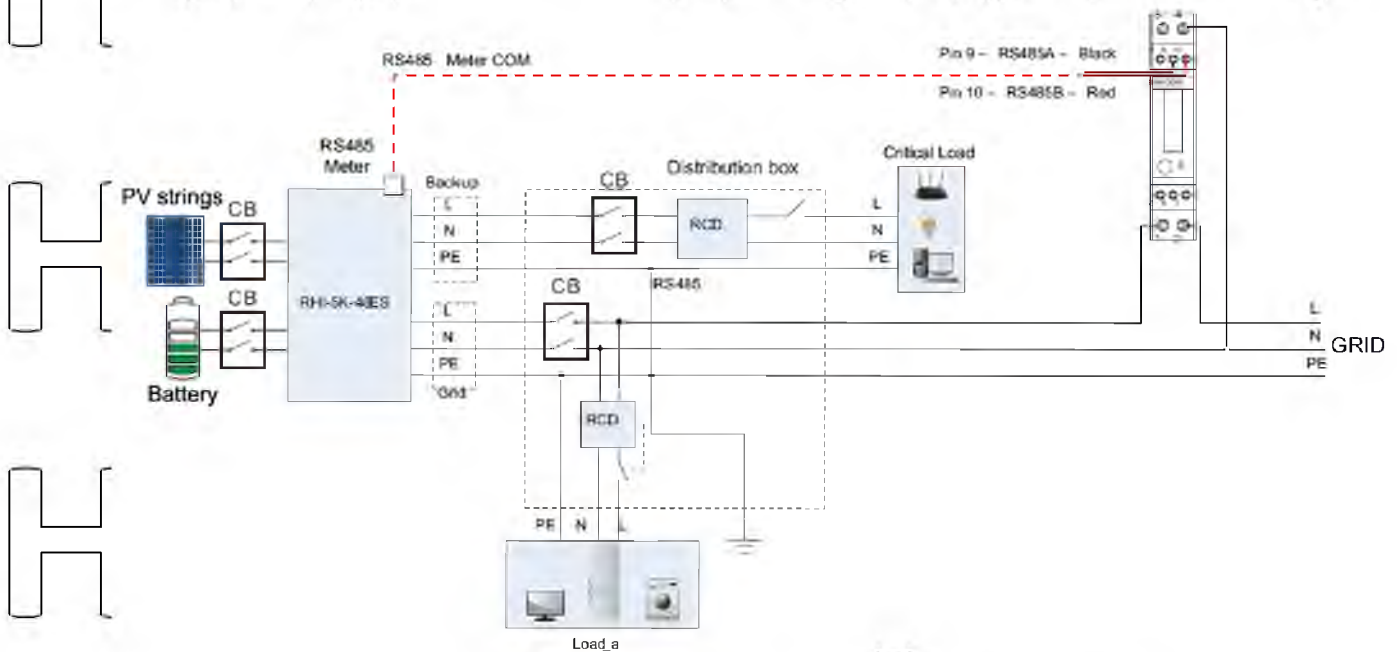


Рис. 1.5. Електрична схема підключення інвертора.

Оскільки система обладнана аккумуляторами, є можливість використовувати цю схему при різному навантаженні і за відсутності мережі. Для цього використовуються спеціально розроблені аккумуляторні інвертори, які дозволяють контролювати і управляти споживанням енергії з мережі в залежності від стану і рівня заряду аккумуляторів. Інвертори, які використовуються в цьому випадку, не перенаправляють енергію в мережу, тим самим забезпечуючи безпеку під час ремонтних робіт на лінії електропередавання.

У будь-якому випадку, щоб запобігти вибору надмірно потужної системи, необхідно ретельно розраховувати навантаження і час роботи фотоелектричної системи. Під час перерв в електромережі необхідно забезпечувати критичних споживачів достатньої потужності. Коли мережа вимкнена, решту навантаження окрім критичного, можна вимкнути до моменту ввімкнення мережі. Таким чином, це дозволить знизити вартість сонячної електростанції. Розрахунок такої системи буде проведено в наступному розділі магістерської роботи.

## РОЗДІЛ 2

## РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО РОЗСАДНИКА НУБІП УКРАЇНИ

## 2.1. Розрахунок електричного навантаження навчально-дослідного розсадника

Виконуємо розрахунок навантаження лінії живлення і вводу згідно вимог ДБН В.2.5-23:2010. Згідно пункту 3.32 ДБН, «розрахункове навантаження ліній живлення і введів у робочому та післяаварійному режимах при спільному живленні силових електроприймачів і освітлення  $P_{заг}$  слід визначати за формулою:

$$P_{заг} = K(P_{ос} + P_{ел.с} + P_{хк} \cdot K_1), \quad (2.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує розбіжність розрахункових максимумів навантажень силових електроприймачів, включаючи холодильне устаткування і освітлення, прийнятий за таблицею 3.13 ДБН;

$P_{ос}$  – розрахункове навантаження освітлення, кВт;

$P_{ел.с}$  – розрахункове навантаження силових електроприймачів без холодильних машин систем кондиціонування повітря, кВт;

$P_{хк}$  – розрахункове навантаження холодильного устаткування систем кондиціонування повітря, кВт;

$K_1$  – коефіцієнт, що залежить від відношення розрахункового навантаження освітлення до навантаження холодильного устаткування холодильної станції, прийнятий згідно з приміткою 3 до таблиці 3.13 ДБН».

Згідно вихідних даних таблиці 3.1, визначаємо потужності розрахункового навантаження освітлення  $P_{ос}$ , розрахункове навантаження силових електроприймачів без холодильних машин систем кондиціонування повітря

$P_{ел.с}$ , розрахункове навантаження холодильного устаткування систем кондиціонування повітря  $P_{хк}$ . Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.2

Таблиця 2.2

## Розрахункове навантаження електроприймачів

Параметри	Значення
Повна потужність, S, кВА	9,9
Активна потужність, P, кВт	8,5
Реактивна потужність, Q, квар	5,1

Розрахункове навантаження силових вводів будівель (приміщень), що належать до одного комплексу, але мають різне функціональне призначення (наприклад, навчальні приміщення і майстерні ПТУ, спеціальні навчальні заклади і школи; перукарні, ательє, ремонтні майстерні комбінатів побутового обслуговування, громадські приміщення і обчислювальні центри тощо), слід приймати з коефіцієнтом розбіжності максимумів їх навантажень, що дорівнює 0,85. При цьому сумарне розрахункове навантаження повинне бути не меншим за розрахункове навантаження найбільшої з груп споживачів.

Для вибору автоматичного вимикача вводу необхідно знати параметри навантаження на вводі, а саме:

- номінальна напруга мережі  $U_H = 380$  В;
- загальна потужність повна, або активна  $P_{\text{заг}} = 8,5$  кВт;
- коефіцієнт потужності (у разі використання  $P_{\text{заг}}$ )  $\cos \varphi \in 0,85$ .

Визначаємо трифазний робочий струм електричної мережі (ЩО-1) за формулою:

$$I_p = \frac{P_{\text{заг}}}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi} = \frac{8,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 15,2 \text{ А}$$

Порівнюємо розрахований згідно рівнянь трифазний робочий струм електричної мережі  $I_p = 15,2$  А. Проте після розстановки по фазам навантаження, фактичне максимальне значення струму у фазі складає  $I_{p\text{макс}} = 28,2$  А.

Якщо використати методику вибору автоматичного вимикача, то автоматичний вимикач воду приймемо марки Acti9 IC60N C 32A/4P3d.



## 2.2. Розробка електричних схем внутрішніх електричних мереж підключення електроприймачів

Внутрішні мережі освітлення та мережі штепсельних розеток об'єктів цивільного призначення, а також силові мережі, в яких за умовами технологічного процесу чи за режимом роботи мережі може виникати тривале перевантаження провідників, крім захисту від струмів короткого замикання, повинні бути захищені від перевантаження. Для цих цілей слід застосовувати автоматичні вимикачі, які мають комбінований розчіплювач із зворотнозалежною від струму характеристикою, оскільки запобіжники поступають перед такими автоматичними вимикачами в частині захисту від перевантажень.

Уставки апаратів захисту вибираємо з урахуванням максимального навантаження лінії, пускових струмів при включенні потужних споживачів, а для взаєморезервованих ліній – з урахуванням їх післяаварійного навантаження.

На вводі і на початку кожної лінії, в тому числі лінії, що живиться від шинопроводу, встановлюємо апарати захисту у всіх фазних провідниках.

Переріз провідників вибираємо за умов нагрівання тривалим розрахунковим струмом у нормальному і післяаварійному режимах і перевіряємо за падінням напруги у найбільш віддаленого споживача, відповідністю уставкам апаратів захисту, електромеханічним навантаженням, які можуть мати місце внаслідок струмів короткого замикання, механічним навантаженням, які можуть зазнавати провідники, вимогам економічності.

Приміщення, в яких встановлюються розподільні щитки, повинні мати природну вентиляцію і електричне освітлення. В них повинна забезпечуватись температура не нижче ніж 5 °С.

На рис. 2.1 наведемо розроблену схему щитів електричних силових (ЩО-1, ЩО-2) з технічним обліком електроенергії, та апаратами керування та захисту.

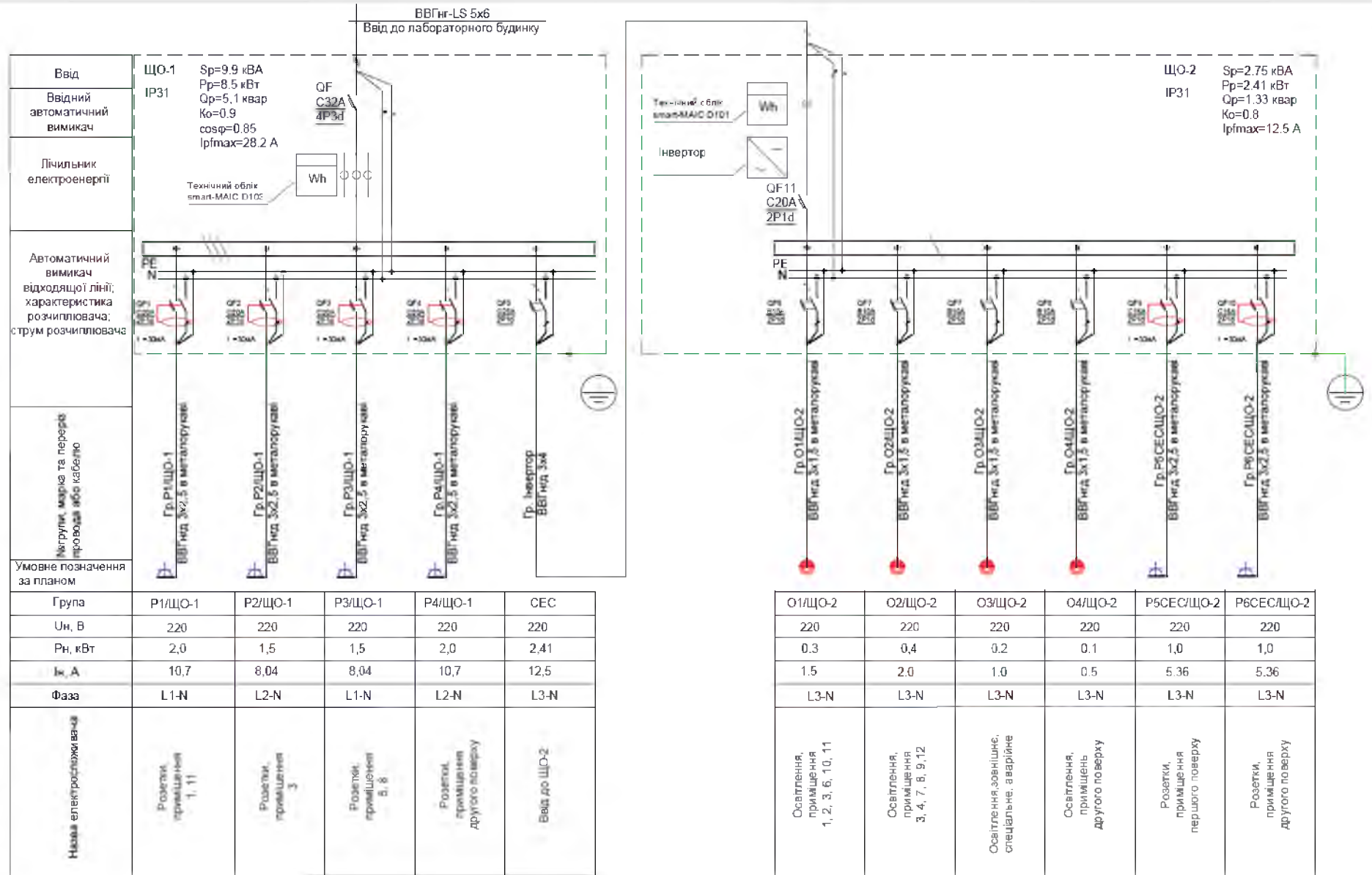


Рис. 2.1 Схема щитів електричних силових (ЩО-1, ЩО-2) з технічним обліком електроенергії

### 2.3. Розробка електричних схем електричної мережі підключення сонячної фотоелектростанції

Розробка електричної схеми сонячної електростанції включає кілька кроків, які допомагають створити систему для отримання електроенергії від сонячних панелей. Опишемо послідовність кроків для розробки такої схеми.

