

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
(повна назва кафедри)

УДК 681.515

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою – Інжиніринг автоматизованих
електротехнічних та мехатронних комплексів комплексів

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація управління положенням
сонячних панелей»

Виконав:

Студент 4 курсу, групи ОА-11 Бернацький В.В.
(шифр групи) (прізвище та ініціали) _____
(підпис)

Керівник _____ асистент Хотян А.А.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Консультант з електропостачання к. т. н., доцент Мейта О.В.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Консультант з охорони праці к. т. н., доцент Мітюк Л.О.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Нормоконтролер к. т. н., доцент Кулаковський Л.Я.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Рецензент _____
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»
Спеціальність (спеціалізація) – 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Сергій БОЙЧЕНКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

студенту Бернацькому Володимирі Васильовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту Електромеханічне обладнання та автоматизація управління
положенням сонячних панелей», керівник проекту Хотян Артем, асистент.
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с

2. Дата подання студентом дипломного проекту «12» червня 2025 р.

3. Вихідні данні до проекту: схема виробничого цеху, геометричні дані виробничого цеху.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Загально-технічна частина.

2. Електропостачання.

3. Спеціальна частина.

4. Автоматизація.

5. Охорона праці.

5. Орієнтовний перелік графічного матеріалу:

1 аркуш - Схема електропостачання;

2 аркуш - Автоматизація.

3 аркуш – Технологічна частина

4 аркуш – Спеціальна частина

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
2. Електропостачання	к.т.н., доцент, Мейта О.В.		
5. Охорона праці	к.т.н., доцент, Мітюк Л.О.		

7. Дата видачі завдання: «15» квітня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів дипломного проекту	Примітка
1.	Загально-технічна частина	15.04-20.04	виконано
2.	Електропостачання	21.04-01.05	виконано
3.	Спеціальна частина	02.05-10.05	виконано
4.	Автоматизація	11.05-29.05	виконано
5.	Охорона праці	29.05- 01.06	виконано
6.	Підготовка графічного матеріалу	02.06- 06.06	виконано

Студент

(підпис)

Володимир БЕРНАЦЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

Науковий керівник

(підпис)

Артем ХОТЯН

(ім'я, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

					ДП ОА11.03.000 ПЗ						
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість дипломного проекту			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Бернацький В.В.									4	СУМА ст.
Перевір.	Хотян А.А.							КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-11			
Реценз.											
Н. Контр.	Кулаковський										
Затверд.											

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Електромеханічне обладнання та
автоматизація управління положенням сонячних
панелей»

Київ – 2025 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на тему «Електромеханічне обладнання та автоматизація управління положенням сонячних панелей»: 89 с., 5 розділів, 42 рис., 12 табл., 23 джерел.

Автоматизація, трекер, сонячні панелі

Об'єкт дослідження – енергоефективність сонячних установок

Мета роботи – автоматизація положення сонячних панелей.

Методи дослідження – аналіз та синтез, методи класифікації, порівняння; комп'ютерне моделювання; теорія автоматичного керування.

У дипломному проєкті розроблено систему автоматизації для керування положенням сонячних панелей, які забезпечують живлення лікарняного комплексу. Проведено розрахунки електричних навантажень, підібрано обладнання для автоматичного повороту панелей за Сонцем.

У проєкті створено схему автоматизації, обрано програмований логічний контролер, сенсори та виконавчі пристрої. Система дозволяє автоматично змінювати положення панелей залежно від положення Сонця, що підвищує ефективність вироблення електроенергії.

Автоматизація дає змогу зменшити втрати енергії, зробити роботу панелей більш ефективною та стабільною. Розроблене рішення можна адаптувати й для інших об'єктів.

ABSTRACT

The diploma project titled “Electromechanical Equipment and Automation of Solar Panel Position Control”: 89 pages, 5 chapters, 42 figures, 12 tables, 23 sources.

Keywords: automation, tracker, solar panels

Object of study: energy efficiency of solar installations

Objective: automation of solar panel positioning

Research methods: analysis and synthesis, classification and comparison methods, computer modeling, and automatic control theory.

This diploma project presents the development of an automation system for controlling the position of solar panels that supply power to a hospital complex. The project includes calculations of electrical loads and the selection of equipment for automatic solar tracking.

An automation scheme has been designed, and appropriate programmable logic controllers, sensors, and actuators have been selected. The system enables automatic adjustment of the panels' position according to the sun's movement, thereby increasing the efficiency of energy generation.

The automation system reduces energy losses, enhances the effectiveness and stability of solar panel operation, and can be adapted for use in other facilities.

Зміст

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	3
1.1 Загальні відомості про сонячну енергію.....	3
1.2 Принцип роботи сонячних панелей	4
1.3 Опис лікарняного комплексу	6
1.4 Доцільність встановлення сонячних панелей у лікарні	9
1.5 Структура функціонування лікарняного комплексу	9
1.6 Опис електроприймачів лікарні	12
1.7 Розрахунок сонячних панелей	22
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	25
2.1 Розрахунок освітлення	26
2.1.1 Розрахунок освітлення методом використання коефіцієнта світлового потоку	26
2.2 Розрахунок електричних навантажень	28
2.3 Розрахунок електричних мереж.....	31
2.3.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів	31
2.3.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом	32
2.3.3 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності	33
2.3.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги.....	34
2.3.5 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів	36
2.4 Розрахунок струмів короткого замикання	37
2.4.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В.....	38
2.5 Вибір електричних апаратів	45
2.5.1 Вибір автоматичних вимикачів	45
Висновки до розділу 2	48
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	49
3.1 Побудова еквівалентної схеми сонячного елемента та її математичне обґрунтування.....	49
3.2 Моделювання в середовищі Simulink	52
РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ	60
4.1 Конструкція одновісного сонячного трекера на основі мікроконтролера	62
4.2 Опис логіки керування сонячним трекером	69
4.3 Схема автоматизованої системи керування сонячною панеллю	71
4.4 Програмна реалізація алгоритму керування	72
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	74
5.1 Загальна характеристика об'єкта та мета розділу.....	74
5.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	75
5.3 Комплекс заходів захисту працівників.....	76
5.4 Умови праці	77
5.5 Система управління охороною праці (СУОП), навчання, медогляди	78

5.6 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).....	80
5.7 Охорона праці жінок, осіб з інвалідністю та неповнолітніх	81
5.8 Електробезпека.....	82
5.9 Пожежна безпека.....	83
5.10 Роботи з підвищеною небезпекою (на висоті).....	84
5.11 Розслідування нещасних випадків	85
5.12 Висновки до розділу 5	85
ВИСНОВКИ	87
Література	88

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про сонячну енергію

Сонячна енергія є одним із найперспективніших джерел відновлюваної енергії. Вона екологічно чиста, доступна в більшості регіонів світу та дозволяє зменшити залежність від централізованого електропостачання. Фотоелектричне (PV) перетворення сонячної енергії здійснюється за допомогою сонячних панелей, які складаються з фотоелементів, найчастіше - кремнієвих.

Принцип роботи фотомодуля полягає в перетворенні енергії фотонів сонячного світла на електричну енергію за рахунок фотоелектричного ефекту. Основним параметром сонячної панелі є її номінальна потужність (Вт), яка вказує, скільки енергії вона може виробити при стандартних умовах.

Переваги використання сонячних панелей:

- 1) Автономність - система працює незалежно від електромережі.
- 2) Економія коштів - зниження витрат на електроенергію в довгостроковій перспективі.
- 3) Надійність у надзвичайних ситуаціях - забезпечує безперебійне живлення критичних зон.
- 4) Екологічність - зниження викидів CO₂.
- 5) Можливість масштабування - систему легко адаптувати під більші потреби.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ					
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Бернацький В			Загально-технічна частина			Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Хотян А.А.								
Реценз.										
Н. Контр.		Кулаковський						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		
Затверд.		Бойченко								

1.2 Принцип роботи сонячних панелей

Конструкція фотоелектричного модуля є технологічно простою та продуманою. Його основою служать кремнієві фотоелементи - напівпровідникові структури (Рис.1.2), які виконують роль мікрогенераторів постійного струму. Усі елементи надійно з'єднані між собою та закріплені в герметичному корпусі, що складається з алюмінієвої рами. Зовнішній шар модуля формується із захисної полімерної плівки та загартованого скла, яке забезпечує механічну міцність і захист від зовнішніх впливів.



Рисунок 1.1 - Сонячні панелі на скатному даху.

На зворотній стороні панелі розміщується герметизована розподільна коробка, в якій здійснюється електричне з'єднання виходів фотоелементів із зовнішньою електропроводкою, що підводиться до контролера зарядки або інвертора.

Кремнієві елементи мають властивість відбивати частину сонячного випромінювання, що призводить до втрат корисної енергії. Для зниження цих втрат поверхню фотоелементів покривають спеціальним антибліковим шаром, який зменшує відбивання світла та підвищує ефективність поглинання фотонів.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

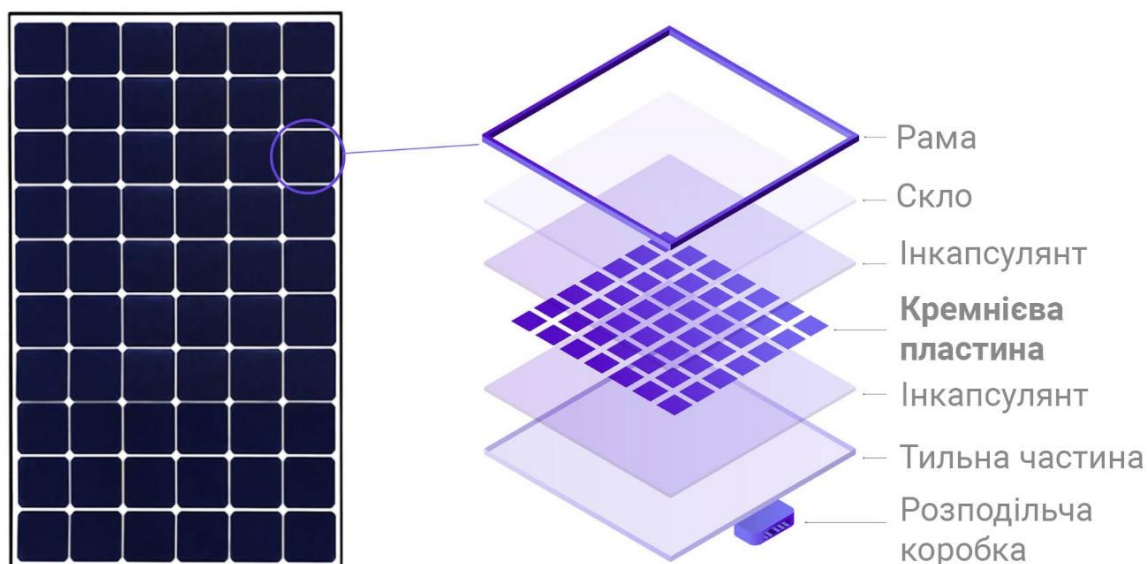


Рисунок 1.2 - Будова фотомодулю сонячної панелі

Коли сонячне випромінювання потрапляє на поверхню фотоелемента, відбувається часткове поглинання енергії світла напівпровідниковим матеріалом. Внаслідок цього матеріал не лише нагрівається, але й отримує додаткову енергію, достатню для вивільнення електронів із ковалентних зв'язків у структурі напівпровідника. Під дією внутрішнього електричного поля, яке існує в зоні р-п переходу, ці вільні електрони починають рух у певному напрямку, створюючи електричний струм постійної напруги.

Для отримання відчутної кількості електроенергії необхідно застосовувати велику кількість фотоелементів. Саме тому сонячні панелі мають значну площу - зазвичай кілька квадратних метрів - що дозволяє забезпечити живлення побутових приладів або цілого об'єкта.

Структура напівпровідника та фотоелектричний ефект:

Хоча фотоелементи часто називають кремнієвими, насправді вони не виготовляються з чистого кремнію. У своєму чистому вигляді кремній має надто міцні міжатомні зв'язки, які утруднюють вивільнення електронів навіть під впливом інтенсивного світла. Щоб підвищити електричну активність матеріалу, його легують: додають домішки, які змінюють електронні властивості. Наприклад, додавання фосфору до кремнію створює n-шар, насичений вільними електронами. У той же час, додавання елементів з

меншою кількістю валентних електронів (наприклад, бору) формує р-шар, який має "дірки" - області з дефіцитом електронів.

На межі між цими шарами виникає електричне поле, яке запобігає прямому руху електронів від n-шару до р-шару. Коли фотон сонячного світла поглинається матеріалом, він генерує пару «електрон-дірка». Електрон під дією поля спрямовується до зовнішнього кола, тоді як дірка рухається в протилежному напрямку - в р-шар. Так формується електричний струм.

Подальше використання енергії:

Згенерований постійний струм подається до контролера заряду, який стабілізує параметри струму та регулює його подальший розподіл. Далі енергія прямує до інвертора, де відбувається перетворення постійного струму у змінний (АС), який є необхідним для роботи побутових електроприладів.

У залежності від конфігурації фотоелектричної системи, електроенергія може направлятися безпосередньо в локальну електромережу (у мережевих системах), або накопичуватися в акумуляторних батареях (в автономних або гібридних системах).

1.3 Опис лікарняного комплексу

Об'єктом проектування є система електропостачання лікарні з частковим резервуванням за допомогою відновлюваних джерел енергії, зокрема - сонячних панелей. У рамках проекту розглядається розміщення та підключення сонячних модулів, організація їх автоматизованого керування, а також забезпечення енергетичної незалежності критично важливих медичних систем у разі відключення основного живлення.

Лікарня, для якої розробляється дана система, складається з двох основних функціональних зон:

- Основне приміщення розмірами $4,5 \times 8$ м (36 м^2), де можуть розміщуватись апарати моніторингу, базове освітлення, медичні прилади або системи обліку;

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

- Додаткове приміщення розмірами 26 × 18 м (468 м²) — основний корпус лікарні, дах якого розглядається як майданчик для встановлення сонячних панелей.

Основне призначення системи — забезпечення резервного живлення:

- систем внутрішнього та аварійного освітлення;
- холодильного обладнання (зберігання медикаментів і вакцин);
- пристроїв життєзабезпечення (монітори, інфузійні насоси);
- вентиляційної або насосної техніки;
- систем відеонагляду та ІТ-інфраструктури.

У сучасних умовах автономні джерела живлення в лікарнях мають вирішальне значення, особливо у віддалених регіонах або в умовах надзвичайних ситуацій, коли можливе тривале відключення електроенергії. Сонячні панелі, в поєднанні з контролерами заряду, інверторами та акумуляторними батареями, здатні частково або повністю покривати навантаження лікарні на обмежений період часу.

Лікарняний комплекс — це сукупність функціональних та допоміжних будівель і споруд, призначених для надання медичної допомоги населенню, діагностики, лікування, хірургічного втручання, реабілітації та забезпечення життєдіяльності пацієнтів. Основне завдання лікарні — забезпечити своєчасну, якісну та безперебійну медичну допомогу, включаючи екстрену та планову.

Комплекс лікарні складається з кількох функціонально зв'язаних блоків, кожен з яких виконує специфічні завдання. До основних складових лікарні входять:

1. Лікувально-діагностичний корпус

Основна будівля, де розміщуються палати для стаціонарного лікування, кабінети лікарів, перев'язочні, маніпуляційні та допоміжні приміщення. Тут пацієнти отримують терапевтичну, хірургічну та спеціалізовану медичну допомогу.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Поліклінічне відділення

Призначене для амбулаторного прийому пацієнтів. У ньому проводяться консультації, профілактичні огляди, базова діагностика, вакцинації та неускладнене лікування без потреби госпіталізації.

3. Лабораторно-аналітичні приміщення

Забезпечують проведення медичних аналізів та досліджень (біохімічних, гематологічних, імунологічних тощо). Обладнані сучасною аналітичною технікою, що дозволяє швидко отримувати точні результати для діагностики.

4. Операційно-реанімаційний блок

Високотехнологічна зона з операційними залами, палатами інтенсивної терапії, стерилізаційними установками та підтримкою життєво важливих функцій пацієнтів у критичних станах. Вимагає особливої надійності в електропостачанні.

5. Господарський корпус

Містить складські приміщення, пральню, харчоблок, електромайстерні та інші допоміжні служби, необхідні для безперебійного функціонування лікарні.

6. Котельне та насосне приміщення

Забезпечує подачу тепла, гарячої води та циркуляцію водопостачання по всьому комплексу. Обладнане електроприводними насосами, автоматикою та системами контролю.

7. Автономні джерела живлення

Включають дизельні електростанції та сонячні панелі, що використовуються як резервне або альтернативне джерело електроенергії у випадку аварійного відключення основного живлення.

8. Зовнішня трансформаторна підстанція

Основне джерело електропостачання лікарні, забезпечує перетворення електричної енергії з мережі в напругу, придатну для споживачів, і живить всі силові щити та підрозділи закладу.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Доцільність встановлення сонячних панелей у лікарні

Лікарня є закладом із підвищеними вимогами до енергетичної надійності. У випадку аварійного відключення електроенергії навіть на кілька хвилин можуть бути поставлені під загрозу життя пацієнтів. Саме тому резервне живлення - життєво необхідна система.

Сонячні панелі як джерело резервного живлення мають низку ключових переваг у медичних установах:

- Незалежність від нестабільної електромережі, особливо в сільських або прифронтових регіонах.
- Забезпечення безперервного функціонування життєво важливих систем: моніторів, кисневих концентраторів, холодильників для вакцин тощо.
- Можливість поєднання з акумуляторами та інверторами для накопичення енергії та її використання в нічний час або за несприятливих погодних умов.
- Низькі експлуатаційні витрати — після встановлення система практично не потребує обслуговування.
- Швидке повернення інвестицій у вигляді зменшення споживання електроенергії з мережі.

У реаліях воєнного стану або надзвичайних ситуацій, коли дизельні генератори не завжди мають стабільне паливне забезпечення, а перебої зі світлом можуть тривати годинами чи навіть днями — сонячна енергетика стає ключовим фактором безпеки й стабільності медичної інфраструктури.

1.5 Структура функціонування лікарняного комплексу

У процесі лікування пацієнта в лікарняному комплексі задіяно декілька структурних ланок, що логічно взаємопов'язані між собою. Комплексна система побудована таким чином, щоб забезпечити ефективний рух пацієнта — від первинного звернення до завершення лікування або подальшого амбулаторного спостереження.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Початок лікувального процесу відбувається у приймальному відділенні, де здійснюється попередня реєстрація, тріаж та направлення хворих у відповідні блоки.

2. Надалі пацієнт потрапляє до поліклінічного відділення, де проводяться первинні огляди, консультації, збір анамнезу та оцінка загального стану.

3. У разі потреби проводяться інструментальні та лабораторні обстеження у діагностичних кабінетах (флюороустановка, рентген, лабораторії, аналізатори тощо).

4. Якщо діагностика виявляє необхідність госпіталізації, пацієнт скеровується до лікувального корпусу (стаціонарні палати), де проходить терапію, спостереження та супровід.

5. У складніших випадках хворий направляється до операційно-реанімаційного блоку, де забезпечується проведення хірургічних втручань, стерилізація, інтенсивна терапія та контроль за станом пацієнта з використанням кардіографів, автоклавів, стерилізаторів, УЗД-апаратів тощо.

6. Після стабілізації стану пацієнта проводиться переведення до палати або — у випадку завершення лікування — виписка з подальшим амбулаторним спостереженням у поліклініці.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Схема логіки функціонування лікарні

1.6 Опис електроприймачів лікарні

1. Рентгенодіагностичний комплекс - Calypso F, номінальна потужність 50 кВт



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд Рентгенодіагностичного комплексу - Calypso F

Призначення:

Рентгенодіагностичний комплекс Calypso F призначений для проведення рентгенографічних досліджень пацієнтів з метою виявлення патологій, травм, а також контролю стану внутрішніх органів. Обладнання використовується в приймальних, діагностичних, хірургічних та реанімаційних відділеннях лікарні.

Основні завдання цього рентгенодіагностичного комплексу включають:

Здійснення візуалізації кісткової системи при підозрі на переломи або патології, діагностика захворювань легенів (пневмонія, туберкульоз, новоутворення), контроль післяопераційного стану, проведення рутинних обстежень при госпіталізації, а також оцінка стану органів грудної клітки та черевної порожнини.

2. Бескабінний флюорограф POLISTAT M32 з фіксованим плоскопанельним детектором GMM, номінальна потужність 32 кВт

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд флюороустановки : POLISTAT M32

Призначення:

Флюорограф POLISTAT M32 призначений для масового рентгенологічного обстеження органів грудної клітки з метою раннього виявлення патологій дихальної системи. Використовується у флюорокабінетах лікарень, поліклінік, діагностичних центрів та в рамках профілактичних програм.