**Визначення потужності.** По-перше потрібно визначити потребу в потужності сонячної електростанції. Це залежить від споживання електроенергії і ресурсів сонячної радіації в кліматичному регіоні.

**Вибір сонячних панелей.** Вибір сонячних панелей включає в себе розгляд різних типів та виробників. Важливо враховувати ефективність панелей, їх матеріали виготовлення, і технології.

**Вибір інвертора.** Інвертор перетворює постійний струм, згенерований сонячними панелями, в змінний струм, який можна використовувати в електричних приладах. Інвертор треба вибирати такий, щоб підходив для кількості і типу сонячних панелей та інших параметрів системи.

**Розташування панелей.** Потрібно визначити місце для встановлення сонячних панелей. Вони повинні бути спрямовані на південний бік (у північній півкулі) і нахил повинен відповідати широті вашого місця розташування.

**Підключення до мережі.** Проведіть електричну мережу від сонячних панелей і інвертора до електричної мережі навантаження будівлі або до її системи розподілу електроенергії.

**З'єднання сонячних панелей для створення сонячної електростанції** вимагає дотримання деяких основних правил та процедур. Розглянемо кроки, які описують, як правильно з'єднувати сонячні панелі.

**Перевірка напруги та струму панелей.** Перш ніж почати з'єднувати сонячні панелі, потрібно визначити напругу та струм. Зазвичай панелі мають напругу у 12, 24 або 48 вольт, а їхніх струм може бути різним.

Вибір типу з'єднання. Існує два основних типи з'єднань сонячних панелей: послідовне і паралельне. У з'єднанні "послідовне" напруга панелей додається, а струм залишається тим самим. У з'єднанні "паралельне" струми панелей додаються, а напруга залишається та сама. Вибір залежить від потужності і потреби.

З'єднання панелей між собою. Для з'єднання панелей між собою використовуються кабелі з правильно підібраними роз'ємами. Потрібно переконатися, що плюсовий (+) кабель однієї панелі підключений до плюсового (+) кабеля іншої панелі, а мінусовий (-) до мінусового (-).

Використання захисту. Потрібно використовувати захисні пристрої, такі як вимикачі, запобіжники, діоди, щоб уникнути зворотного струму та короткого замикання в системі. Це важливо для забезпечення ефективності та безпеки системи.

Підключення до інвертора. Після з'єднання сонячних панелей між собою, потрібно підключити кінці кабелів до відповідних входів інвертора.

Акумулятори в сонячній електростанції призначені для зберігання надлишкової електроенергії, яку генерують сонячні панелі, для використання її в періоди, коли сонце не світить або енергія з сонячних панелей не

використовується безпосередньо. Акумулятори грають важливу роль у сонячних електростанціях, оскільки допомагають зробити систему більш незалежною від змінних умов освітлення та покривати споживання енергії в будь-який час.

Використання акумуляторів допомагає зменшити втрати сонячної енергії, оскільки дозволяє зберігати і використовувати надлишкову енергію замість того, щоб її викидати.

Для забезпечення безпеки потрібно використати належне заземлення системи.

На рис. 2.2 зображена розроблена схема електрична принципова автономної системи електроживлення, до складу якої входять розглянуте обладнання, а саме сонячні панелі, інвертор, акумуляторні батареї, система захисту, і провідники для з'єднання схеми в цілісну систему.

НУБІГ

НУБІГ

НУБІГ

НУБІГ

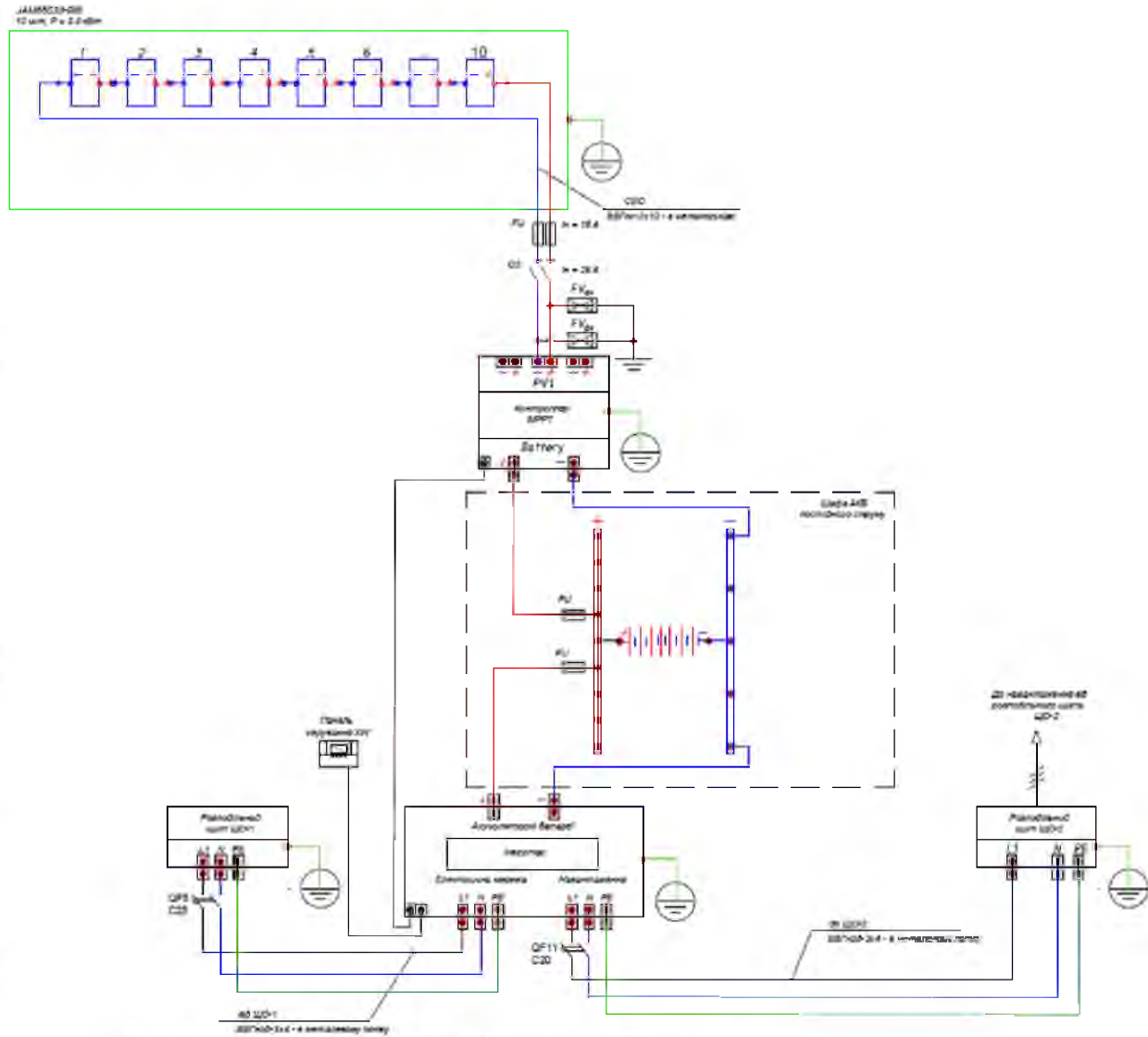


Рис. 2.2. Схема електрична принципова автономної системи електроживлення

НУБІГ

00

## РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ  
СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ3.1. Обґрунтування вибору виробників обладнання сонячної  
фотоелектростанції

Ринок продажів сонячних панелей в Україні за останні 2 роки виріс більш, ніж в 5 разів. Про це свідчить актуальна статистика Державного агентства з енергоефективності України – адже станом на серпень 2018 року в Україні на умовах «Зеленого тарифу» в енергомережу генерують понад 4500 приватних сонячних електростанцій. За умов величезного попиту, на ринку присутня значна кількість виробників, які представляють Китай, Європу, Північну Америку. Майбутньому власнику сонячної станції, який не знайомий з реаліями ринку, дуже важко зорієнтуватися в такому розмаїтті брендів та моделей, при цьому, щоб покупка сонячних панелей відповідала на питання – якість, надійність та продуктивність.

Сьогодні в Україні величезним попитом користуються китайські панелі, так як їх вартість на порядок нижча від європейських та американських аналогів. Пояснюється це різним рівнем оплати праці, податковими пільгами та екологічними нормами в країнах Європейського Союзу, Північної Америки в порівнянні з азіатськими країнами. Відповідно, значно простіше перенести виробництво до Китаю чи Малайзії. Логічним при цьому виникає питання – за умови зниження ціни – знижується якість? Відповідь лежить в площині належного фабричного лабораторного контролю (від виробника), підтвердження характеристик через проходження процедур у міжнародних центрах експертизи та сертифікації, включення виробників у різноманітні рейтинги а також відповідність вимогам національного законодавства.

Можна виділити чотири основні категорії країн-виробників фотоелектричних елементів.

Міжнародні корпорації, які виробляють панелі частково або повністю в Китаї, але працюють за західними стандартами якості. Зазвичай такі компанії входять до рейтингу Tier 1 і відповідально ставляться до контролю якості сонячних панелей. Проте можливі випадки відвантаження товару з гіршими характеристиками (особливо при експорті товару на треті ринки).

Виробники з Європи. Займаються повним циклом виробництва сонячних панелей проте комплектуючі можуть використовуватися від азіатських постачальників. Такі фотоелементи в цілому хорошої якості, проте значно дорожчі.

Виробники з Китаю під брендом Європи, які продають сонячні батареї на локальних ринках. Вироблені в Китаї, але під Європейськими брендами. Все залежить від системи якісного контролю кінцевого виробу, відповідальні постачальники контролюють весь цикл виробництва та надають повноцінну гарантію.

Китайські виробники, що не є міжнародними корпораціями. Продають панелі "made in China". Надійність конкретної сонячної панелі часто страждає від бажання виробника зекономити на комплектуючих а головне робочій силі, контролю якості на вході та виході продукту. Зроблені вручну панелі в разі гірші за виконанням і мають великі відхилення від стандартних паспортних показників. Не рекомендуємо до придбання.

Компанії преміум рівня, до яких можна віднести – Trina, Jinko, JaSolar, Yingli, CanadianSolar, LGSolar, Sharp, SOLARWORLD, Hanwha Q Cells, Risen самостійно займаються науковими розробками створення та покращення сонячних батарей, будують повні виробничі цикли від вирощування кремнію до створення кінцевого виробу. В таких виробників є стандартом проведення заводських тестувань кожної сонячної панелі, при цьому для кожного виробу присвоюється унікальний VIN код. Всі результати тестувань доступні у форматі супровідного листа до партії, а також спеціальних Інтернет ресурсів, де за запитом можна отримати всі робочі параметри сонячної панелі. Такі виробники

дають гарантію на фотоелектричні панелі від 25 до 30 років на лінійну вихідну потужність.

Компанії нижчого сегменту – стандарт або економ, спеціалізуються виключно на складанні та дистрибуції на регіональних ринках. Часто такі компанії можуть замовляти кремнієві пластини в одних виробників (наприклад компанія AntepiSolar використовує кремнієві пластини JaSolar), потужності для складання сонячних панелей можуть розташовуватися в різних місцях, і головне – від побажання замовника сонячні панелі можуть по різному брендуватися для різних ринків. Вироблені в таких умовах сонячні батареї, мають непогані характеристики на момент виходу з виробництва, проте через розрізненість виробничих циклів, змінність постачальників можуть відрізнятися партія від партії, а також не можуть претендувати на комплексну виробничу гарантію виробу.

За умови, роботи сонячних панелей у фотоелектричних системах, підключених до мережі Європейського Союзу, вони повинні бути сертифіковані знаком європейської відповідності CE. Це обов'язкова умова для отримання податкових відрахувань за використання енергоефективних товарів. Різним типам модулів відповідають певні сертифікати. Так, для панелей на кристалічному кремнії передбачений сертифікат CEI EN 61215. Найвідоміша лабораторія Європи – TUV, і якщо продукт має відмітку "TUV", то він, безумовно, відповідає високим європейським вимогам. В США найавторитетнішими висновками вважається тести каліфорнійського агентства California Energy Commission. При проведенні тестувань, для отримання сертифіката, фотоелектричні елементи повинні подолати наступні випробування, визначення потужності в стандартних умовах інсоляції, перевірка роботи в екстремальних температурних умовах і випробування механічної надійності.