Основні завдання:

Здійснення цифрового флюорографічного обстеження легенів і плеври, виявлення ознак туберкульозу, пневмонії, пухлин та інших патологічних змін, проведення скринінгових досліджень серед населення, швидке документування результатів з мінімальним опроміненням пацієнта.

3. Автоклав Midmark B23, В - клас, паровий стерилізатор, камера 23 л, номінальна потужність 2.4 кВт.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд Автоклава - Midmark B23

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначення:

Автоклав Midmark B23 призначений для стерилізації медичних інструментів, текстильних виробів, хірургічного інвентарю, лабораторного та стоматологічного обладнання шляхом насиченої пари під тиском. Використовується у стерилізаційних кімнатах хірургічних, стоматологічних, лабораторних та процедурних відділень.

Основні завдання:

Забезпечення надійної стерилізації виробів багаторазового використання, знищення всіх видів мікроорганізмів включно з бактеріальними спорами, підготовка стерильного інструменту для операцій та медичних процедур, підтримка санітарно-епідеміологічної безпеки у лікувальному закладі.

4. Аквадистилятор електричний ДЕ-10М, номінальна потужність 7,5 кВт



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд аквадистилятора : ДЕ-10М

Призначення:

Аквадистилятор електричний ДЕ-10М призначений для отримання очищеної води методом дистиляції, яка використовується у медичних, лабораторних та фармацевтичних цілях. Він забезпечує постійну подачу дистильованої води високої якості, необхідної для підготовки розчинів, миття інструментів та автоклавної стерилізації.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні завдання:

Виробництво дистильованої води для стерилізаційного обладнання, лабораторних досліджень та технічних потреб, забезпечення безперервної роботи автоклавів, аналізаторів і хімічних реактивів, зниження рівня мінералізації води до нормативних показників.

5. Електрокардіограф 12-канальний ECG-1112M, номінальна потужність 20 кВт



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд електрокардіографа - Butfering ECG-1112M

Призначення:

Електрокардіограф ECG-1112M призначений для багатоканального вимірювання, реєстрації та аналізу електричної активності серця пацієнтів. Пристрій використовується для скринінгових та діагностичних обстежень у терапевтичних, кардіологічних, приймальних, реанімаційних та профілактичних відділеннях лікарні.

Основні завдання:

Одночасна реєстрація 12 стандартних відведень ЕКГ, цифрова обробка та інтерпретація сигналів, автоматичне виявлення аритмій, ішемічних змін та інших патологій, передача результатів у цифровому вигляді, можливість роботи з внутрішньою пам'яттю, термодрук результатів обстеження.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Стоматологічна установка AJ12 (НП), номінальна потужність 0.8 кВт



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд стоматологічної установки : AJ12
(НП)

Призначення:

Стоматологічна установка AJ12 (НП) призначена для виконання терапевтичних і хірургічних стоматологічних процедур у кабінетах загальної стоматології. Вона забезпечує ергономічні умови роботи лікаря та комфорт для пацієнта під час лікування зубів, проведення санації, реставрацій, видалень та інших стоматологічних втручань.

Основні завдання:

Забезпечення роботи стоматологічного інструментарію (турбін, мікромоторів, скалера), подача води та повітря, управління положенням крісла пацієнта, освітлення робочої зони, інтеграція з аспіраційною системою та можливість роботи з кількома типами наконечників, збереження стерильності та зручності під час прийому.

7. Стерилізатор повітряний ГП-40 , номінальна потужність 2 кВт

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд повітряного стерилізатора - ГП-40

Призначення:

Стерилізатор повітряний ГП-40 призначений для стерилізації медичних та лабораторних інструментів сухим гарячим повітрям при температурі до 200 °С. Він широко використовується у перев'язувальних, процедурних, стоматологічних кабінетах, а також у лабораторіях для знезараження скляного, металевого та термостійкого інвентарю.

Основні завдання:

Проведення термічної стерилізації інструментів, забезпечення дотримання санітарно-епідеміологічних норм, знищення мікроорганізмів та спор без застосування водяної пари, надійне знезараження виробів із термостійких матеріалів, підтримка гігієнічної безпеки в медичних закладах.

8. Шафа витяжна ШВ-1, номінальна потужність 0.15 кВт



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд витяжної шафи : ШВ-1

Призначення:

Шафа витяжна лабораторна ШВ-1 призначена для безпечного виконання лабораторних і аналітичних робіт з використанням летких хімічних речовин, які можуть становити загрозу для здоров'я персоналу. Забезпечує локалізацію парів та аерозолів, ефективне очищення повітря та його відведення за межі приміщення.

Основні завдання:

Захист лабораторного персоналу від шкідливих випарів і газів, створення ізолюваного робочого простору для хімічних аналізів, утримання парів реагентів всередині робочої камери, забезпечення відводу забрудненого повітря через вентиляційну систему, підвищення санітарно-гігієнічного рівня лабораторного середовища.

9. Сушильна машина Unimac ALS FDE, номінальна потужність 10.5кВт



Рисунок 1.12 – Загальний вигляд сушильної машини - Unimac ALS FDE

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначення:

Сушильна машина Unimas ALS FDE призначена для високоефективного сушіння великої кількості білизни, рушників, халатів та іншого текстилю після прання у лікарняних умовах. Застосовується в господарських та пральних блоках медичних установ для забезпечення гігієнічної обробки текстильних виробів.

Основні завдання:

Швидке та рівномірне висушування текстильних матеріалів, підтримка необхідної вологості білизни для подальшої обробки або зберігання, енергоефективна робота при інтенсивному щоденному навантаженні, зменшення ризику розмноження мікроорганізмів у вологих тканинах, автоматизація процесу сушіння в умовах великого обсягу прання.

10. Фармацевтичний холодильник HAIER HYS-390, номінальна потужність 0.38 кВт



Рисунок 1.13 – Загальний вигляд фармацевтичного холодильника :
HAIER HYS-390

Призначення:

Фармацевтичний холодильник HAIER HYS-390 призначений для зберігання лікарських засобів, вакцин, реагентів та інших медичних препаратів, які потребують стабільного температурного режиму. Забезпечує

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

охолодження в межах +2...+8 °С та використовується у фармацевтичних складах, лабораторіях, кабінетах вакцинації, аптеках та лікувальних відділеннях лікарні.

Основні завдання:

Підтримання постійної температури для збереження властивостей медикаментів, попередження псування чутливих до температури препаратів, забезпечення електронного контролю умов зберігання, сигналізація при відхиленнях від заданих параметрів, відповідність вимогам ВООЗ щодо зберігання імунобіологічних препаратів.

11.Бар'єрна професійна пральна машина IMESA D2W55, номінальна потужність 30 кВт



Рисунок 1.14 – Загальний вигляд пральної машини : IMESA D2W55

Призначення:

Бар'єрна пральна машина IMESA D2W55 призначена для санітарно-безпечного прання білизни в умовах лікувальних установ, де важливо забезпечити чіткий поділ на "брудну" та "чисту" зони. Застосовується в інфекційних, хірургічних, пральних та господарських блоках лікарень з метою запобігання перехресному забрудненню.

Основні завдання:

Прання інфекційної та стерильної білизни з абсолютним дотриманням гігієнічних норм, забезпечення роздільного завантаження та вивантаження з

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

різних боків машини, автоматичне дозування миючих засобів, підтримка програмованих циклів термічної та хімічної обробки, дотримання санітарно-епідеміологічних вимог закладів охорони здоров'я.

Пелетний котел BEETERM, номінальна потужність 30 кВт



Рисунок 1.15 – Загальний вигляд палетного котла : BEETERM

Призначення:

Пелетний котел BEETERM потужністю 30 кВт призначений для автоматизованого теплопостачання будівель лікарняного комплексу. Він працює на твердому біопаливі — деревних пелетах, що забезпечує екологічну ефективність та зниження експлуатаційних витрат у порівнянні з традиційними газовими або електричними котлами.

Основні завдання:

Забезпечення стабільного обігріву приміщень лікарні, гарячого водопостачання, робота в автономному режимі з автоматичною подачею палива, зменшення залежності від централізованого постачання енергоносіїв, резервне або основне джерело тепла у господарському або технічному блоці медичного закладу.

Таблиця 1.1 – Електроприймачі лікарняного комплексу

Найменування електроприймачів	Модель	Кількість електро-приймачів	Номінальна потужність, кВт	Категорії електро-приймачів
Рентгенодіагностичний комплекс	Calypso F	1	50	I
Флюороустановка	POLISTAT M32	1	32	I
Автоклав	Midmark B23	2	2.4	I
Аквадистилятор електричний	ДЕ-10М	1	7.5	II
Електрокардіограф	ECG-1112M	2	20	I
Стоматологічна установка	AJ12 (НП)	2	0.8	II
Стерилізатор повітряний	ГП-40	7	2	I
Шафа витяжна	ШВ-1	3	0.15	II
Сушильна машина	Unimac ALS FDE	2	10.5	II
Фармацевтичний холодильник	HAIER HYC-390	3	0.38	I
Бар'ерна професійна пральна машина	IMESA D2W55	1	30	II
Пелетний котел	BEETERM	1	30	II

Основне приміщення лікарні має розміри 4,5 м × 8 м, що становить площу 36 м². Додаткове приміщення має розміри 26 м × 18 м, тобто площу 468 м².

1.7 Розрахунок сонячних панелей

Щоб розрахувати сонячні панелі для резервного живлення найголовніших споживачів у лікарняному комплексі, спочатку визначимо критично важливі електроприймачі, які повинні працювати за будь-яких умов. До таких належать електроприймачі першої категорії, оскільки вони потребують безперебійного електропостачання.

- Рентгенодіагностичний комплекс — 50 кВт
- Флюороустановка — 32 кВт
- Автоклав (2 од.) — $2 \times 2.4 \text{ кВт} = 4.8 \text{ кВт}$
- Електрокардіограф (2 од.) — $2 \times 20 \text{ кВт} = 40 \text{ кВт}$

Сумарна потужність критичних споживачів:

$$50 + 32 + 4.8 + 40 = 126.8 \text{ кВт}$$

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення необхідної кількості сонячних панелей, слід врахувати, що використовуються фотомодулі потужністю 400 Вт (0,4 кВт) кожен.

В умовах України середній щоденний виробіток однієї такої панелі становить близько 1,2–1,5 кВт·год. Оскільки резервне живлення має забезпечити роботу найважливіших споживачів протягом 4 годин, необхідно покрити споживання електроенергії в обсязі:

$$126.8 \text{ кВт} \cdot 4 \text{ год} = 507.2 \text{ кВт} \cdot \text{год на добу}$$

Виходячи з цього, розрахункова кількість панелей становить:

$$\frac{507.2 \text{ кВт} \cdot \text{год}}{1.5 \text{ кВт} \cdot \text{год}} \approx 338 \text{ шт}$$

З урахуванням запасу, для стабільної роботи системи доцільно передбачити встановлення 350 сонячних панелей потужністю 400 Вт кожна.

Для оцінки площі, необхідної для розміщення сонячних панелей, передусім слід врахувати розміри одного фотомодуля. У даному випадку використовуються панелі потужністю 400 Вт, стандартні габарити яких становлять приблизно 1,75 метра в довжину та 1,1 метра в ширину. Це відповідає площі близько 1,925 м² на одну панель. Однак для практичного встановлення слід передбачити додатковий простір між панелями — для кріплення, вентиляції та технічного обслуговування. Тому розрахункова площа на одну панель з урахуванням проміжків становить орієнтовно 2–2,2 м².

З огляду на те, що для забезпечення резервного живлення критично важливих електроприймачів потрібно встановити 350 сонячних панелей, загальна площа розміщення розраховується наступним чином:

$$350 \cdot 2.2 \text{ м}^2 = 770 \text{ м}^2$$

Отже, для розміщення всієї сонячної електростанції знадобиться орієнтовно від 750 до 800 квадратних метрів відкритої площі. Це може бути дах будівлі лікарняного комплексу або спеціально відведена земельна ділянка. Також слід враховувати орієнтацію панелей та кут їх нахилу для досягнення максимальної ефективності виробітку енергії.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлення сонячних панелей у лікарнях є технологічно виправданим, екологічно доцільним та економічно обґрунтованим рішенням. Система на базі сонячних модулів забезпечує резервне живлення критичних зон, підвищує енергетичну незалежність медичного закладу та створює передумови для сталого розвитку.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розділ присвячений проектуванню системи електропостачання лікарні - закладу охорони здоров'я, розташованого на території міської інфраструктури. До складу лікарні входять основні функціональні зони: лікувальні відділення, діагностичні кабінети, лабораторії, операційні блоки, технічні приміщення, а також допоміжні об'єкти (пральня, харчоблок, гараж тощо).

Проектування електропостачання виконано відповідно до діючих нормативних документів (ПУЕ, ДБН, ДСТУ), з урахуванням специфіки функціонування медичного обладнання, режимів його роботи, а також високих вимог до безперебійності та надійності енергоживлення. Усі електротехнічні розрахунки виконано методом коефіцієнта попиту на основі зведеної таблиці електроприймачів.

Живлення електроприймачів лікарні здійснюється від внутрішнього розподільчого пункту, який отримує електроенергію від понижувальної трансформаторної підстанції (ТП), підключеної до мережі з напругою 10 кВ. Трансформатор забезпечує зниження напруги до 0,4 кВ для живлення силових та освітлювальних електроприймачів. У системі електропостачання об'єкта передбачено заходи щодо забезпечення безперервного електроживлення, оскільки більшість медичних пристроїв і допоміжних систем належать до I та II категорій надійності відповідно до вимог ПУЕ.

До складу електрообладнання лікарні входять електроприймачі різного призначення: рентгенапарати, стерилізаційні установки, лабораторне та вентиляційне обладнання, системи водопостачання, освітлення тощо. Їх розрахункові навантаження наведено у таблиці, що подано нижче, а також зображено у вигляді функціональної схеми електропостачання.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ					
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання			Лит.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бернацький В								
Перевір.		Мейта О.В.								
Реценз.								НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		
Н. Контр.		Кулаковський								
Затверд.		Бойченко								

2.1 Розрахунок освітлення

Розрахунок освітлення проводиться методами використання коефіцієнта світлового потоку. Послідовність розрахунків, прийнята в даному розділі, повністю відповідає положенням методики, викладеної у навчальному посібнику кафедри АЕМК КПІ ім. Ігоря Сікорського.

2.1.1 Розрахунок освітлення методом використання коефіцієнта світлового потоку

Метод коефіцієнта світлового потоку передбачає визначення необхідного світлового потоку, який має надходити на робочу поверхню приміщення для забезпечення нормативного рівня освітленості. Для цього враховуються геометричні розміри приміщення, нормована освітленість, тип і параметри світильника, коефіцієнти запасу, використання та нерівномірності освітлення.

Вихідні дані першого приміщення (підсобне приміщення):

- Довжина приміщення $A = 8$ м
- Ширина приміщення $B = 4.5$ м
- Площа приміщення $S = A \times B = 36$ м²
- Висота підвісу світильника $h = 2.3$ м
- Нормована освітленість $E_h = 20$ лк
- Коефіцієнт запасу $K_z = 1.5$
- Коефіцієнт нерівномірності $z = 1.1$

Вихідні дані другого приміщення (великий склад):

- Довжина приміщення $A = 26$ м
- Ширина приміщення $B = 18$ м
- Площа приміщення $S = A \times B = 468$ м²
- Висота підвісу світильника $h = 2.3$ м
- Нормована освітленість $E_h = 15$ лк
- Коефіцієнт запасу $K_z = 1.5$
- Коефіцієнт нерівномірності $z = 1.1$

Таблиця 2.1 - Обрані типи світильників

Параметр	Підсобне приміщення	Склад
Тип світильника	VARTON LED T8 G13 18W 4000K	VARTON LED T8 G13 36W 4000K
Світловий потік однієї лампи Фл	1800 лм	3600 лм
Потужність однієї лампи	18 Вт	36 Вт

Визначення індексу приміщення:

$$i_1 = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{4,5 \cdot 8}{2,3 \cdot (4,5 + 8)} = 1.25;$$

$$i_2 = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{26 \cdot 18}{2,3 \cdot (26 + 18)} = 4.6;$$

Вибір коефіцієнта використання η за таблицею: при $i = 1.25$ та світлих стінах і стелі приймаємо $\eta = 0.42$

Розрахунок загального необхідного світлового потоку:

$$F_1 = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_B} = \frac{1,5 \cdot 50 \cdot 36 \cdot 1,1}{0,42} = 7071 \text{ лм};$$

$$F_2 = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_B} = \frac{1,5 \cdot 50 \cdot 368 \cdot 1,1}{0,42} = 72285 \text{ лм};$$

Розрахунок кількості світильників:

$$N_1 = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{7071}{1800} = 4 \text{ шт}$$

$$N_2 = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{72285}{3600} = 21 \text{ шт}$$

Розрахунок встановленої потужності освітлення:

$$P_{po_1} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}} = 4 \cdot 18 = 72 \text{ Вт};$$

$$P_{po_2} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}} = 21 \cdot 36 = 756 \text{ Вт};$$

2.2 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок навантажень за методом коефіцієнта попиту здійснюється у напрямку від нижчих рівнів напруги до вищих, з послідовним об'єднанням електроприймачів у групи (вузли).

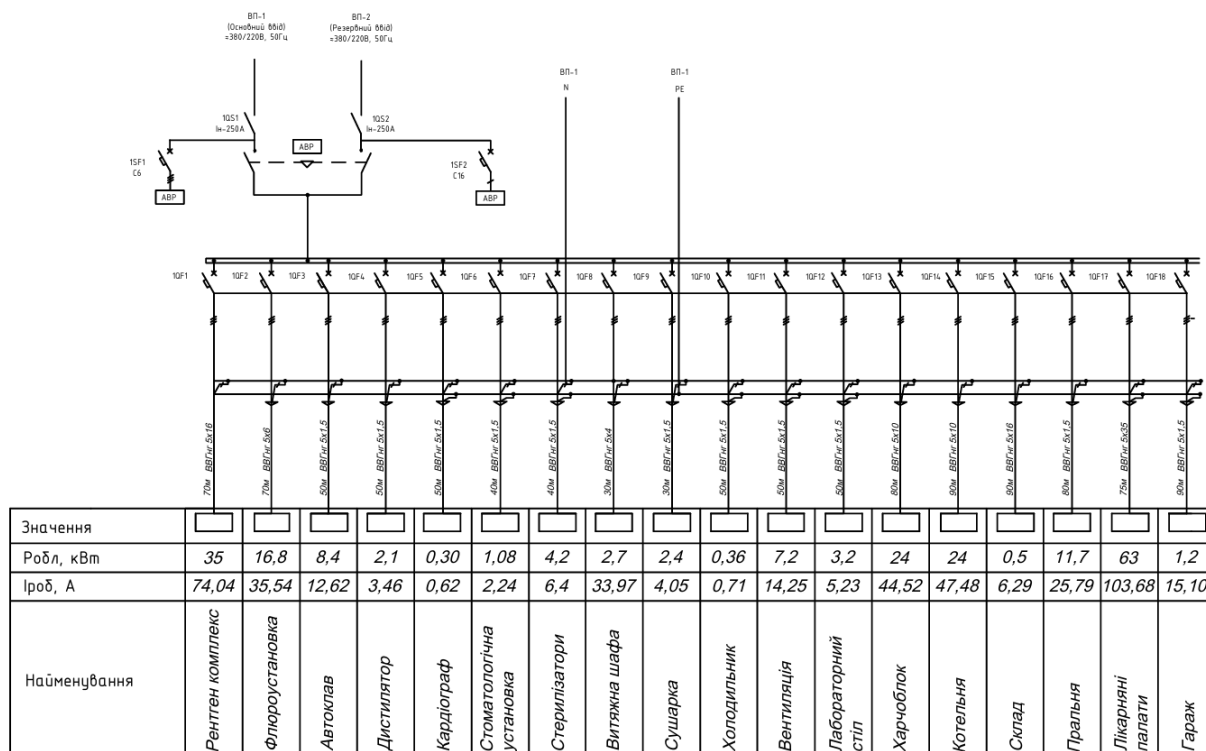


Рисунок 2.1 – Структурна схема електропостачання лікарні

Вихідні дані для розрахунків подано у таблиці 2.2 згідно з технічним завданням і паспортною інформацією обладнання.