Сонячні панелі/модулі не входять в перелік товарів що підлягають обов'язковій сертифікації на території України. Великі постачальники, щоб



зняти всі перестороги перед клієнтами, добровільно сертифікують свою продукцію в Україні.

Перелічимо реальних виробників сонячних панелей в Україні.

ПАТ “Квазар” на сайті стверджується, що фотомодулі мають українську складову, підтвержену відповідним сертифікатом. Компанія займається будівництвом та сервісним обслуговуванням сонячних електростанцій.

Пролог Семікор компанія займається виробництвом зливків монокристалічного кремнію. Виробляють панелі нестандартних розмірів та потужності.

Компанія «Енхол» у м. Енергодар.

Організація виробництва сонячних панелей в Україні залишається неконкурентною справою, відносно світових виробників, в силу об’єктивних обставин: недостатнього фінансування наукових досліджень, застарілості виробничої бази, відсутності держаної підтримки. Єдиний шанс використання сонячних панелей українського виробництва – це часткове застосування панелей в будівництві промислових СЕС. Згідно закону України «Про електроенергетику», за умови використання обладнання українського виробництва в об’єктах електроенергетики забезпечується додаткова надбавка до «Зеленого тарифу» + 10 %.

3.2. Розрахунок та вибір кількості та типу обладнання для сонячної фотоелектростанції до навчально-дослідного розсадника

Активне споживання електроенергії за добу 32 кВт-год. Сумарне споживання активної електроенергії на добу становить 32 кВт-год. Відповідно до цього, приблизне максимальне значення споживання електроенергії на тиждень становить 224 кВт-год. У будівлі лабораторія підключена до електромережі загального користування. У той момент, коли енергії, виробленої фотоелектричними перетворювачами, буде недостатньо, електроенергія буде споживатися з мережі. Коли виробництво перевищує споживання,

електроенергія буде передаватися в мережу. Розрахунок здійснюємо відповідно до методичних рекомендацій.

Електроенергія постійного струму з урахуванням втрат у випадку втрат інвертора:

$$W_{mp} = W_{пер} \cdot k = 224 \cdot 1,2 = 268,8 \text{ кВтгод}, \quad (3.1)$$

де  $W_{пер}$  - загальна споживана енергія змінного струму за тиждень;  $k$  - коефіцієнт, що враховує втрати в інверторі напруги.

Для вибору інвертора, треба поділити значення  $W_{пер}$  на кількість годин роботи тижня, тобто  $5 \cdot 24 = 120$  год:

$$P_{инв} = \frac{W_{mp}}{5 \cdot 24} = \frac{268,8 \cdot 10^3}{120} = 2240 \text{ Вт}. \quad (3.2)$$

Згідно попереднього розрахунку можна умовно прийняти номінальну потужність  $P_{инв} = 5000 \text{ Вт}$ , а напругу акумуляторних батарей 48 В.

Кількість ампер-годин в тиждень, що потрібна для покриття навантаження змінного струму:

Кількість ампер-годин в тиждень, що потрібна для покриття навантаження змінного струму:

$$q_{пер} = \frac{W_{mp}}{U_{инв}} = \frac{268,8 \cdot 10^3}{48} = 5600 \text{ Агод} \quad (3.3)$$

Приймаємо, що в лабораторному будинку немає навантаження постійного струму  $W_{пост} = 0$ .

Добове значення споживання Агод:

$$q_{сут} = \frac{q_{пер}}{5} = \frac{q_{пер}}{5} = \frac{5600}{5} = 1120 \text{ Агод} \quad (3.4)$$

В процесі роботи визначається значення необхідної ємності акумуляторів та їх кількість.

Максимальна кількість послідовних "днів без сонця" за умови цілорічної експлуатації та використання загальної електромережі становить  $N_{бс} = 1$ .

Загальна ємність батареї, включаючи кількість днів без сонця:

$$q_N = q_{\text{сут}} \cdot \eta_{\text{бс}} = 1120 \cdot 1 = 1120 \text{ Агод} \quad (3.5)$$

Необхідно встановити глибину допустимого розряду акумулятора на рівні 80%. Приблизний коефіцієнт використання  $\gamma=0,8$ .

Заряд акумулятора з урахуванням глибини розряду акумулятора:

$$q_g = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{1120}{0,8} = 1400 \text{ Агод} \quad (3.6)$$

Отже загальна потрібна ємність акумуляторних батарей складає 1400 Агод.

Виберемо акумуляторну батарею марки Pylontech (5 кВт-год, 48 В) US5000. Номінальна напруга = 48В, ємність = 100 Агод. Зображення батареї на рис. 3.1



Рис. 3.1. Зображення акумуляторної батареї марки Pylontech

Визначимо кількість акумуляторних батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{доб}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{1400}{100} = 14 \text{ шт.} \quad (3.7)$$

Кількість акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{увб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ шт.} \quad (3.8)$$

Загальна кількість потрібних акумуляторних батарей:

$$N_{\text{тр}}^{\text{АКБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} \cdot N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = 14 \cdot 1 = 14 \text{ шт.} \quad (3.9)$$

Визначення необхідної кількості фотоелектричних перетворювачів.

За кількістю пікових сонячних годин необхідно знати середньомісячну сонячну радіацію в Києві.

Якщо фотоелектричні перетворювачі розміщені під кутом  $\beta$  до цієї точки, то сонячна енергія розраховується від горизонтальних поверхонь до похилих.

Після вибору місця розташування (описано в розділі 1), необхідно вибрати кут нахилу і розташування сонячних панелей для оптимального генерування енергії.

Враховуючи рекомендацію для м. Києва для автономних схем сонячних станцій, див. рис. 3.2 обираємо кут встановлення панелей  $61^\circ$ . Вибрана орієнтація дозволить знизити втрати - Loss with respect to optimum 0,0 %.

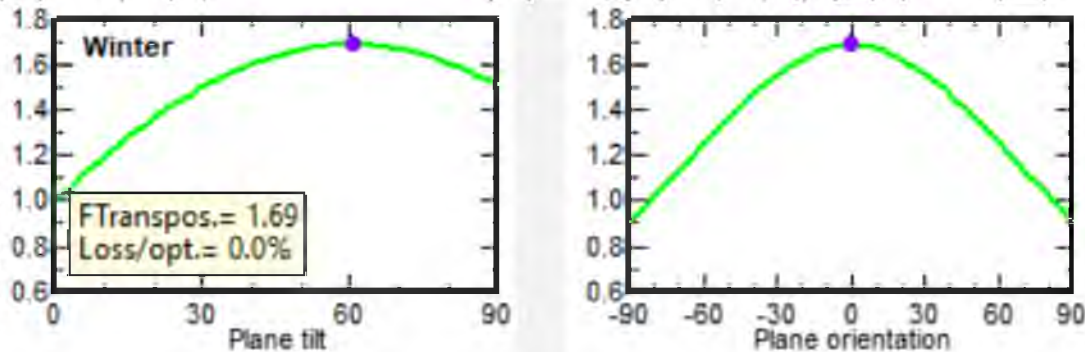


Рис. 3.2. Рекомендований кут встановлення сонячних панелей для автономних сонячних станцій в м. Києві

Для подальших розрахунків обираємо сонячні панелі марки JAM72-D30-550-MB, потужністю 550 Вт/шт, напругою 41,6 В, струмом 13,2 А. Параметри детальної панелі зображені в програмі PVsyst на рис. 3.3 – 3.4.

Definition of a PV module

Basic data | Sizes and Technology | Model parameters | Additional Data | Commercial | Graphs

Model: JAM72-D30-550-MB Manufacturer: JA Solar  
 File name: JA\_Solar\_JAM72\_D30\_550\_MB.PAN Data source: Manufacturer-RETIC 2021  
 Original PVSyst database Prod. Since 2021

Nom. Power (at STC): 550.0 Wp Tol. +/- 0.0 3.0 %  
 Technology: Si-mono

**Manufacturer specifications or other measurements**

Reference conditions	GRef	1000 W/m <sup>2</sup>	TRef	25 °C
Short-circuit current	Isc	14.000 A	Open circuit Voc	49.90 V
Max Power Point	Impp	13.110 A	Vmpp	41.96 V
Temperature coefficient	muIsc	5.6 mA/°C	Nb cells in series	72 x 2
	or muIsc	0.040 %/°C		

**Model summary**

Main parameters

R shunt	240 Ω
Rsh(G=0)	1000 Ω
R serie model	0.19 Ω
R serie max.	0.20 Ω
R serie apparent	0.32 Ω

Model parameters

Gamma	0.995
IoRef	0.02 nA
muVoc	-136 mV/°C
muPMax fixed	-0.33 /°C

**Internal model result tool**

Operating conditions	GOper	1000 W/m <sup>2</sup>	TOper	25 °C
Max Power Point	Pmpp	550.4 W	Temper. coeff.	-0.33 %/°C
	Current Impp	13.24 A	Voltage Vmpp	41.6 V
Short-circuit current	Isc	14.00 A	Open circuit Voc	49.9 V
Efficiency	/ Cells area	N/A %	/ Module area	21.31 %

Show Optimization | Copy to table | Print | Cancel | OK

Рис. 3.3. Детальні параметри сонячної панелі марки JAM72-D30-550-MB

Definition of a PV module

Basic data | Sizes and Technology | Model parameters | Additional Data | Commercial | Graphs

Description: JA Solar, JAM72-D30-550-MB

**Module**

Length	2278 mm
Width	1134 mm
Thickness	30.0 mm
Weight	31.20 kg
Module area	2.583 m <sup>2</sup>

**Cells**

In series	72
In parallel	2
Cell area	N/A cm <sup>2</sup>
Total nb. cells	144
Cells area	N/A m <sup>2</sup>

Definition of Module's sizes is mandatory: it is used for the determination of the "usual" efficiency.  
 Cells area is facultative: if defined it allows for the definition of the efficiency at cell level.

**Module technology and specialties**

**Maximum Array Voltage**

Absolute maximum voltage of the Array in any conditions (i.e. Voc at lowest possible ambient temperature).

Maximum voltage IEC	1500 V
Maximum voltage UL (US)	1500 V

**By-pass protection diodes**

Nb. of submodules: 3 /module (i.e. functional by-pass diodes)

Submodule partition:

In length  Twin half cells  
 In width  Shingled cells  
 Other

Tile module  
 CPV: Concentrating module  
 Bifacial module

**Bifacial module**

Bifaciality factor: 0.664

Ratio between the rear side efficiency at STC and front side nominal efficiency

Show Optimization | Copy to table | Print | Cancel | OK

Рис. 3.4. Розміри та технологічні параметри сонячної панелі JAM72-D30-550-MB

Визначимо кількість модулів сонячних панелей, що з'єднані послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{СП} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{мін}}^{СП}} = \frac{420}{41,6} = 10 \text{ шт.} \quad (3.10)$$

Кількість модулів, що з'єднані паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{СП} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{мін}}^{СП}} = \frac{420}{420} = 1 \text{ шт.} \quad (3.11)$$

Площа фотоелектричних перетворювачів:

$$S^C = N^C \cdot S_1^C = 10 \cdot 2,583 = 25,83 \text{ м}^2 \quad (3.12)$$

### 3.3. Вибір інвертора напруги сонячної фотоелектростанції

При виборі інвертора для лабораторної будівлі слід керуватися такими стандартами: простота і надійність конструкції, зручність в експлуатації, невисока вартість. Крім того, необхідно враховувати такі характеристики, як висока перевантажувальна здатність при синусоїдальній вихідній напрузі, висока якість підтримання частоти і вихідної напруги. Трифазна вихідна напруга і потужність інвертора необхідні для забезпечення сумарного навантаження повинна складати 5 кВт.

Розглянувши технічні параметри системи з попередніх розділів і вимоги до сонячної електростанції обираємо інвертор марки Solinved 5 кВт 48В 230В PWM SMART, див. рис. 3.5.

Ключові особливості інвертора:

Високоєфективний інвертор з правильною (чистою) синусоїдою.

(Коефіцієнт потужності рівний 1,0).

Вбудований PWM сонячний контролер заряду.

Вхідну напругу можна регулювати відповідно до використання.

Пріоритет споживання від мережі або сонячної енергії можна встановити за

допомогою LCD-дисплея.

Функція автоматичного перезапуску в разі збою мережі.

Висока потужність і захист від короткого замикання.

Функція холодного старту.

Можливе використання з мережею та з генератором.

Сигналізація розряду батареї.



Рис. 3.5. Зображення автономного інвертора Solinved 5 кВт

Інвертор має вбудований байпас.