Таблиця 2.2 – Зведена таблиця електроприймачів

Вхідні дані						Розрахунок			
№	Споживач	P_n , кВт	n	K_p	$\cos\varphi$	P_p , кВт	$\tan\varphi_n$	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	Рентген комплекс	50	1	0,7	0,8	35,00	0,75	37,50	51,30
2	Флюороустановка	24	1	0,7	0,8	16,80	0,75	18,00	24,62
3	Автоклав	6	2	0,7	0,98	8,40	0,20	2,44	8,75
4	Дистилятор	3,5	1	0,6	0,95	2,10	0,33	1,15	2,39
5	Кардіограф	0,25	2	0,6	0,85	0,30	0,62	0,31	0,43
6	Стомат. установка	0,9	2	0,6	0,85	1,08	0,62	1,12	1,55
7	Стерилізатори	1	7	0,6	0,98	4,20	0,20	1,42	4,43
8	Витяжна шафа	4,5	3	0,2	0,5	2,70	1,73	23,38	23,54
9	Сушарка	1,5	2	0,8	0,9	2,40	0,48	1,45	2,81
10	Холодильник	0,15	3	0,8	0,8	0,36	0,75	0,34	0,49
11	Вентиляція	9	1	0,8	0,8	7,20	0,75	6,75	9,87
12	Лабораторний стіл	4	1	0,8	0,92	3,20	0,43	1,70	3,63
13	Харчоблок	40	1	0,6	0,9	24,00	0,48	19,37	30,84

Продовження таблиці 2.2

14	Котельня	30	1	0,8	0,8	24,00	0,75	22,50	32,90
15	Склад	2,5	1	0,2	0,5	0,50	1,73	4,33	4,36
16	Пральня	18	1	0,65	0,8	11,70	0,75	13,50	17,86
17	Лікарняні палати	2,5	42	0,6	0,95	63,00	0,33	34,51	71,83
18	Гараж	6	1	0,2	0,5	1,20	1,73	10,39	10,46
Разом						208,14	-	200,17	288,77

Згідно з формулою (2.1), визначається розрахункове активне навантаження P_p для окремих електроприймачів, а також сумарне активне навантаження на відповідний вузол.

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{n.i.} \quad (2.1)$$

$$P_{p1} = K_{p1} \cdot P_{n1} = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ кВт};$$

Розрахунок для інших споживачів виконується за аналогічним принципом. Отримані результати заносяться до таблиці 2.1.

$$P_{p\text{разом}} = \sum_{i=1}^n P_{p.i.} = 208,14 \text{ кВт};$$

Згідно з формулою (2.2), виконується розрахунок коефіцієнта реактивної потужності для кожного окремого споживача:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_n)) \quad (2.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{n1} = \operatorname{tg}(\arccos(0,80)) = 0,75;$$

Згідно з формулою (2.3), розраховується реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача, а також визначається загальне реактивне навантаження на відповідний вузол електропостачання лікарняного комплексу:

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi_p \quad (2.3)$$

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \tan \varphi_{p1} = 50 \cdot 0,75 = 37,5 \text{ кВАр};$$

$$Q_{p\text{разом}} = \sum_{i=1}^n Q_{p.i.} = 200,17 \text{ кВАр};$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження S_p для електричного вузла лікарні. Коефіцієнт одночасності приймається рівним 1:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.4)$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{35^2 + 37,5^2} = 51,3 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{Разом}} = \sqrt{P_{\text{Разом}}^2 + Q_{\text{Разом}}^2} = \sqrt{208,14^2 + 200,17^2} = 288,77 \text{ кВА};$$

Обираємо трансформатор Т1 відповідно до заданої потужності, враховуючи можливість його роботи з навантаженням до 30% понад номінальне. Номінальна напруга на боці високої напруги — 10 кВ, на боці низької напруги — 0,4 кВ.

Таблиця 2.3 – Параметри обраного трансформатора

Тип	Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, кВА	Номінальні напруги, кВ		Втрати потужності XX, P_x , кВт	Втрати потужності КЗ, P_k , кВт	Струм XX I_x , %	Напруга КЗ, U_k %
		ВН (Y)	НН (Δ)				
ТМ- 320/10/0.4	320	10	0,4	0,65	4,10	2,2	4,5

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в обраному трансформаторі:

$$\Delta P_{T1} = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,02 \cdot 320 = 6,4 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T1} = 0,1 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,1 \cdot 320 = 32 \text{ кВАр};$$

2.3 Розрахунок електричних мереж

При проектуванні системи електропостачання лікарні необхідно виконати електричні розрахунки ліній електропередач. Перед вибором перерізу кабелів та проводів складається схема електропостачання з урахуванням довжини ліній.

Оскільки до лікарні підведено повітряну лінію електропередач напругою 10 кВ, перетин проводу визначається за економічною щільністю струму, а також перевіряється за умовами нагріву і допустимими втратами напруги. Понижувальний трансформатор забезпечує живлення низьковольтної мережі (до 1000 В), яка розраховується переважно за втратами напруги з урахуванням нагріву та погодження із системою захисту.

Стаціонарні кабельні лінії після трансформатора вибираються з урахуванням тривалого навантаження, нагріву, термічної стійкості до струмів короткого замикання та втрат напруги.

2.3.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів

Для визначення перетину проводів розрахунковий струм навантаження трифазних груп визначається за відповідною формулою:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$
$$I_{P1} = \frac{S_{P1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{51,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 74,04 \text{ A};$$
$$I_{P2} = \frac{S_{P2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{24,62}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 35,54 \text{ A};$$

Де S_P – розрахункове навантаження споживачів, кВА; U_H – напруга мережі, кВ.

Результати обчислень наведено в таблиці 2.4.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Вхідні дані для розрахунку

№ лінії	Споживач	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	$\cos \varphi$	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії I_p , А
1	Рентген комплекс	70	КЛ	35,00	0,8	1	74,04
2	Флюороустановка	70	КЛ	16,80	0,8	1	35,54
3	Автоклав	50	КЛ	8,40	0,98	1	12,62
4	Дистилятор	50	КЛ	2,10	0,95	1	3,46
5	Кардіограф	50	КЛ	0,30	0,85	1	0,62
6	Стомат. установка	40	КЛ	1,08	0,85	1	2,24
7	Стерилізатори	40	КЛ	4,20	0,98	1	6,40
8	Витяжна шафа	30	КЛ	2,70	0,5	1	33,97
9	Сушарка	30	КЛ	2,40	0,9	1	4,05
10	Холодильник	50	КЛ	0,36	0,8	1	0,71
11	Вентиляція	50	КЛ	7,20	0,8	1	14,25
12	Лабораторний стіл	50	КЛ	3,20	0,92	1	5,23
13	Харчоблок	80	КЛ	24,00	0,9	1	44,52
14	Котельня	90	КЛ	24,00	0,8	1	47,48
15	Склад	90	КЛ	0,50	0,5	1	6,29
16	Пральня	80	КЛ	11,70	0,8	1	25,79
17	Лікарняні палати	75	КЛ	63,00	0,95	1	103,68
18	Гараж	90	КЛ	1,20	0,5	1	15,10

2.3.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перерізу проводів і жил кабелів за умовами нагріву здійснюється шляхом порівняння розрахункового струму лінії з допустимим струмом згідно з вимогами ПУЕ, за умови:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}$$

де I_p - розрахунковий струм лінії, А;

$I_{\text{доп}}$ - тривало допустимі значення струмів для провідників лінії з типових перерізів.

Таблиця 2.5 - Розрахункові та тривало допустимі струми для лінійних
провідників

№ лінії	I_p	$I_{доп}$
1	74,04	75
2	35,54	42
3	12,62	19
4	3,46	19
5	0,62	19
6	2,24	19
7	6,40	19
8	33,97	35
9	4,05	19
10	0,71	19
11	14,25	19
12	5,23	19
13	44,52	55
14	47,48	55
15	6,29	19
16	25,79	35
17	103,68	120
18	15,10	19

2.3.3 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності

Одним із критеріїв вибору ліній електричної мережі є забезпечення їхньої механічної міцності. У Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ) визначено мінімально допустимі перерізи провідників для силових і освітлювальних мереж, які необхідно враховувати під час проектування.

У даному проекті для електропостачання лікарні було обрано мідні провідники замість алюмінієвих. Це зумовлено кількома ключовими чинниками:

- Вища електропровідність міді - мідь має нижчий питомий опір, що

дозволяє передавати більші струми при меншому перерізі провідника, знижуючи втрати потужності.

- Краща механічна міцність і гнучкість - мідні провідники менш крихкі, краще витримують багаторазове згинання, що важливо для надійного монтажу та експлуатації в медичних установах.
- Надійність контактів - мідь менш схильна до окислення в місцях з'єднань, що зменшує ризик перегріву та аварійних ситуацій.
- Вища пожежна безпека - мідні провідники краще витримують теплове навантаження, що критично для лікарень, де безперебійність і безпека електропостачання є пріоритетом.

Таким чином, вибір мідних провідників для електромережі лікарні забезпечує підвищену надійність, довговічність і безпеку системи живлення.

Для мідного провідника мінімальний переріз за умовами механічної міцності становить 1,5 мм².

2.3.4 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Обраний переріз провідників повинен також гарантувати допустимий рівень напруги на стороні споживача, тому під час розрахунків проводять перевірку на втрати напруги в лінії.

Для електроприймачів з номінальною напругою до 1 кВ втрати напруги оцінюються у вольтах. У нашому випадку, за номінальної напруги мережі $U_H = 380$ В, згідно з нормативними вимогами, гранично допустима втрата напруги становить:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 39 \text{ В};$$

Загальні втрати напруги в електричній мережі складаються з втрат у всіх її складових елементах.

У разі, якщо сумарні втрати напруги перевищують допустиме значення, необхідно переглянути вибраний переріз кабелів у бік збільшення.

Відносні втрати напруги в трансформаторі (у відсотках) визначаються за наступною формулою:

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{TP\%} = \beta(U_{a\%} \cos \varphi_{TP} + U_{p\%} \sin \varphi_{TP})$$

Де: β – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$U_{a\%}$ – активна складова напруги КЗ трансформатора, %;

ΔP_K – втрати КЗ трансформатора, Вт;

$S_{H.T}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{p\%}$ – реактивна складова напруги КЗ трансформатора;

$$\beta = \frac{S_P}{S_{H.T}}$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 S_{H.T.}}$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2}$$

З урахуванням можливості регулювання напруги на виході трансформатора шляхом перемикання відпайок на первинній обмотці, абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В, становить:

$$U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}$$

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі, що дорівнює 0,95, 1,0 та 1,05 при відпайках +5%, 0, -5%. U_0 – вторинна напруга холостого ходу трансформатора.

Розглянемо розрахунок втрат напруги для трансформатора ТМ-320/10/0.4:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{H.T.}} = \frac{288,77}{320} = 0,9;$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T.}} = \frac{650}{10 \cdot 320} = 0,2 \text{ \%};$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4,5^2 - 0,2^2} = 4,50 \text{ \%};$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{208,14}{288,77} = 0,72;$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,72^2} = 0,69;$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{TP\%} &= \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos \varphi + U_{p\%} \cdot \sin \varphi) = 0,9 \cdot (0,2 \cdot 0,72 + 4,5 \cdot 0,69) \\ &= 2,94 \text{ \%} \end{aligned}$$

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 2,94 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 11,78 \text{ В};$$

У такому разі гранично допустимі втрати напруги в кабельній лінії становлять:

$$\Delta U_{МК} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{TP} = 39 - 11,78 = 27,22 \text{ В};$$

Втрати напруги в кабельній лінії (у вольтах) визначаються за наступною формулою:

$$\Delta U_{м.к.} = \frac{P_H \cdot L_{м.к.} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{м.к.} \cdot U_H \cdot \eta_H}$$

P_H - Сумарна потужність електроприймачів, підключених до даного кабелю, [кВт];

$L_{м.к.}$ - довжина лінії, м;

$\gamma=50$ [м/(Ом•мм²)] – питома провідність мідного кабелю;

$S_{м.к.}$ - максимальний переріз кабелю, визначений за результатами попередніх розрахунків, мм²;

U_H - номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги, В;

η_H - ККД електроприймача

$$\Delta U_{м.к1} = \frac{P_{H1} \cdot L_{м.к1} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{м.к1} \cdot U_H \cdot \eta} = \frac{50 \cdot 70 \cdot 10^3}{50 \cdot 16 \cdot 380 \cdot 1} = 11,51 \text{ В};$$

2.3.5 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів

Усі розраховані параметри узагальнюємо в таблиці 3.3, після чого остаточний вибір кабелів здійснюється за максимальним із визначених перерізів.

Таблиця 2.6 - Узагальнення розрахункових параметрів і вибір перерізу кабелів

№ лінії	Розрахунковий робочий струм I_p , А	За нагрівом		Мех. міцність $S_{мех}$, $мм^2$	За втратами напруги		Обраний кабель
		$I_{доп}$, А	$S_{нагр}$, $мм^2$		Втрати напруги, В	$S_{втр}$ напруги $мм^2$	
1	74,04	75	16	1,5	11,51	16	ВВГнг 5х16
2	35,54	42	6	1,5	14,74	6	ВВГнг 5х6
3	12,62	19	1,5	1,5	21,05	1,5	ВВГнг 5х1,5
4	3,46	19	1,5	1,5	6,14	1,5	ВВГнг 5х1,5
5	0,62	19	1,5	1,5	0,88	1,5	ВВГнг 5х1,5
6	2,24	19	1,5	1,5	2,53	1,5	ВВГнг 5х1,5
7	6,40	19	1,5	1,5	9,82	1,5	ВВГнг 5х1,5
8	33,97	35	4	1,5	5,33	4	ВВГнг 5х4
9	4,05	19	1,5	1,5	3,16	1,5	ВВГнг 5х1,5
10	0,71	19	1,5	1,5	0,79	1,5	ВВГнг 5х1,5
11	14,25	19	1,5	1,5	15,79	1,5	ВВГнг 5х1,5
12	5,23	19	1,5	1,5	7,02	1,5	ВВГнг 5х1,5
13	44,52	55	10	1,5	16,84	10	ВВГнг 5х10
14	47,48	55	10	1,5	14,21	10	ВВГнг 5х10
15	6,29	19	1,5	1,5	7,89	1,5	ВВГнг 5х1,5
16	25,79	35	4	1,5	18,95	4	ВВГнг 5х4
17	103,68	120	35	1,5	11,84	35	ВВГнг 5х35
18	15,10	19	1,5	1,5	18,95	1,5	ВВГнг 5х1,5

2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротке замикання (КЗ) є одним із найбільш небезпечних аварійних режимів у системах електропостачання медичних установ. У разі виникнення КЗ струм у лінії різко зростає, суттєво перевищуючи номінальні значення, що загрожує надійній роботі обладнання та безпеці персоналу й пацієнтів.

Залежно від кількості фаз, що беруть участь у замиканні, КЗ у системі може бути однофазним, двофазним або трифазним. Найбільш небезпечним з точки зору теплового та динамічного впливу є трифазне коротке замикання, тому саме для нього виконується первинний розрахунок струмів. Це дозволяє

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

правильно вибрати захисну апаратуру, включаючи автоматичні вимикачі та релейний захист.

Основними причинами виникнення КЗ можуть бути: старіння або пошкодження ізоляції, вологість, механічні впливи, або помилки при монтажі. Наслідки включають падіння напруги на низьковольтному боці трансформатора, порушення роботи електроприймачів та можливість виникнення пожежі в разі відсутності належного захисту.

Для подальших розрахунків було складено розрахункову схему заміщення (рис. 2.2), яка враховує електропостачання лікарні з напругою 10/0,4 кВ через понижуючий трансформатор. На схемі позначено ключові точки, для яких виконуватиметься розрахунок струмів короткого замикання, з урахуванням потужності трансформатора, опору кабелів та конфігурації навантаження.

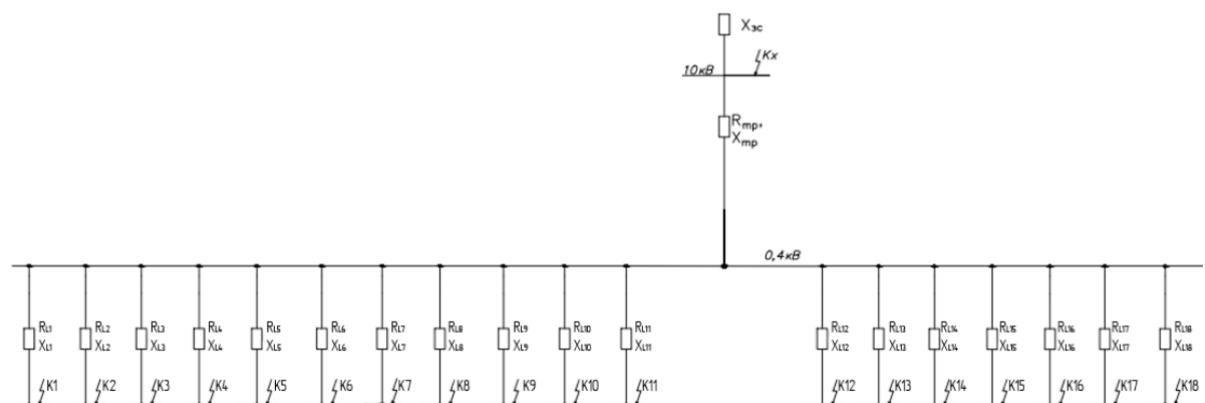


Рисунок 2.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

2.4.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

У процесі розрахунку струмів короткого замикання обчислюються такі параметри:

I'' - діюче значення початкового зверхперехідного струму для вибору уставки для вибору уставок спрацювання швидкодіючого захисту;

I_{∞} - усталений струм КЗ для перевірки на термічну стійкість електричних апаратів та кабелів;

i_y - миттєве значення ударного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на y динамічну стійкість;

I_y - найбільше діюче значення повного струму КЗ для перевірки електричних апаратів на y динамічну стійкість на протязі першого періоду КЗ;

I_i - діюче значення повного струму КЗ для довільного моменту часу для вибору t вимикачів за відмикаючим струмом;

S_t - потужність КЗ для довільного моменту часу для перевірки вимикача за відключаючою ним потужністю.

Під час розрахунку струмів короткого замикання в мережах з напругою до 1000 В необхідно враховувати повний опір усіх елементів схеми, включаючи як активну, так і реактивну складові.

Значення активного опору лінії залежить від вибраного перерізу провідника:

$$R = r_0 \cdot L = \frac{1000}{\gamma \cdot S} \cdot L \quad (4.1)$$

Величина реактивного опору лінії визначається за питомим опором:

$$X = x_0 \cdot L \quad (4.2)$$

Питомий індуктивний опір лінії приймаємо: для кабельних ЛЕП напругою до 1 кВ - 0,07 Ом/км; до 10 кВ - 0,08, Ом/км

Струм трифазного короткого замикання:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} \quad (4.3)$$

де U_{cp} - середня номінальна напруга ступіні КЗ (690,400, 230,133 В)

$\sum r$, $\sum x$ - сума активних і реактивних опорів до точки КЗ, включаючи трансформатор та опір зовнішньої системи, мОм.

Опір зовнішньої системи приведений до напруги споживачів 0,4 кВт:

$$X_{zc} = \frac{U_{с.н.}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 0,004 \text{ Ом}; \quad (4.4)$$

де $S_K^{(3)}$ – потужність трифазного короткого замикання на шинах;

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$U_{с.н.}^2 - 230, 400, 690, 1200 \text{ В}$

Опір трансформатора:

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{H.T.}^2) \quad (4.5)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (4.6)$$

$$Z_T = U_K \cdot U_{с.н.} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.} \quad (4.7)$$

де: ΔP_K - втрати короткого замикання трансформатора, Вт; $I_{H.T.}$ - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора. А; U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %.

$$I_{H.T.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{320}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 461,88 \text{ А}; \quad (4.8)$$

$$Z_{Tp} = \frac{U_k \cdot U_{сн}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}} = \frac{4,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 461,88} = 0,2 \text{ Ом};$$

$$R_{Tp} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{H.T.}^2} = \frac{650}{3 \cdot 461,88^2} = 0,001 \text{ Ом};$$

$$X_{Tp} = \sqrt{Z_{Tp}^2 - R_{Tp}^2} = \sqrt{0,2^2 - 0,001^2} = 0,02 \text{ Ом};$$

Активна складова опору кабельних ліній живлення низьковольтних споживачів (Ом), з урахуванням довжини лінії в кілометрах:

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{м.к1}} \cdot L_1 = \frac{1000}{50 \cdot 51,3} \cdot 0,07 = 0,03 \text{ Ом};$$

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0,07 \text{ Ом/км}$ - реактивний опір КЛ, $U < 1 \text{ кВ}$ довжиною 1 км.

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0,07 \cdot 0,07 = 0,005 \text{ Ом};$$

Підсумкові дані розрахунку внесено до табл. 2.7

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Опір елементів системи електропостачання (іменовані значення)

Елемент мережі	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	0	0,004
ТМ-320/10/0,4	0,001	0,02
L ₁	0,03	0,005
L ₂	0,06	0,005
L ₃	0,11	0,004
L ₄	0,42	0,004
L ₅	2,32	0,004
L ₆	0,52	0,003
L ₇	0,18	0,003
L ₈	0,03	0,002
L ₉	0,21	0,002
L ₁₀	2,03	0,004
L ₁₁	0,10	0,004
L ₁₂	0,28	0,004
L ₁₃	0,05	0,006
L ₁₄	0,05	0,006
L ₁₅	0,41	0,006
L ₁₆	0,09	0,006
L ₁₇	0,02	0,005
L ₁₈	0,17	0,006

На основі розрахункової схеми будується схема заміщення, де всі елементи мережі представляються у вигляді відповідних опорів. У разі складної конфігурації мережі допускається спрощення схеми шляхом об'єднання окремих опорів в еквівалентні.