У мережі, в разі перебоїв або втрат електроенергії, фотоелектричний пристрій/або акумулятор, який підключений до входу постійного струму, може бути з'єднаний зі споживачами. Інвертор автоматично вимикається, попереджаючи про відключення. Якщо батарея досягає низького рівня розряду, інвертор автоматично вимикається, попереджаючи про відключення.

Коли інвертор виходить за межі встановленого діапазону, навантаження автоматично перемикається на байпас або інший доступний вхід, якщо джерело живлення виходить за межі встановленого діапазону.

Статичний байпас складається з ключа в електронній схемі, в яку включено пристрій з одним ключем. Це можливо в тому випадку, якщо при допустимому відхиленні вихідної потужності від заданого значення він автоматично і безперервно перемикає навантаження на мережу. Модуль статичного байпасу має активний ключ, який безперервно перемикає мережу в будь-якому діапазоні.

Він може використовуватися як частина основної системи або її компонентів. При мікропроцесорному контролі він є автономним і не допускає абсолютно ніяких збоїв в роботі модуля або необгрунтованого перемикання будь-якого нелогічного перемикання статичного байпасу. Наприклад, перемикання можливе в ручному або автоматичному режимі тільки в тому випадку, якщо потужність і фаза інвертора синхронізовані із зовнішнім байпасом. Перемикання електричних пристроїв може здійснюватися в ручному або автоматичному режимі тільки в тому випадку, якщо швидкість інвертора буде визначатися байпасом. Блокування перемикання є результатом відхилень від заданих значень частоти, або в разі переривання на інверторі, перемикання буде виконуватися з перервою.

Якщо байпас працює в нормальному режимі, він автоматично передає навантаження на інвертор, якщо той працює самостійно. Статичний байпас складається з мікропроцесора - перемикання інвертора в мережу і назад здійснюється в автоматичному режимі, тим самим не перешкоджаючи розриву ланцюга.

У даному розділі виконаємо розрахунок пристрою, що визначає рівень "заряд"-"розряд" номінальної напруги акумуляторної батареї.

Як відомо, при напрузі на клеммах 12-вольтового акумулятора рівному 10,2 В акумулятор вважається розрядженим; при напрузі 14,4 В – зарядженим.

Для визначення цих меж потрібні два компаратора DA1-1 і DA1-2, зібрані на базі подвоєного підсилювача К140УД 2. Живиться пристрій від того ж акумулятора. Датчиком напруги акумулятора слугує сам акумулятор. Подільником напруги R5, R6 напруга акумулятора ділиться на два. Джерелом напруги установа:  $U_{акк} < 10,2 \text{ В}$  і  $U_{акк} > 14,4 \text{ В}$  слугує параметричний



стабілізатор, зібраний на елементах VD1, R1, C1. Напряга стабілізації вибирається нижче нижнього порога (акумулятор вважається розрядженим).

Для розрахунку стабілізатора, в якості VD1 виберемо стабілітрон типу 2С482А з технічними даними  $U_{ст} = 8,2 \text{ В}$  – напруга стабілізації;  $I_{ст\min} = 1 \text{ мА}$  – струм стабілізації мінімальний. При  $I_{ст} = 5 \text{ мА}$ :  $U_{ст} = 8,2 \text{ В}$ ; максимальний струм стабілізації  $I_{ст\max} = 96 \text{ мА}$ .

Для розрахунку опору R1, враховуючи, що  $U_{\min\text{акк}} = 10,2 \text{ В}$ , виберемо:

$$U_{\min\text{акк}} = 10\text{В}; U_{ст} = 8,2\text{В}; I_{ст\min} = 5\text{мА}$$

$$R1 = \frac{U_{\min\text{акк}} - U_{ст}}{I_{ст\min}} = \frac{10 - 8,2}{5 \cdot 10^{-3}} = 360 = 0,36 \text{ кОм} \quad (3.13)$$

Перевіримо, чи не будуть перевищені межі параметрів стабілітрона при напрузі зарядженого акумулятора  $U_{\max\text{акк}} = 14,4 \text{ В}$ .

$$I_{ст} = \frac{U_{\max\text{акк}} - U_{ст}}{R1} = \frac{14,4 - 8,2}{360} = 0,0172 = 17,2 \text{ мА} \quad (3.14)$$

Так як  $I_{ст} < I_{ст\max}$ :  $17,2 \text{ мА} < 96 \text{ мА}$ , значить гранично допустимі параметри перевищені не будуть. Відповідно, стабілітрон вибраний вірно.

При виборі стабілітрона необхідно, щоб при потрібній напрузі стабілізації, максимальний струм стабілізації був невисоким.

Згідно довідникової літератури підбираємо потрібну мікросхему DA1. У даному випадку підбрана мікросхема – операційний підсилювач типу

K140УД20. Вхідний  $I_{вх}$  і вихідний  $I_{вих}$  струми вибраної мікросхеми:  $I_{вх} = 0,2 \text{ мА}$ ;

$I_{вих} = 20 \text{ мА}$ .

Струм через подільник для установлення граничних опорних значень напруги  $10,2 \text{ В}$  і  $14,4 \text{ В}$  знаходиться наступним чином. Звичайно струм через подільник вибирають за умовою:

$$I_D \geq (2 \div 4) \cdot I_{нагр}, \quad (3.15)$$

де  $I_{нагр}$  – струм через навантаження,  $I_D$  – струм через подільник.

Для нашого випадку  $I_{нагр} = I_{вх}$ , значить

$$I_D \geq (2 \div 4) \cdot 0,2 \geq 0,4 \div 0,8 \text{ мА}.$$

Вибираємо струм подільника  $I_{д1} = 1$  мА.

Визначимо опори подільника  $R_2, R_3, R_4$ .

Згідно закону Ома:

$$R_{д1} = \frac{U_{ст}}{I_{д1}} = \frac{8,2}{1} = 8,2 \text{ кОм} \quad (3.16)$$

Визначено, що напруга акумулятора опорам  $R_5$  і  $R_6$  ділиться на два. Отже,  $R_5, R_6$  є подільник на два, тоді згідно вище наведеному  $R_{д2}$  повинно бути  $\geq 1$  мА.

При відомому  $U_{\min \text{ акк}}$  маємо:

$$R_{д2} = \frac{10}{1} = 10 \text{ кОм.}$$

При напрузі зарядженого акумулятора

$$I_{д2} = \frac{U_{\max \text{ акк}}}{R_{д2}} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^3} = 0,00144 = 1,44 \text{ мА,} \quad (3.17)$$

що більше  $(2 \div 4) I_{\text{нагр.}}$ .

Опори  $R_5$  і  $R_6$  рівні.  $R_5 = R_6$ , при діленні напруги акумулятора, відповідно

$$R_5 = R_6 = \frac{10}{2} = 5 \text{ (кОм)}$$

Найближчий номінал, щоб виконувалась умова  $I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot I_{\text{нагр}}$  буде рівним 4,7 кОм.

Послідовно  $R_5 = R_6 = 4,7 \text{ кОм.}$

Напруга  $U$  на подільнику буде змінюватися від 5,1 В до 7,2 В при зміні напруги на акумуляторі від 10,2 В до 14,4 В.

Визначимо номінали резисторів, що входять до подільника. Так як при зміні напруги на акумуляторі в вищевказаних межах:  $I_{д1} = 1$  мА, значить

$$R_4 = \frac{U_{\text{пор.}}}{I_{д1}}, \quad (3.18)$$

де  $U_{\text{пор.}}$  — значення напруги при розрядженому акумуляторі, рівне  $U_{\text{пор.}} = 5,1 \text{ В.}$

$$R4 = \frac{5,1}{1 \cdot 10^{-3}} = 5100 \text{ Ом} = 5,1 \text{ кОм}$$
 Друга гранична напруга  $U_2$  пер. = 7,2 В, тобто

$$R3 + R4 = \frac{7,2}{1 \cdot 10^{-3}} = 7,2 \text{ кОм}$$

Тоді  $R3 + R4 = 7,2$ ,  
 $R3 = 7,2 \cdot 10^3 - R4 = 7,2 \cdot 10^3 - 5,1 \cdot 10^3 = 2100 \text{ Ом}$ ,

$$R2 + R3 + R4 = 8,2 \text{ кОм}$$

$R2 = R_{\text{Д1}} - (R3 + R4) = 8,2 - 7,2 = 1 \text{ кОм}$ .  
 Якщо напруга на опорі R6 нижче опорної, стабільної на R4, то на виході інвертуючого компаратора DA1-2 напруга  $+U_{\text{ст}}$  живлення і світиться світлодіод

VD2. VD2 підключений через струмообмежуючий опір R9. Вибраємо згідно довідника світло випромінюючий діод типу АЛ102Г червоного кольору,

максимально допустимий прямий струм 10 мА. Приймаємо  $I_{\text{max VD2}} = 9 \text{ мА}$ , тоді

$$R9 = \frac{U_{\text{вих DA1-2}} - U_{\text{Д}}}{I_{\text{max VD2}}} \quad (3.19)$$

де  $U_{\text{вих DA1-2}} \approx 10 \text{ В}$  (значення при розряді);  $U_{\text{Д}} \leq 3 \text{ В}$ ;

$$R9 = \frac{10 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 777 \text{ Ом} \approx 0,777 \text{ кОм}$$

Найближчий номінал  $R9 = 820 \text{ Ом}$ .

Якщо напруга на опорі R6 вище опорного, стабільного на R4, то на виході інвертуючого компаратора DA1-2 є напруга  $U_{\text{ст}}$  живлення. Світловипромінюючий діод VD2 не світиться.

Якщо напруга на опорі R3 (опорна, стабільна) вище напруги на опорі R6, на якому напруга в межах 5,1+7,2 В на виході неінвертуючого компаратора DA1-1 відповідає  $-U_{\text{ист}}$  живлення, світловипромінюючий діод VD3 не світиться.

Якщо напруга на опорі R6 перевищує опорну, стабільну на R3, то на виході неінвертуючого компаратора DA1-1 є напруга  $+U_{\text{ист}}$  живлення і

світлопромінуючий діод VD3 світиться, проходить струм через опір R7, величина якого розраховується так же, як і R9, але по значенню напруги для зарядженого акумулятора за допомогою виразу:

$$R7 = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 12670 \text{ Ом} \approx 1,3 \text{ кОм}$$

Відповідно, коли напруга на акумуляторі  $U_{\text{акк}} > 10,2 \text{ В}$  і  $U_{\text{акк}} < 14,4 \text{ В}$ , вихід DA1-1 и вихід DA1-2 знаходяться в стані "Вимкнено", тобто є на цих виходах рівень  $U_{\text{ист}}$  живлення, а значить VT1 і VT2 знаходяться в режимі відсічки, тобто  $U_{\text{к VT1}}$  і  $U_{\text{к VT2}}$  рівна  $U_{\text{ист}}$  живлення. Через подільник R14, R16, R17, а також діоди VD4 і

VD5 струм не протікає, відповідно ланцюг VD6, R18, R19 не шунтується транзистором VT3 і ви-промінуючий діод світиться, сигналізуючи  $U_{\text{акк, ном}}$ .

Елементи VT1; VT2; VT3; VD5; VD6; R8; R10; R13; R14; R15; R16; R17 виконують логічну функцію "І" (функція логічного множення).

Знайдемо номінальні дані цих елементів. Використаємо для цього основні відношення транзистора:

$$I_{\text{к}} = \beta \cdot I_{\text{б}} \quad (3.20)$$

де  $I_{\text{к}}$  – струм колектора;  $I_{\text{б}}$  – струм бази;  $\beta$  – коефіцієнт зворотнього зв'язку.

Прийmemo струми колекторів транзисторів VT1 і VT2  $I_{\text{к}} = 10 \text{ мА}$  при  $U_{\text{акк}}$ .

$U_{\text{акк}} = 14,4 \text{ В}$ , звідки за законом Ома:

$$R_{\text{к}} = \frac{U_{\text{макс акк}}}{I_{\text{к}}} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^{-3}} = 1440 \text{ Ом} = 1,44 \text{ кОм} \quad (3.21)$$

Вибираємо найближчий номінал  $R_{\text{к}} = 1,5 \text{ кОм}$ . Відповідно,  $R13 = R15 = 1,5 \text{ кОм}$ , тоді знайдемо базовий струм  $I_{\text{б}}$ , звідки розрахуємо опір  $R_{\text{б}}$ .

В даному випадку підходять транзистори КТ503В, у яких  $\beta_{\text{мін}} = 40$ ;  $I_{\text{к}} = 150 \text{ мА}$ ;  $U_{\text{кб}} = 40 \text{ В}$ .

$$I_{\text{б}} = \frac{I_{\text{к}}}{\beta} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ мА} \quad (3.22)$$

Знайдемо R10. Так як при  $U_{\text{мін акк}} = 10,2 \text{ В}$  на виході DA1-1  $U_{\text{мін акк}} = 10,2 \text{ В}$ .