Далі визначаємо загальний (сумарний) опір до кожної з точок короткого замикання.

Точка K_{зс}: Опір складається лише з реактивного опору зовнішньої системи X_{зс}:

					4 K _{зс} = X _{зс} = 0,004 Ом;	Лист
					ДП ОА11.03.000 ПЗ	
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		41

Точка К_{тр}: Опір складається з опорів зовнішньої системи X_{зс} та трансформатора ТМ-320:

$$\sum R_{K_{тр}} = R_{Tp} = 0,001 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K_{тр}} = X_{зс} + X_{Tp} = 0,004 + 0,2 = 0,204 \text{ Ом};$$

$$Z_{K_{тр}} = \sqrt{(\sum R_{K_{тр}})^2 + (\sum X_{K_{тр}})^2} = \sqrt{0,001^2 + 0,204^2} = 0,2 \text{ Ом};$$

Точка К1: Складається з опорів зовнішньої системи X_{зс}, трансформатора ТМ-320 та лінії:

$$\sum R_{K1} = R_{Tp} + R_{L1} = 0,001 + 0,03 = 0,031 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K1} = \sum X_{тр} + X_{L1} = 0,204 + 0,005 = 0,209 \text{ Ом};$$

$$Z_{K1} = \sqrt{(\sum R_{K1})^2 + (\sum X_{K1})^2} = \sqrt{0,031^2 + 0,209^2} = 0,21 \text{ Ом};$$

Розрахунки для точок К2–К18 виконуються за тією ж методикою, що й для точки К1. Отримані значення наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розраховані опори до точок короткого замикання

Точка	$\sum R_K$	$\sum X_K$	Z_K
К _{зс}	0	0,004	0,004
К _{тр}	0,001	0,204	0,2
К1	0,031	0,209	0,21
К2	0,06	0,209	0,22
К3	0,12	0,208	0,24
К4	0,42	0,208	0,47
К5	2,32	0,208	2,33
К6	0,52	0,207	0,56
К7	0,18	0,207	0,28
К8	0,03	0,206	0,21
К9	0,21	0,206	0,30
К10	2,03	0,208	2,04
К11	0,10	0,208	0,23
К12	0,28	0,208	0,35

Продовження таблиці 2.8

K13	0,05	0,210	0,22
K14	0,06	0,210	0,22
K15	0,41	0,210	0,46
K16	0,09	0,210	0,23
K17	0,02	0,209	0,21
K18	0,17	0,210	0,27

Розрахунок струмів КЗ для точок

а) діюче значення струму трифазного КЗ для точки:

$$I_{\text{Ктр}}^3 = \frac{U_{\text{с.н.}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{Ктр}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,2} = 1,15 \text{ кА};$$

$$I_{\text{К1}}^3 = \frac{U_{\text{с.н.}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,21} = 1,1 \text{ кА};$$

б) струм двофазного короткого замикання:

$$I_{\text{Ктр}}^2 = \frac{U_{\text{с.н.}}}{2 \cdot Z_{\text{Ктр}}} = \frac{400}{2 \cdot 0,2} = 1 \text{ кА};$$

$$I_{\text{К1}}^2 = \frac{U_{\text{с.н.}}}{2 \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{2 \cdot 0,21} = 0,95 \text{ кА};$$

в) миттєве значення ударного струму КЗ через півперіод (0.01с) після виникнення КЗ:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{К}}^3 + 6,5 \cdot \sum I_{\text{н}};$$

де: k_y - ударний коефіцієнт; $k_y = 1,2 \dots 1,3$ при короткому замиканні на шинах підстанції, $k_y = 1,8$ при короткому замиканні зі сторони високої напруги, $k_y = 1$ при короткому замиканні у віддаленій точці; $\sum I_{\text{н}}$ - сума номінальних струмів асинхронних двигунів потужністю понад 100 кВ·А.

$$i_{\text{уктр}} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{Ктр}}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,15 = 1,62 \text{ кА};$$

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$i_{yK1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 1,55 \text{ кА};$$

г) діюче значення повного струму КЗ:

$$I_{yKтр} = I_{Kтр}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 1,15 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 1,15 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 1,1 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 1,10 \text{ кА};$$

Отримані значення наведено в таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Струми короткого замикання (іменовані значення).

Точка КЗ	$U_{сн}, B$	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	$I_K^{(3)}, \text{кА}$	$I_K^{(2)}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$
K _{тр}	400	0,001	0,02	0,20	1,15	1	1,62	1,15
K1	400	0,03	0,005	0,03	1,10	0,95	1,55	1,10
K2	400	0,06	0,005	0,06	1,07	0,92	1,51	1,07
K3	400	0,11	0,004	0,11	0,97	0,84	1,38	0,97
K4	400	0,42	0,004	0,42	0,49	0,43	0,70	0,49
K5	400	2,32	0,004	2,32	0,10	0,09	0,14	0,10
K6	400	0,52	0,003	0,52	0,42	0,36	0,59	0,42
K7	400	0,18	0,003	0,18	0,84	0,73	1,19	0,84
K8	400	0,03	0,002	0,03	1,11	0,96	1,57	1,11
K9	400	0,21	0,002	0,21	0,78	0,67	1,10	0,78
K10	400	2,03	0,004	2,03	0,11	0,10	0,16	0,11
K11	400	0,10	0,004	0,10	1,00	0,86	1,41	1,00
K12	400	0,28	0,004	0,28	0,67	0,58	0,94	0,67
K13	400	0,05	0,006	0,05	1,07	0,93	1,51	1,07
K14	400	0,05	0,006	0,06	1,06	0,92	1,50	1,06
K15	400	0,41	0,006	0,41	0,50	0,43	0,70	0,50
K16	400	0,09	0,006	0,09	1,01	0,88	1,43	1,01
K17	400	0,02	0,005	0,02	1,10	0,95	1,55	1,10
K18	400	0,17	0,006	0,17	0,85	0,73	1,20	0,85

Розрахунок струмів короткого замикання зазвичай виконується для найбільш несприятливих умов. У зв'язку з цим приймаємо, що: потужність енергосистеми необмежена та напруга в мережі при КЗ не зменшується, тому діючі значення надперехідного струму КЗ (I''), усталеного (I_∞) та струму трифазного КЗ ІК(3) можна вважати рівними між собою: $I'' = I_\infty = I_k^{(3)}$.

2.5 Вибір електричних апаратів

При проектуванні електропостачання лікарні, як об'єкта зі споживачами підвищеної відповідальності, необхідно використовувати сучасне електротехнічне обладнання, здатне забезпечити надійну, безпечну та безперебійну роботу електричних мереж. Особлива увага приділяється вибору апаратури, що виконує функції комутації та захисту в умовах нормального та аварійного режимів.

Під час підбору комплектних розподільних пристроїв (КРП), трансформаторних підстанцій (КТП) та комутаційної апаратури в мережах до 1000 В, обов'язковим є врахування їх здатності витримувати робочі навантаження та короточасні струми короткого замикання. Уся апаратура повинна відповідати нормам за номінальним струмом, напругою, а також бути перевірена на термічну та електродинамічну стійкість при КЗ.

Крім того, враховується категорійність електроприймачів лікарні (здебільшого – I категорія), що передбачає підвищені вимоги до резервування живлення та селективності захисту. Це означає, що автоматичні вимикачі, контактори, реле та інші апарати мають забезпечувати швидке виявлення та відключення пошкоджених ділянок без впливу на інші споживачі.

2.5.1 Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі, на відміну від плавких запобіжників, є багаторазовими захисними пристроями, які оснащені механізмами витримки часу, що дозволяє реалізувати селективний захист. Кожна фаза вимикача містить максимальне струмове реле прямої дії, яке називається розчеплювачем. Розчеплювач включає два основних елементи: тепловий - з біметалевою пластиною, що забезпечує захист від перевантаження з певною витримкою часу, та електромагнітний - який реалізує захист від короткого замикання з витримкою або без неї (струмова відсічка).

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір автоматичних вимикачів виконується відповідно до трьох основних технічних критеріїв, що враховують умови їх експлуатації та вимоги до електрозахисту.

$$I_{н.а.} \geq I_p; U_{н.а.} = U_{н.м.}; I_{в.} \geq 1,2 \cdot I_K^{(3)} \quad (5.1)$$

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а.}$ – номінальні струми та напруги автомата; $I_{в.}$ – граничний струм автомата, що вимикається; $I_K^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання на вхідних затискачах автоматичного вимикача. Потрібно також здійснити перевірку на здатність витримувати термічні та електродинамічні навантаження.

Струм уставки $I_{у.а.}$ максимального захисту автомата обирають за умовою:

$$I_{у.а.} \geq I_{п.мах} + \sum_{i=1}^{K-1} I_{н.i} \quad (5.2)$$

де: $I_{п.мах}$ – номінальний пусковий струм найбільш потужного електродвигуна; $\sum_{i=1}^{K-1} I_{н.i}$ – сума номінальних струмів решти електроспоживачів.

Вибране значення уставки повинно бути перевірене на надійність вимикання автоматом струму двофазного короткого замикання $I_{K.min}^{(2)}$ у найвіддаленішій точці захищеної мережі за умовою:

$$I_{K.min}^{(2)} / I_{у.а.} \geq 1,5 \quad (1,25) \quad (5.3)$$

У схемі не передбачено використання запобіжників для захисту електродвигунів, оскільки їх функції повністю замінюють автоматичні вимикачі, які мають ширші можливості налаштування параметрів захисту від перевантажень та струмів короткого замикання. Крім того, існує ризик перегорання лише одного запобіжника в трифазному колі, що не спричинить повного відключення двигуна і може призвести до його пошкодження через асиметричне живлення.