Відповідно:

$$R_{10} = \frac{U_{\text{мін.акк.}}}{I_{\text{б}}} = \frac{10,2}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 40800 \text{ Ом} = 40,8 \text{ кОм} \quad (3.23)$$

Найближчий стандартний номінал 39 кОм.  $R_{10} = 39 \text{ кОм}$ .

Знайдемо  $R_8$  також при  $U_{\text{макс.акк.}} = 14,4 \text{ В}$ . На виході DA1-1 +  $U_{\text{макс.акк.}}$ ,

значить:

$$R_8 = \frac{U_{\text{макс.акк.}}}{I_{\text{б}}} = \frac{14,4}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 57600 \text{ Ом} \approx 58 \text{ кОм}$$

Найближчий стандартний номінал 56 кОм.  $R_8 = 56 \text{ кОм}$ .

В якості транзистора VT3 підходить транзистор типу KT502B, що має

технічні дані:  $\beta_{\text{мін}} = 40$ ,  $I_{\text{к}} = 150 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{кэ}} = 40 \text{ В}$ ;  $U_{\text{бэ макс}} = 1,2 \text{ В}$ .

Визначимо значення опорів  $R_{12}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{15}$ ,  $R_{16}$ ,  $R_{17}$ . Розрахуємо баластний опір  $R_{16} + R_{17}$  у колі світловипромінюючого діода VD6. Щоб не перевищити гранично допустимий струм через VD6, прийемо степінь насичення  $N = 1,5$ .

Відповідно:

$$U'_{\text{нас.бэ}} = U_{\text{бэ макс}} \cdot 1,5 = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ В} \quad (3.24)$$

Максимальний прямий струм через VD6 також, як і через VD2 і VD3 рівний 9 мА.

Баластний опір  $R_{16} + R_{17}$  розраховуємо за формулою:

$$(R_{16} + R_{17}) = \frac{U_{\text{макс.акк.}} - U_{\text{д}}}{I_{\text{макс}}} = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267 \text{ Ом} \approx 1,3 \text{ кОм} \quad (3.25)$$

Прийmemo  $R_{16} = R_{17}$ :

$$R_{16} = R_{17} = \frac{R_{16} + R_{17}}{2} = \frac{1300}{2} = 650 \text{ Ом}$$

Найближчий стандартний номінал 680 Ом, тоді  $R_{16} = R_{17} = 680 \text{ Ом}$ .

У відкритому, насиченому стані струм  $I_{\text{к макс}}$  (или  $I_{\text{к VT3}}$ ) транзистора VT3 рівний:

$$I_{\text{к макс}} = \frac{U_{\text{макс.акк.}}}{R_{17}} = \frac{14,4}{0,68 \cdot 10^3} = 0,021 \text{ А} = 21 \text{ мА} \quad (3.26)$$

Відповідно

$$I_{6VT3} = \frac{I_{кVT3}}{\beta} = \frac{21}{40} = 0,525 \text{ мА}$$

Згідно виразу струм  $I_D$ :

$$I_D > (2 \div 4) \cdot I_{6VT3} > 1,05 \div 2,1 \text{ мА.}$$

Прийmemo  $I_D = 2 \text{ мА}$  при  $U'_{нас.бэ} = 1,8 \text{ В}$ . У такому випадку опір  $R_{15}$  рівний:

$$R_{15} = \frac{U'_{нас.бэ}}{I_D} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ кОм}$$

Найближчий стандартний номінал  $R_{15} = 910 \text{ Ом}$ .

Коли транзистор  $VT1$  відкритий, то  $U_{акк max} = 14,4 \text{ В}$ .

Тоді  $U_{R_{14}+VD4} = U_{акк max} - U'_{бэ нас} = 14,4 - 1,8 = 12,6 \text{ В}$ .

$$R_{12} = \frac{U_{R_{14}} - U_{VD4}}{I_D} = \frac{12,6 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 5950 \text{ Ом} = 5,95 \text{ кОм}$$

де  $U_{VD4} \approx 0,7 \text{ В}$ .

Найближчий стандартний номінал  $5,9 \text{ кОм}$ , тобто  $R_{12} = 5,9 \text{ кОм}$ .

Коли транзистор  $VT2$  відкритий, то  $U_{min акк} = 10,2 \text{ В}$ .

Визначимо опір  $R_{14}$ . Напряга на  $R_{14}$  і діоді  $VD5$  визначається із виразу:

$$U_{R_{14}+VD5} = U_{min акк} - U'_{бэ} = 10,2 - 1,8 = 8,4 \text{ В,}$$

$$R_{14} = \frac{U_{R_{14}} - U_{VD5}}{I_D} = \frac{8,4 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 3850 \text{ Ом} = 3,85 \text{ кОм}$$

Найближчий стандартний номінал  $3,9 \text{ кОм}$ , тобто  $R_{14} = 3,9 \text{ кОм}$ .

$U_{VD5}$  і  $U_{VD4}$  - пряме падіння напруги на кремнієвих діодах, рівне  $0,7 \text{ В}$ . У

якості діодів  $VD4$  і  $VD5$  можна вибрати малопотужні кремнієві діоди типу КД522А.

Конденсатор фільтру виберемо типу К50-29 - електролітичний

конденсатор ємністю  $470 \text{ мкФ}$ ,  $16 \text{ В}$ . При виборі конденсатора необхідно, щоб

напряга на конденсаторі була більше напруги, до якої він буде підключатися.

## РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОЛЯЧНОЇ  
ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНОГО РОЗСАДНИКА  
НУБІП УКРАЇНИ4.1. Визначення ефективності встановлення та експлуатації сонячної  
фотоелектростанції

Фотоелектричні модулі дуже надійні, не мають рухомих частин і не потребують обслуговування або зовнішніх ресурсів, таких як паливо, а лише потік сонячної енергії. Тому їхнє перше значне застосування було пов'язане з використанням невеликої кількості електроенергії, коли паливо для звичайних генераторів було складно або дорого доставляти. Як описано у розділах раніше, більшість автономних фотоелектричних систем використовують батарею для зберігання та регулювання електроенергії. Акумулятор необхідний, оскільки надходження сонячної енергії не збігається з використанням, наприклад, для освітлення вночі або для пікової потужності під час передачі сигналів. Необхідне регулювання, зазвичай з додаванням електронних контролерів, оскільки в іншому випадку не буде опорної напруги. Автономні системи зазвичай є автоматичними, періодично повинні обслуговуватися кваліфікованим персоналом.

Оскільки вартість фотоелектричних систем знизилася, зменшилася і відстань до електромережі, на якій електромережі і установки є конкурентоспроможними за вартістю. Наприклад, зараз часто дешевше і завжди безпечніше встановлювати лічильники для паркування автомобілів або освітлення для пішохідних доріжок як автономні системи на сонячних батареях, ніж встановлювати з'єднання та облік від електромережі для невеликих обсягів необхідної енергії. Більше того, новітні електронні пристрої, включаючи освітлення, завжди мають тенденцію використовувати менше енергії, ніж їхні попередники, тому фотоелектрична енергія є ще більш актуальною.

Максимальна потужність досягається шляхом регулювання  $V$  і  $I$  так, щоб вони лежали на лінії максимальної потужності, оскільки інсоляція і опір навантаження змінюються (див. рис. 4.1)

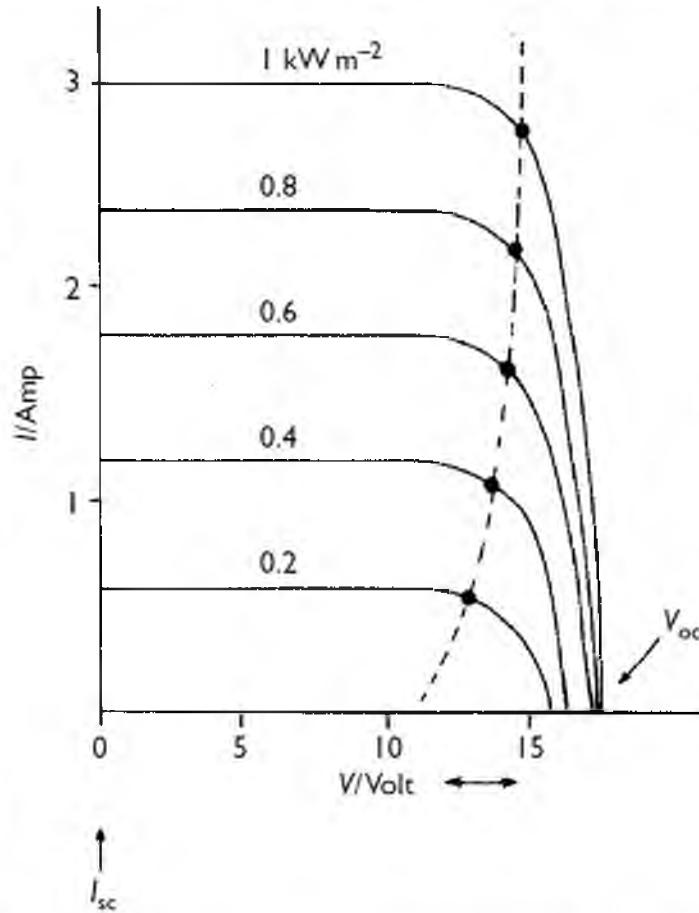


Рис. 4.1. Вольтамперна характеристика фотомодуль

Це відбувається майже при постійній напрузі, в межах 25% від  $V_{oc}$ , навіть при постійній температурі елементів (умова, для якої виробники зазвичай будують криві  $I-V$ ). На практиці робоча температура зазвичай підвищується з випромінюванням, що знижує вихідну напругу відповідно, так що лінія пікової потужності є більш близькою до вертикальної, ніж показано на рисунку 4.1. Напруга на клеммах електричної акумуляторної батареї залишається майже постійною незалежно від струму заряду, але зростає зі збільшенням ступеня заряду. Тому вольтамперна характеристика для нормального заряджання батареї може бути наближена до лінії максимальної потужності. Це суттєво відрізняється від чисто резистивного навантаження або двигуна постійного



струму, де напруга на клеммах змінюється безпосередньо в залежності від струму. Якщо таке навантаження використовується без акумулятора, продуктивність значно підвищується за допомогою відстежувача точки максимальної потужності (MPPT). Це, по суті, перетворювач постійного струму в постійний, який утримує вхідну напругу близько до точки максимальної потужності при зміні випромінювання. Такі пристрої керування навантаженням часто вбудовуються в сонячні системи з такими назвами, як "максимізатор" або "лінійний підсилювач струму", і можуть дозволити використовувати 95% максимальної потужності з користю для навантаження при різних сонячних умовах.

Практично всі застосування фотоелектричних систем на вимагають зберігання електроенергії в акумуляторах, очевидно, для освітлення вночі, але також для того, щоб впоратися зі стрибками навантаження, такими як стрибки напруги.

Продуктивність і надійність фотоелектричної системи набагато вища, якщо використовувати батарею, призначену для цієї мети. Контролер заряду необхідний для того, щоб утримувати параметри батареї в межах заряду і глибини розряду, запропонованих виробником. Контролер - це відносно проста електронна схема, яка вмикає і вимикає батарею або навантаження в ланцюг відповідно до напруги та струму на акумуляторі. Без нього акумуляторні батареї можуть вийти з ладу за кілька днів. Навіть з контролером, термін служби батареї зазвичай становить 3-6 років, що набагато коротший за термін служби модулів і часто коротший за термін служби системи, що передбачають розробники. Контролер заряду часто поєднується з MPPT в одному блоці. Для роботи електроприладу змінного струму (240 В/50 Гц) у фотоелектричній системі використаний інвертор. Автономний інвертор використовує внутрішній генератор частоти і схему перемикачів для перетворення низьковольтної постійного струму в змінний струм вищої напруги. Форма сигналу змінного струму може бути прямокутною (дешевий інвертор) або майже чистою синусоїдою (складний твердотільний електронний інвертор). Інвертор

підібраний для конкретного навантаження, щоб він міг впоратися з імпульсними струмами, але не настільки великими, щоб він зазвичай працював на малій частці своєї номінальної потужності (скажімо, <math><15\%</math>), а отже з низьким ККД <math><85\%</math>.

Твердотільні електронні інвертори є комерційними доступні з відмінною надійністю та ефективністю (<math>\sim 95\%</math>).

Повністю освітлена панель потужністю, скажімо, 80 Вт може виробляти менше 80 Вт, тому що або випромінювання менше <math>1 \text{ кВт/м}^2</math>, або робоча температура перевищує <math>25^\circ\text{C}</math> (обидва варіанти найбільш вірогідні). Крім того,

капітальні витрати на піковий ват вихідної потужності в мережу від системи,

підключеної до мережі, є значно більші, можливо, вдвічі, ніж на піковий ват від панелі, через капітальні витрати інших компонентів системи та витрати встановлення. Ці "інші витрати" є "балансом системних витрат". Якщо в системі

використовуються акумуляторні батареї, то вартість пікового вата, доступного

для використання, щонайменше в чотири рази перевищує вартість пікового вата

від панелі. Зазвичай на практиці не менш важливими, ніж капітальні витрати на піковий ват нової системи, є вартість кВт-год виробленої електроенергії. У незатіненому фіксованому місці ефективний масив потужністю 1 кВт може

виробляти <math>1800 \text{ кВт-год}^{-1}</math>. Для автономних систем, найважливішим показником

є вартість послуг, що надаються на конкретному місці. Таким чином, існує компроміс між компонентами системи, наприклад, більш енергоефективні прилади потребують менше панелей і акумуляторів, тому зазвичай економія

перевищує додаткові витрати на енергоефективні прилади.

Основний компонент зростання попиту на фотоелектричну енергію припадає на підключені до електромережі системи. Це прискорено завдяки державним програмам, які створили великий ринок, особливо для місцевих виробників фотоелектричних систем. Повернена до сонця площа даху більшості

заміських будинків, якщо покрити її фотоелектричними системами, можна

очікувати, що вона буде генерувати кількість електроенергії за рік, що дорівнює 50-100% річного попиту на електроенергію домогосподарства.

Домогосподарства з фотоелектричними установками використовують вироблену

електроенергію вдень (продаючи будь-який надлишок місцевої електростанції) і купують електроенергію у вночі купують електроенергію в енергопостачальній компанії. Таким чином, мережа виступає в ролі їхнього "сховища". Урядові програми, зробили це розумною фінансовою пропозицією для домогосподарств за допомогою одного або декількох з наступних заходів: зобов'язання енергопостачальної компанії купувати таку електроенергію купувати таку електроенергію за пільговою ціною; субсидування початкової капітальної вартості сонячної батареї. Модульна природа фотоелектричної генерації та невелика вага модулів роблять таку розподілену (вбудовану) генерацію відносно простою технологічно. Економічність і простота будівництва покращуються за рахунок розробка "структурних" фотоелектричних панелей, які можна вбудовувати на фасадах і дахах будівель замість звичайних стінових і покрівельних матеріалів. У країнах, що розвиваються, продовжується значне використання та попит на фотоелектричні панелі для програм електрифікації сільської місцевості - дуже важливої частини соціального та економічний розвиток.

У процесі експлуатації фотоелектричні системи є екологічно безпечними, без викидів і без шуму. Однак, їх виробництво передбачає використання деяких шкідливих хімічних речовин і використовує енергію. Час, протягом якого певний фотомодуль генерує електроенергію, що дорівнює енергії, витраченій на його виготовлення, залежить від інсоляції ділянки та способу виробництва. Для типового помірного клімату "простий" термін окупності енергії для монокристалічних кремнієвих фотомодулів, інкапсульованих монокристалічним кремнієм, становить близько трьох-чотирьох років; для тонкоплівкових технологій та для більш сонячних місцевостей цей показник менший. Гарантований термін служби модуля зазвичай становить ~20 років, але на практиці більшість модулів працюють набагато довше, так що фотоелектричні модулі легко окупаються в енергетичному плані.

На рис. 4.2 – 4.4 зображені графічні залежності, що ілюструють ефективну роботу сонячної фотоелектричної системи, а сама система розроблена правильно і працює в нормальному режимі.

Reference Incident Energy in Collector Plane

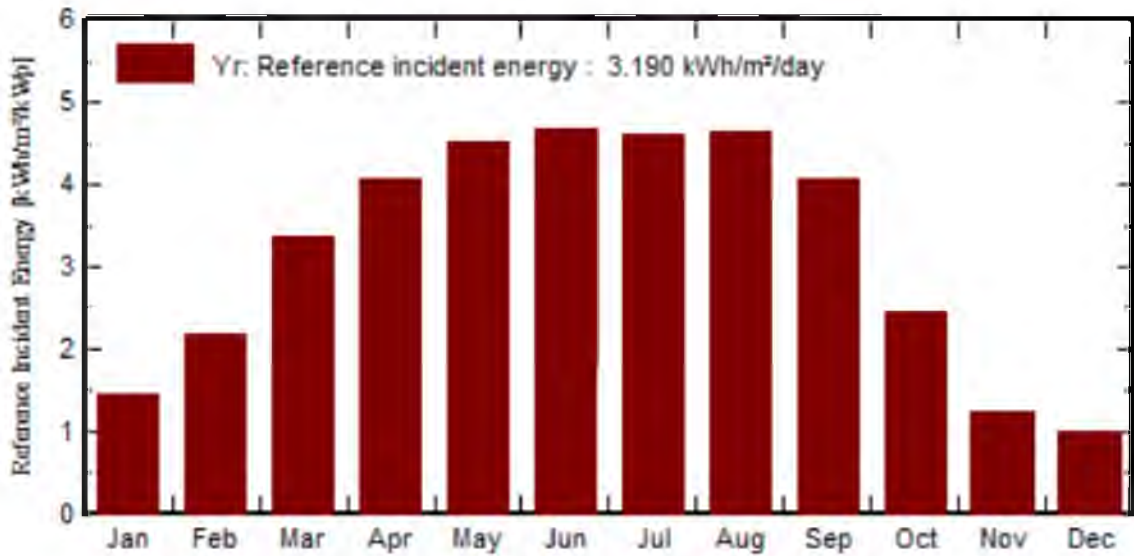


Рис. 4.2. Графік генерування електроенергії автономною системою лабораторного будинку, розрахований в програмі PVSyst

На рис. 4.2 показана графічна залежність виробництва енергії в середньому за місяць. З аналізу якого видно що найбільше енергії генерується у літні місяці.

Array Power Distribution

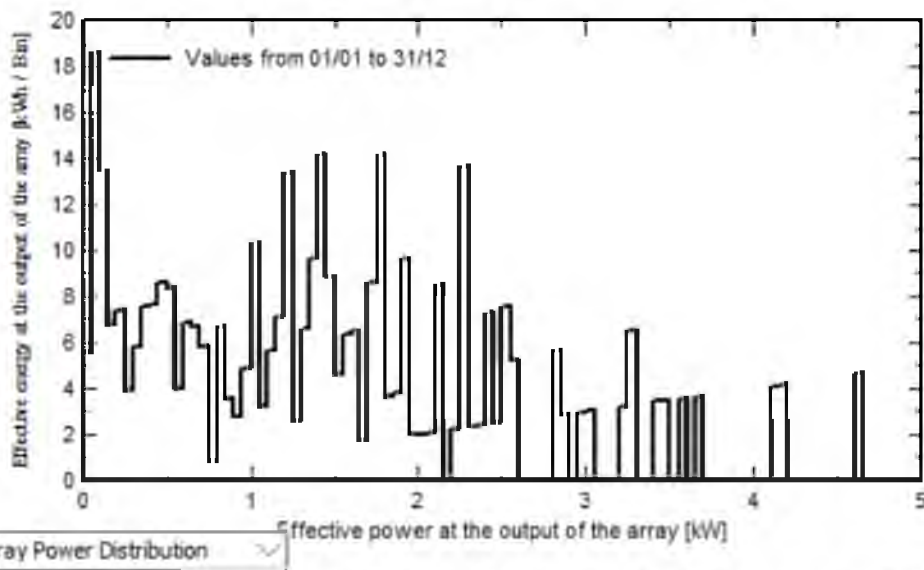


Рис. 4.3. Графік генерування потужності на виході масиву сонячних панелей

### Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 5.50 kWp

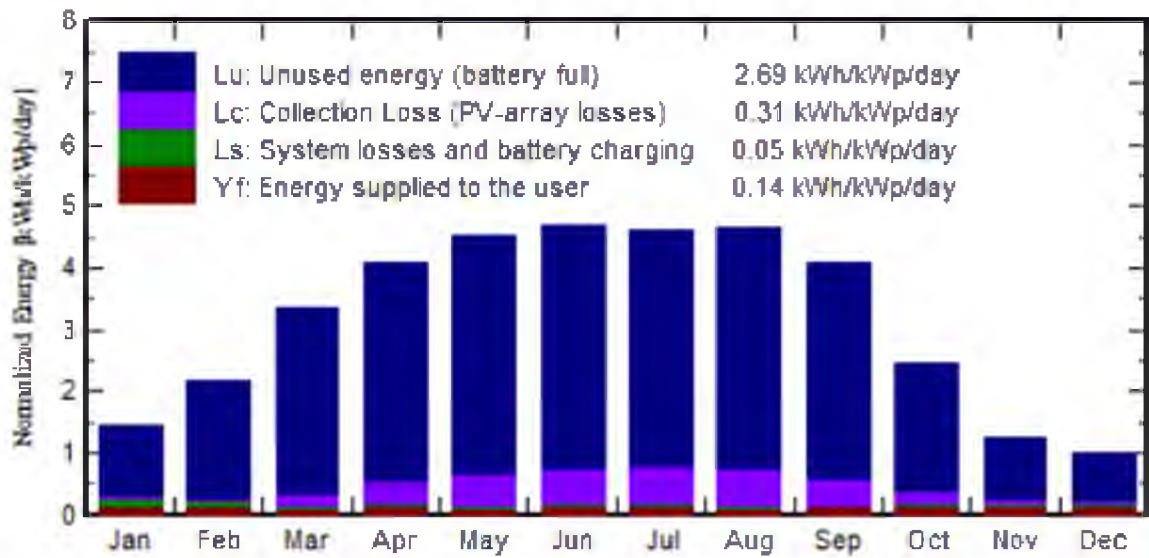


Рис. 4.4. Графік розподілу потужності генерованої автономною системою лабораторного будинку

Зробимо короткий висновок. У роботі розраховано дахову автономну сонячну електростанцію, розташовану в м. Києві потужністю 5,5 кВт на площі 25,83 м<sup>2</sup>. Сонячна електростанція обладнана 10 фотоелектричними модулями, кожен потужністю 550 Вт, розміщеними в 1 ряд, а також інвертором потужністю 5 кВт. Найкраща ефективність роботи сонячної станції згідно графіків спостерігається з квітня по вересень. В середньому генерування електричної енергії складає 3,190 кВт-год/м<sup>2</sup>/день.

## РОЗДІЛ 5

## ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

## НУВБІП України

## 5.1. Загальні правила безпечної експлуатації сонячної електростанції

Експлуатація сонячної електростанції повинна відбуватися з дотриманням високих стандартів безпеки. Нижче подані деякі загальні правила для безпечної експлуатації сонячної станції.

**Технічна компетентність.** Потрібно встановлювати, обслуговувати та ремонтувати сонячні електростанції тільки висококваліфікованими фахівцями.

**Вимкнення перед обслуговуванням.** Перед проведенням будь-яких робіт з обслуговування або ремонту потрібно вимкати електричне живлення сонячної електростанції, щоб уникнути ризику ураження електричним струмом.

**Заземлення.** Всі компоненти сонячної станції, включаючи сонячні панелі, інвертори та акумулятори, повинні бути належно заземлені для зменшення ризику ураження електричним струмом.

**Очищення та обслуговування.** Потрібно регулярно очищати сонячні панелі від бруду та пилу для забезпечення максимальної ефективності.

**Проводити регулярне технічне обслуговування системи та слідкувати за станом акумуляторів.**

**Управління енергією.** Повинні бути встановлені можливість відключення системи та інверторів для безпечних робіт або у випадку екстрених ситуацій.

**Навчання та інструкції.**

Перед виконанням робіт потрібно проводити інструктажі для користувачів та технічного персоналу з питань безпечної експлуатації сонячної електростанції та надавати інструкції щодо дій у випадку аварій.

Контактні роз'єми звичайно захищені від випадкового дотику, але потрібно переконатися або додатково прийняти необхідні заходи безпеки, щоб уникнути загоряння, іскріння і ударів струмом.

НУВБІП України

Не використовувати ніякі електропровідні предмети в роз'ємі, крім роз'ємів стандарту MC4.

Під час монтажу треба знімати всі електропровідні прикраси під час механічної та електричної установки.

Інструменти та робоча зона повинні бути сухими. Не дозволяється проводити монтаж сонячних панелей в дощову погоду. При роботі з проводами завжди треба використовувати інструменти з ізоляцією, а також ізолюючі рукавички.

Не дозволяється розбирати сонячні панелі. Ніколи не видаляйте деталі або етикетки виробника. Використовуйте тільки справні сонячні панелі, якщо є ушкодження або деформація сонячної панелі, не намагайтеся підключати її.

Не дозволяється застосовувати до сонячних панелей гострі предмети, а також не фарбуйте їх і нічого не наклеюйте.

Не дозволяється піддавати сонячні панелі штучно сфокусованому сонячному випромінюванню.

Сонячні панелі, під дією світла, генерують постійний струм. При розриві такого ланцюга, наприклад, при відключенні дрота постійного струму від контролера заряду, може виникнути небезпечна електрична дуга.

Не дозволяється відключати сонячні панелі під навантаженням. Використовуйте тільки справну проводку відповідного перерізу. Не використовуйте проводи з ушкодженнями. Контакти та роз'єми повинні бути чистими і сухими.

Отже, основне правило безпечного використання автономної системи – її періодичне обслуговування. Саме регулярність технічного догляду за сонячними панелями та іншими компонентами загальної системи стане запорукою її довгої та безаварійної роботи. Такі роботи повинні проводитися 1-2 рази на рік (в залежності від умов експлуатації сонячних панелей) і включати: перевірку цілісності панелей і кріпильних елементів; очистку інверторів від пилу, яка може сприяти перегріву пристрою; перевірку заземлення та надійності ізоляції

струмоведучих провідників; тестування електропроводки на предмет витоків енергії.

Планові роботи не обійдуться і без очищення поверхні самих сонячних панелей, адже від чистоти панелей, які беруть на себе промені світла, залежить кількість одержуваної і перетворюваної в електричну сонячної енергії.

Розрахунки показують, що багатомісячний шар пилу здатний довести рівень втрат в генерації струму до 20%.

## 5.2. Захист людей від ураження електричним струмом

Для забезпечення безпеки під час роботи в електроустановках використовуються різноманітні засоби захисту.

Існують засоби, що забезпечують захист персоналу й інших працюючих, що не мають спеціальних знань з електротехніки, але в ході роботи або в побуті стикаються з електроустановками.

До електрозахисних засобів відносяться технічні вироби, що не є конструкційними елементами електроустановок і використовуються у разі виконання робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

Для персоналу, що працює в електроустановках застосовуються такі захисні засоби: ізолюючі штанги, кліщі, діелектричні рукавички і рукавиці, діелектричні боти і калоші, ізолюючі килимки і доріжки, ізолюючі підставки, покажчики напруги, струмовимірвальні кліщі, переносні заземлення, окуляри, монтерський інструмент.

НПА ОП 40.1-1.07-01 “Правила експлуатації електрозахисних засобів” чинний нормативний документ, в якому наведено перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсяги і норми випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад. Засоби захисту, що використовуються в електроустановках, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції тощо.



Електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні (ізолювальні штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички тощо), огорожувальні (огородження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук).

Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові.

Основні ізолювальні електрозахисні засоби розраховані на напругу установки і при дотриманні вимог безпеки щодо користування ними забезпечують захист працівників.

Додаткові електрозахисні засоби навіть при дотриманні функціонального їх призначення не забезпечують надійного захисту працюючих і застосовуються одночасно з основними для підвищення рівня безпеки. У разі застосування основних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб. При захисті працівників від напруги кроку досить використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів.

В електроустановках повинні застосовуватися такі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- захисні каски – для захисту голови;
- захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя;
- пропигазі і респіратори – для захисту органів дихання;
- рукавиці – для захисту рук;
- запобіжні пояси та канати для страхування.

Ізолюючі штанги використовуються в установках високої напруги для вмикання і вимикання роз'єднувачів, що не мають приводи або при виході з ладу для накладення заземлення.

Ізолюючі кліщі застосовують головною чином для захисту під напругою трубчастих запобіжників в електроустановках до 35 кВ включно.

Працювати з кліщами потрібно в діелектричних рукавичках і ботах, стоячи на ізолюючій основі, а також у захисних окулярах.

Переносні показчики напруги використовуються для перевірки наявності напруги. Вони бувають високої і низької напруги. Користуватися показчиками

потрібно в діелектричних рукавичках. На відкритому повітрі ними можна користуватися лише в суху погоду.

Діелектричні рукавички і рукавиці застосовують в електроустановках напругою до 1000 В, є основними захисними засобами.

Діелектричні боти і калоші є додатковими захисними засобами в електроустановках. Боти застосовуються при роботі в електроустановках високої та низької напруги, а калоші – в електроустановках до 1000 В. Діелектричні боти та калоші відрізняються від звичайних тим, що зовнішня поверхня їх не покрита лаком, а внутрішня – вкрита міцною підкладкою із матерії, що захищає їх від ушкодження взуттям. Боти і калоші повинні періодично випробовуватися підвищеною напругою.

Ізолюючі гумові килимки і доріжки служать додатковими захисними засобами при роботі в електроустановках будь-якої напруги. Вони виготовляються з гуми товщиною 5...7 мм із рифленою поверхнею. Розмір ковбика – не менше 75×75 см, ширина доріжки – не менше 75 см.

Ізолюючі підставки є додатковими захисними засобами для електроустановок усіх напруг. Вони виготовляються із сухих дощок на ізолюючих порцелянових ніжках. Розмір підставки – не менше 75×75 см і не більш 150×150 см.

Електрозахисні засоби повинні зберігатися у приміщеннях в спеціально відведених місцях сухими і чистими, в умовах, що виключають можливість їх механічних ушкоджень, шкідливої дії вологи, агресивного середовища, мастила тощо.

У встановлені нормативами терміни електрозахисні засоби повинні оглядатися з перевіркою їх наявності згідно з вимогами до комплектування, очищатися від пилу, забруднень тощо, періодично проходити спеціальні випробування на відповідність їх діелектричних, механічних і т. ін. показників чинним вимогам.

Крім того електрозахисні засоби повинні оглядатися перед кожним їх застосуванням. Під час таких оглядів увага звертається на справність засобів

захисту, відсутність тріщин, подряпин та деформації ізолювальних елементів, терміни чергової перевірки. У разі виявлення перерахованих дефектів чи простроченого терміну чергового випробування, користування електрозахисними засобами забороняється. При оглядах діелектричних рукавичок і діелектричного взуття увагу слід звертати на наявність вологи, забруднень, поривів, інших механічних пошкоджень. Відсутність поривів і проколів рукавичок перевіряється скручуванням їх від нарукавника в бік пальців.

Вимоги до термінів випробування електрозахисних засобів, методики і параметрів цих випробувань регламентуються НПАОП 40.1-1.07-01 залежно від типу електрозахисних засобів.

5.3. Розрахунок та улаштування контуру заземлення сонячної фотоелектростанції у навчально-дослідному розсаднику

Окрім штучних заземлювачів, для заземлення електроустановок можна використовувати природні та штучні заземлювачі.

Заземлювачі - це струмоведучі частини, які, крім прямих функцій, можуть також використовуватися як заземлювач (наприклад, армування фундаментів та інженерних мереж будівель або споруд). У сфері заземлення штучний провідник - це заземлювальний пристрій, спеціально виготовлений для цілей заземлення.

Заземлення не повинно бути єдиним заходом захисту від прямого або непрямого дотику; заземлення найбільш ефективно в поєднанні з іншими заходами захисту, наприклад: автоматичним вимкненням живлення; використанням обладнання класу 2 або обладнання з еквівалентною ізоляцією; захисним електричним розподілом ланцюгів; ізоляцією (непровідних) приміщень, зон, майданчиків.

В якості штучних заземлювачів використовуються наступні пристрої штучного заземлення.

- заземлювачі у вигляді загнблених заземлювачів, смуг або круглої сталі, що укладаються горизонтально в котловані або траншеї у вигляді "втягнутих елементів" на верхній частині плоні.

- вертикальні заземлювачі - для цього використовуються сталеві труби (некондиційні з товщиною стінки не менше 3,5 мм). Обладнання виготовляється з металевих гвинтових або забивних стрижнів діаметром 12...16 мм, кутникової сталі з кутом 4 мм і сталевих труб (некондиційні з товщиною стінки не менше 4 мм). Загалом довжина вкручених електродів становить 3-5 м, а довжина труб, патрубків і стрижнів - 2,5-3 метри. Верхній кінець вертикального електрода повинен знаходитися на відстані 0,5-0,75 м від поверхні землі. Відстань від одного електрода до іншого не повинна бути меншою за його довжину.

- заземлювачами для горизонтального заземлення служать сталеві смуги товщиною не менше 4 мм або сталеві кругляки з площею перерізу не менше 10 мм, а також металеві пруть з великим діаметром не менше 10 мм.

Електронні провідники, електроди та заземлювачі не повинні мати слідів іржі, масла тощо. У місцях зварювання метал захищають від корозії лаком. Для створення загального контуру заземлення металеві частини будівлі повинні бути об'єднані в єдине ціле для створення загального контуру заземлення.

Опір заземлювального пристрою мережі 380/220 В не повинен перевищувати 4 Ом.

Крім захисного заземлення, передбачаємо занулення. Допускається підключення централі до нульового проводу входу від інвертора напруги.

Розрахунок заземлювального пристрою зводиться до визначення кількості вертикальних заземлювачів і довговічності смуги.

На основі результатів геологічних вишукувань, кліматичних умов та існуючих на ринку конструкцій заземлювачів для лабораторного будинку маємо наступні вихідні дані для розрахунку заземлювачів:

- питомий опір верхнього шару ґрунту:  $\rho_1 = 80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

- питомий опір нижнього шару ґрунту:  $\rho_2 = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

- товщина верхнього шару ґрунту:  $H = 0,7 \text{ м}$ ;

- довжина вертикального заземлювача:  $L = 3,0$  м;

- заглиблення вертикального заземлювача:  $t = 0,75$  м;

- сезонний кліматичний коефіцієнт:  $\psi = 1,64$ ;

- зовнішній діаметр вертикального заземлювача:  $d = 20$  мм;

- нормований Правилами улаштування електроустановок опір заземлюючого пристрою розтіканню струму при базовому питомому опорі землі:

$R_{\text{норм}} = 4,00$  Ом;

- заглиблення з'єднувальної полоси:  $t_{\text{полоси}} = 0,70$  м;

- ширина з'єднувальної полоси:  $b = 30,0$  мм;

- відстань між електродами:  $P = 1,5$  м;

- коефіцієнт використання електрода:  $\eta = 0,68$ .

Знаходимо питомий еквівалентний опір ґрунту з урахуванням сезонності за формулою:

$$\rho_{\text{екв}} = (\rho_1 \cdot \psi \cdot \rho_2 \cdot L) / (\rho_1 \cdot \psi \cdot (L - H + t_{\text{полоси}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полоси}})) \quad (5.1)$$

$$\rho_{\text{екв}} = (80 \cdot 1,64 \cdot 60 \cdot 3,0) / (80 \cdot 1,64 \cdot (3,0 - 0,7 + 0,7) + 60 \cdot (0,7 - 0,7)) = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Опір одного вертикального заземлювача визначається за формулою [24]:

$$R_{\text{ос}} = \rho_{\text{екв}} / (2 \cdot \pi \cdot L) \cdot (\ln(2 \cdot L / d) + 1/2 \cdot \ln((4 \cdot t + L) / (5 \cdot t - L))) \quad (5.2)$$

$$R_{\text{ос}} = 60 / (2 \cdot 3,14 \cdot 3,0) \cdot (\ln(2 \cdot 3,0 / 0,02) + 1/2 \cdot \ln((4 \cdot 2,2 + 3,0) / (5 \cdot 2,2 - 3,0))) = 18,78$$

Ом.

Визначення орієнтовного числа стержнів знаходиться шляхом ділення опору одного вертикального опору заземлювача на опір контуру. Опір контуру розраховуємо за алгоритмом:

$$R_{\text{н}} = R_{\text{норм}} \cdot (\rho_{\text{екв}} / \rho_{\text{баз}}), \quad (5.3)$$

де  $\rho_{\text{баз}}$  – базовий питомий опір ґрунту (для нашої місцевості  $\rho_{\text{баз}} = 60$  Ом $\cdot$ м). Тоді,  $R_{\text{н}} = 4,0 \cdot (60 / 60) = 4,0$  Ом. Орієнтовне попереднє число стержнів дорівнює:  $n_{\text{попер}} = R_{\text{ос}} / R_{\text{н}} = 18,78 / 4,0 = 4,7$ . Розрахована приблизна кількість стержнів округлюється до найближчого цілого числа. Таким чином, попередня кількість стержнів дорівнює 5.

Знаходимо довжину з'єднувальної полоси при розташуванні заземлювачів в ряд будівлі:  $L_{\text{п}} = L / 2 \cdot n_{\text{попер}} = 3/2 \cdot (5 - 1) = 6$  м.

Опір з'єднувальної полоси знаходимо за формулою [24]:

$$R_{\text{полоси}} = (\rho_1 \cdot \psi) / (2 \cdot \pi \cdot L \cdot b) \cdot \ln((2/L) / (b \cdot \pi \cdot \rho_{\text{осн}})) \quad (5.4)$$

$$R_{\text{полоси}} = (80 \cdot 1,64) / (2 \cdot 3,14 \cdot 6) \cdot \ln((2 \cdot 6 \cdot 6) / (0,03 \cdot 0,7)) = 28,34 \text{ Ом.}$$

Сумарний опір вертикальних заземлювачів разом зі з'єднувальною полоскою становить:

$$R_{\text{верт}} = (R_{\text{полоси}} \cdot R_n) / (R_{\text{полоси}} + R_n) \quad (5.5)$$

$$R_{\text{верт}} = (28,34 \cdot 4,0) / (28,34 + 4,0) = 4,66 \text{ Ом.}$$

Уточнюємо кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням з'єднувальної полоси:

$$n = R_{\text{ос}} / (R_{\text{верт}} \cdot \eta_c) \quad (5.6)$$

$$n = 18,78 / (4,66 \cdot 0,68) = 5,04.$$

У цьому випадку ми можемо остаточно прийняти загальну кількість вертикальних заземлювачів - 6. Правила улаштування електроустановок вимагають, щоб заземлювальні пристрої відповідали вимогам електроустановок.

Якщо він не нормований, то фактичний опір заземлювального пристрою не відповідає нормованому (4 Ом), його доводять до нормованого значення прокладанням додаткових смуг або вбиванням електродів. На рис. 5.1 показано, як працює встановлюється заземлюючий пристрій.

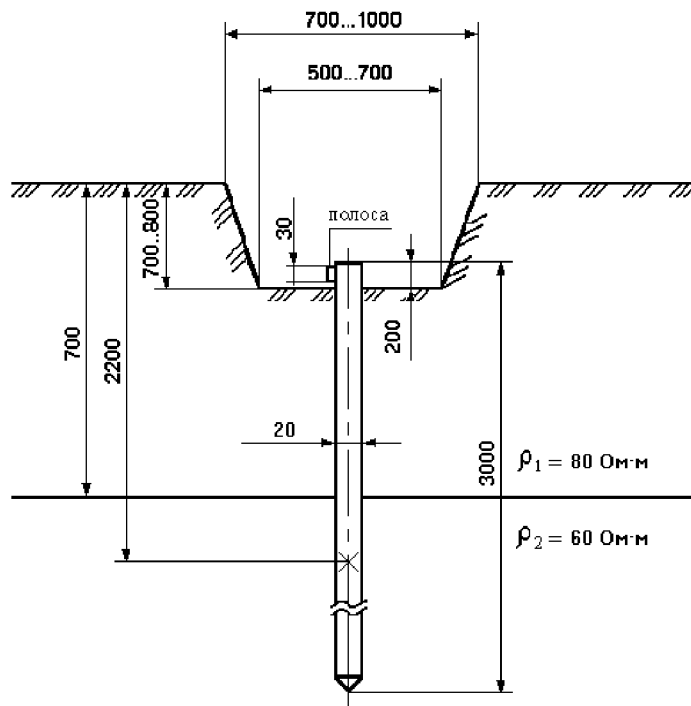


Рис. 5.1. Схема розташування заземлюючого пристрою.

Опишемо основні заходи по зрівнюванню потенціалів.

Головна система зрівнювання потенціалів об'єднує захисні провідники (РЕ-провідники мереж живлення, металеві труби і комунікації, які входять в приміщення (труби холодного водопостачання та ГВП); металеві частини систем вентиляції (повітропроводи, підвісні стелі).

Головна заземлююча шина встановлена в існуючому звідно-розподільному пристрої (ЕРП) вбудованих приміщень, на якому з обох кінців наносяться поперечні смуги жовто-зеленого кольору однакової ширини.

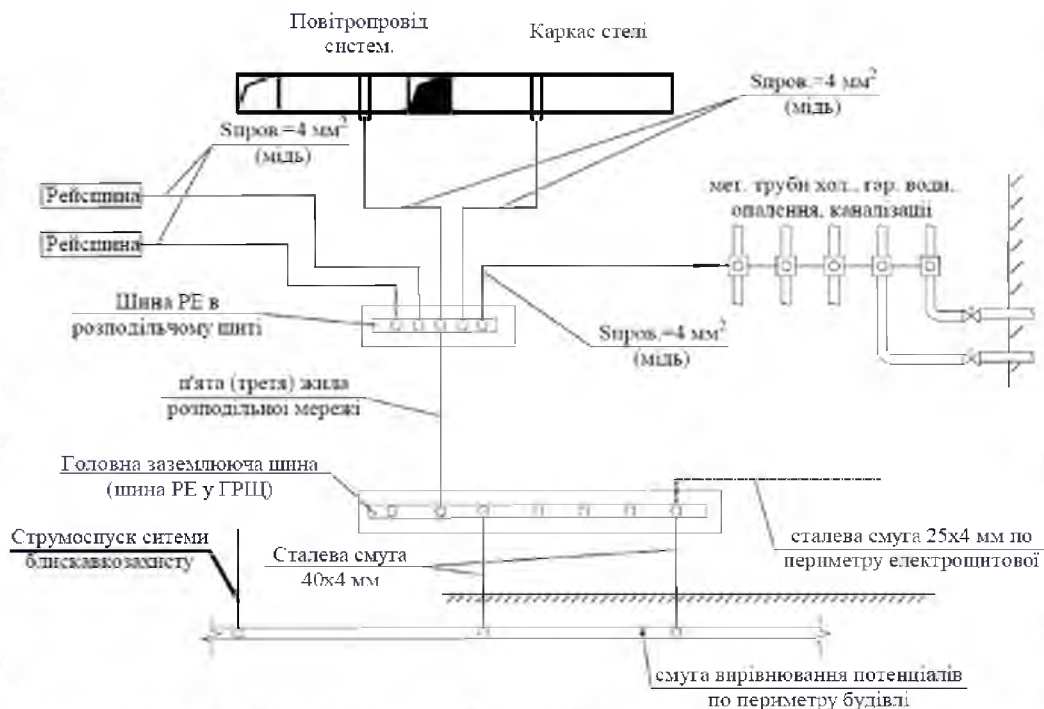


Рис. 5.2. Принципова схема зрівнювання потенціалів.

Захисні провідники головної системи зрівнювання потенціалів виконуються провідом ВВГнг-LS 1x4 з мідною жилкою, приховано за перегородками та підвісною стелею. Усі захисні провідники головної системи зрівнювання потенціалів повинні мати ізоляцію жовто-зеленого кольору.

В місцях установки засувів болтових фланцевих з'єднань необхідно обладнати перемичками з смужкової сталі перерізом 4x25мм. Прокладка усіх захисних провідників та їх підключення повинна виконуватися електромонтажною організацією, а місця для їх підключення до сторонніх

провідних частин готуються організаціями, що виконують інші спеціальні роботи.

Монтаж електротехнічного обладнання потрібно виконувати в ув'язці з монтажем інженерного обладнання. Монтаж електротехнічного обладнання потрібно виконувати згідно ПБЕЕ.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконана розробка автономної фотоелектричної станції для системи електроживлення лабораторного будинку навчально-дослідного розсадника НУБіП України.

Лабораторний будинок Національного університету біоресурсів і природокористування України розташований за адресою вул. Полковника Загєвахіна, 4 в м. Києві.

Основні технічні показники: напруга мережі -0,38/0,22 кВ; категорія надійності електропостачання – III; тип системи заземлення - TN-S; розрахункова потужність - 8,5 кВт; потужність критичних споживачів – 2,41 кВт.

Для розподілу електричної енергії і технічного обліку передбачається встановлення розподільних щитів ЩО-1 і ЩО-2, в приміщенні на першому поверсі будівлі.

Згідно проведених розрахунків на території встановлення сонячної електростанції досяжна загальна сонячна радіація у рік складає 1094,5 кВт/м<sup>2</sup>.

У роботі розраховано і запропоновано для будівництва дахову автономну сонячну електростанцію потужністю 5,5 кВт на площі 25,83 м<sup>2</sup>. Сонячна електростанція обладнана 10 фотоелектричними модулями, кожен потужністю 550 Вт, розміщеними в 1 ряд, а також інвертором потужністю 5 кВт. Найкраща ефективність роботи сонячної станції згідно графіків спостерігається з квітня по



вересень. В середньому генерування електроенергії складе 3,190 кВт-год/м<sup>2</sup>/день.

Для забезпечення автономної роботи вибрано акумуляторні батареї марки Pylontech (5 кВт-год, 48 В) US5000 Номінальна напруга = 48В, ємність = 100 Агод кількістю 14 шт, загальна ємність яких становитиме 1400 Агод і повинна забезпечити навантаження електроенергією до 25 год.

У роботі детально описані загальні правила безпечної експлуатації сонячної електростанції, захист людей від ураження електричним струмом. Виконано розрахунок та улаштування контуру заземлення сонячної фотоелектростанції.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. ДБН В.2.5-23:2010 – К.: Мінрегіонбуд України. 2010. – 167 с.
2. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. ДСТУ 13109-97. – [Чинний від 18.07.1999 № 354] – К.: Держспоживстандарт України.
3. ДСТУ ІЕС TS 62257-7-1:2019 (ІЕС TS 62257-7-1:2010, ІДТ) Рекомендації щодо малих відновлювальних джерел енергії та гібридних систем електрифікації сільських районів. Частина 7-1. Генератори. Фотоелектричні генератори.
4. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт» 2017. – 760 с.
5. Жарков В.Я. Економія електроенергії в побуті. – Мелітополь: ТДАТУ, 2004. – 63 с.
6. ДСТУ 4280:2004 Енергоощадність. Модулі сонячні фотоелектричні. Класифікація та основні параметри.
7. ДСТУ ІЕС 60364-7-712:2019 (ІЕС 60364-7-712:2017, ІДТ) Електроустановки низьковольтні. Частина 7-712. Вимоги до спеціальних електроустановок або

місць їх розташування. Системи живлення з використанням фотоелектричних батарей.

8. ДСТУ ІЕС 61727:2019 (IEC 61727:2004, IDT) Системи фотоелектричні. Характеристики точок підключення до інженерних мереж.

9. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

ДБН/В.2.5-28:2006 – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 75 с.

10. Сонячна радіація. Екологічний атлас Києва [електронний ресурс]. – Режим доступу:

[http://mail.menr.gov.ua/publ/kyev2003/atlas03\\_u/1\\_klim/1du\\_sonra.htm](http://mail.menr.gov.ua/publ/kyev2003/atlas03_u/1_klim/1du_sonra.htm)

11. Стимулювання відновлюваної енергетики в Україні за допомогою "зеленого" тарифу. Консультативна програма ІЕС в Європі та Центральній Азії / Посібник для інвесторів. – К., 2012. – 80 с. [електронний ресурс]. –

Режим доступу: [http://agroconf.org/sites/default/files/vak\\_otrimati\\_zeleniy\\_tarif\\_pos\\_bnik\\_2013.pdf](http://agroconf.org/sites/default/files/vak_otrimati_zeleniy_tarif_pos_bnik_2013.pdf)

12. Сонячні батареї, принцип роботи та типи сонячних панелей. Ecosvit [електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ecosvit.net/index.php?action=page&page\\_id=190](http://www.ecosvit.net/index.php?action=page&page_id=190)

13. Іноземцев Г. Б. Методичні вказівки щодо виконання випускної бакалаврської роботи для студентів стаціонарної і заочної форми навчання за програмою підготовки фахівців ОКР «Бакалавр» факультету енергетики та автоматики / Іноземцев Г. Б., Олійник М. В., Козирський В. В., Луц М. Т. – Київ: Видавничий центр НУБІП, 2010 – 156 с.

14. Сафонова В. В. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: навчальний посібник / Сафонова В. В. – Київ, Основа, 2000 – 336 с.

15. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00- 1.21-98: Затв. 09.01.98 №4 / Державний комітет України по нагляду за охороною праці / І.Д. Сорокін (ред.), В.М. Ясинський (відп.викон.). – К., 2004. – 381с

16. ДСТУ EN 61730-1:2017 (EN 61730-1:2007; A1:2012; A2:2013; A11:2014, IDT; IEC 61730-1:2004, MOD; A1:2011; A2:2013, IDT) Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 1. Вимоги до конструкції.

17. ДСТУ EN 62109-1:2014 Безпечність силових перетворювачів, застосовуваних в фотоелектричних системах. Частина 1. Загальні вимоги (EN 62109-1:2010, IDT).

18. ДСТУ EN 62109-2:2014 Безпечність силових перетворювачів, застосовуваних в фотоелектричних системах. Частина 2. Спеціальні вимоги до інверторів (EN 62109-2:2011, IDT).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України