Таблиця 2.10 - Основні параметри вибраних електричних апаратів

Призначення апарата	Струми, А						Тип прийнятого апарата
	$I_p(I_{н.д}), А$	$I_{н}, А$	$I_{К.мах}^{(3)}, кА$	$I_{К.min}^{(2)}, кА$	$I_{н.в}, А$	$I_{г.в}, А$	
Автоматичні вимикачі							
<i>L1</i>	74,04	80	1,10	0,95	80	800	ВА88-100 С80
<i>L2</i>	35,54	40	1,07	0,92	40	400	ВА47-29 С40
<i>L3</i>	12,62	16	0,97	0,84	16	160	ВА47-29 С16
<i>L4</i>	3,46	6	0,49	0,43	6	60	ВА47-29 С6
<i>L5</i>	0,62	1	0,10	0,09	1	10	ВА47-29 В1
<i>L6</i>	2,24	4	0,42	0,36	4	40	ВА47-29 В4
<i>L7</i>	6,40	10	0,84	0,73	10	100	ВА47-29 С10
<i>L8</i>	33,97	40	1,11	0,96	40	400	ВА47-29 С40
<i>L9</i>	4,05	6	0,78	0,67	6	60	ВА47-29 С6
<i>L10</i>	0,71	1	0,11	0,10	1	10	ВА47-29 В1
<i>L11</i>	14,25	16	1,00	0,86	16	160	ВА47-29 С16
<i>L12</i>	5,23	6	0,67	0,58	6	60	ВА47-29 С6
<i>L13</i>	44,52	50	1,07	0,93	50	500	ВА47-29 С50
<i>L14</i>	47,48	50	1,06	0,92	50	500	ВА47-29 С50
<i>L15</i>	6,29	10	0,50	0,43	10	100	ВА47-29 С10
<i>L16</i>	25,79	32	1,01	0,88	32	320	ВА47-29 С32
<i>L17</i>	103,68	125	1,10	0,95	125	1000	ВА88-32 С125
<i>L18</i>	15,10	16	0,85	0,73	16	160	ВА47-29 С16

Висновки до розділу 2

У цьому розділі розглянуто проектування системи електропостачання лікарні як важливого споживача в загальній енергетичній інфраструктурі. Враховуючи розраховану сумарну повну потужність електроприймачів, яка становить приблизно 288 кВА, для живлення об'єкта були обрані два силові трансформатори типу ТМ-320/10/0,4, що забезпечують необхідний рівень надійності та резерву по потужності.

Відповідно до розрахованих навантажень були визначені перерізи ліній електроживлення з урахуванням допустимих втрат напруги. Також проведено розрахунок струмів короткого замикання для вибору електричних апаратів.

Для захисту електричних кіл і навантажень були підібрані автоматичні вимикачі серії ВА відповідно до розрахованих номінальних струмів навантаження та струмів короткого замикання. Обрані вимикачі типу ВА забезпечують селективність, надійність захисту та відповідають нормативним вимогам щодо експлуатації у медичних закладах.

Живлення лікарняного комплексу виконано відповідно до вимог I категорії за надійністю електропостачання.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Побудова еквівалентної схеми сонячного елемента та її математичне обґрунтування

Окремий сонячний елемент моделюється як структура, що складається з послідовно підключеного опору R_s і паралельного з'єднання джерела струму, діода та шунтуючого опору R_{SH} . Робота сонячного елемента базується на фотоелектричному ефекті, що дозволяє перетворювати енергію сонячного випромінювання безпосередньо в електричну.

Електричні характеристики елемента — зокрема, струм, напруга та опір — змінюються залежно від інтенсивності освітлення. Завдяки цьому створюється електричний струм навіть без підключення зовнішнього джерела напруги. Для того щоб споживати електроенергію, до сонячного елемента підключають зовнішнє навантаження.

Перед побудовою математичної моделі сонячного елемента слід врахувати ряд основних рівнянь, які описують його електричні властивості.

Рівняння теплової напруги:

$$V_T = k_B T_{OPT}/q$$

Рівняння струму діода:

$$I_D = N_p I_S [e^{(V/N_s) + (I R_s/N_s)/N V_T} - 1]$$

Рівняння струму навантаження:

$$I_L = I_{Ph} N_p - I_D - I_{SH}$$

Рівняння фотоструму:

$$I_{Ph} = [k_i (T_{OPT} - T_{REF}) + I_{SC}] I_{RR}$$

Рівняння шунтуючого струму:

$$I_{SH} = (I R_s + V)/R_{SH}$$

					ДП ОА11.03.000 ПЗ					
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Бернацький В			Спеціальна частина			Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Хотян А.А.								
Реценз.								НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		
Н. Контр.		Кулаковський								
Затверд.		Бойченко								

Рівняння зворотного струму насичення:

$$I_S = [I_{RS} (T_{OPT}/T_{REF})^3 * q^2 E_g / N k_B * e^{(1/T_{OPT} - 1/T_{REF})}]$$

Рівняння зворотного струму:

$$I_{RS} = I_{SC} / [e^{(q V_{OC} / k T_{OPT})} - 1]$$

Рівняння вихідної потужності:

$$P = VI$$

Де V_T – теплова напруга, В

V – робоча напруга, В

V_J – напруга на р-п переході (з'єднанні), В

V_{OC} – напруга холостого ходу (21,1 В)

I_{Ph} – фотострум як функція освітленості та температури переходу (5 А)

I_S – зворотний струм насичення діода (2×10^{-4} А)

I_{SC} – струм короткого замикання (3,8 А)

I – вихідний струм сонячного елемента, А

T_{REF} – температура довідкового (номінального) режиму роботи елемента (25 °С)

T_{OPT} – реальна температура роботи сонячного елемента, °С

R_{SH} – шунтуючий опір сонячного елемента (360,002 Ом)

R_S – послідовний опір сонячного елемента (0,18 Ом)

E_g – ширина забороненої зони

N – ідеальність діода (1 – для низького рівня інжекції, 1,36 – для сонячного елемента, 2 – для високого рівня)

k_B – стала Больцмана ($1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К)

k_i – коефіцієнт пропорційності для струму ($2,2 \times 10^{-3}$)

k_v – коефіцієнт пропорційності для напруги (73×10^{-23})

q – заряд електрона ($1,602 \times 10^{-19}$ Кл)

N_s – кількість елементів, з'єднаних послідовно

N_p – кількість елементів, з'єднаних паралельно

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

G – рівень освітленості (іrrадіація), 500 Вт/м^2

C – кількість елементів у модулі

Для визначення поведінки сонячного елемента створюється його еквівалентна електрична модель постійного струму. Ідеальний сонячний елемент може бути змодельований як джерело струму, підключене паралельно до діода. Однак на практиці жоден сонячний елемент не є абсолютно ідеальним, тому до моделі додаються невеликий послідовний опір та відповідний шунтуючий опір, які враховують втрати та відхилення від ідеальної поведінки.

Модель будують таким чином, щоб вона відповідала стандартним умовам тестування (STC), при яких значення констант відповідають наведеним вище.

Нижче представлено еквівалентну схему сонячного елемента у вигляді моделі постійного струму.

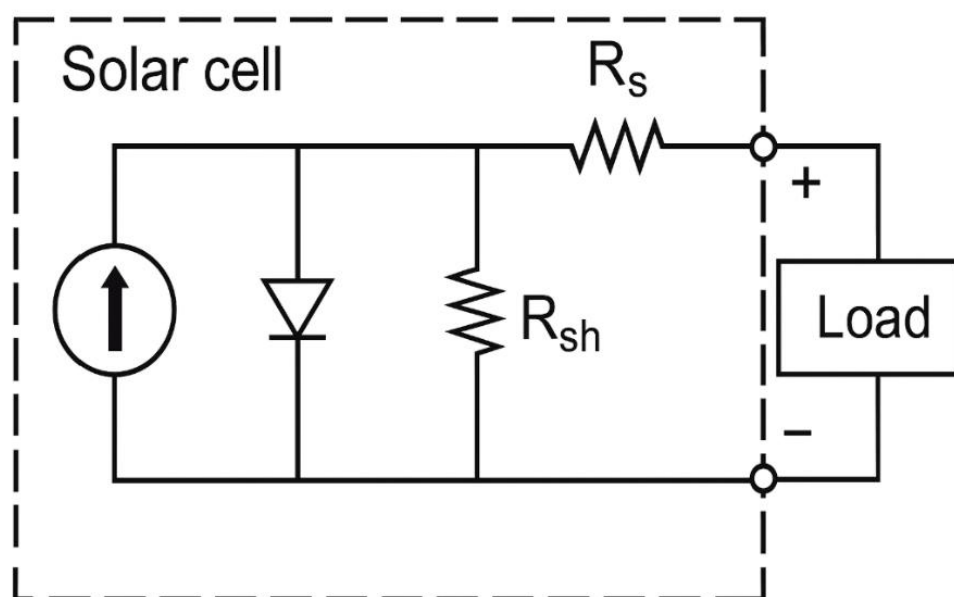


Рисунок 3.1 - Еквівалентна модель сонячного елемента для постійного струму

З аналізу еквівалентної електричної схеми видно, що вихідний струм сонячного елемента (I_L) дорівнює струму, що генерується фотострумівим джерелом (I_{pN_p}), за вирахуванням струму, який протікає через діод (I_D), та струму, що проходить через шунтуючий опір (I_{sh}), тобто:

$$I_L = I_{ph} N_p - I_D - I_{SH}$$

Кожен із цих струмів визначається напругою, прикладеною до відповідного елемента. Напруга на p-n переході (V_J) визначається як:

$$V_J = V + IR_S$$

Струм через діод описується рівнянням Шоклі:

$$I_d = N_p I_S [e^{(V/N_s) + (IR_s/N_s)/N} V_T^C - 1]$$

Згідно з законом Ома, струм, що проходить через шунтуючий опір, обчислюється як:

$$I_{SH} = V_J / R_{SH}$$

$$I_{SH} = (V + IR_S) / R_{SH}$$

Підставивши ці залежності у формулу для визначення струму навантаження, отримаємо:

$$I_L = I_{ph} N_p - N_p I_S [e^{(V/N_s) + (IR_s/N_s)/N} V_T^C - 1] - (IR_S + V) / R_{SH}$$

Таким чином, повна електрична модель дозволяє точно описати поведінку сонячного елемента залежно від зовнішньої напруги, опорів, температури та освітлення.

3.2 Моделювання в середовищі Simulink

Рівняння, описані у вступі, були використані для побудови моделі з метою отримання вольт-амперної ($I-V$) та потужнісної ($P-V$) характеристик сонячного елемента з однією діодною структурою.

Ідеалізовані характеристики сонячного модуля перевіряються за стандартних умов випробування (STC). Відповідні умови були змодельовані у середовищі Simulink, що є частиною платформи MATLAB і призначене для симуляції та аналізу багатофізичних систем.

У результаті побудовано повну функціональну підсистему, зображену нижче.

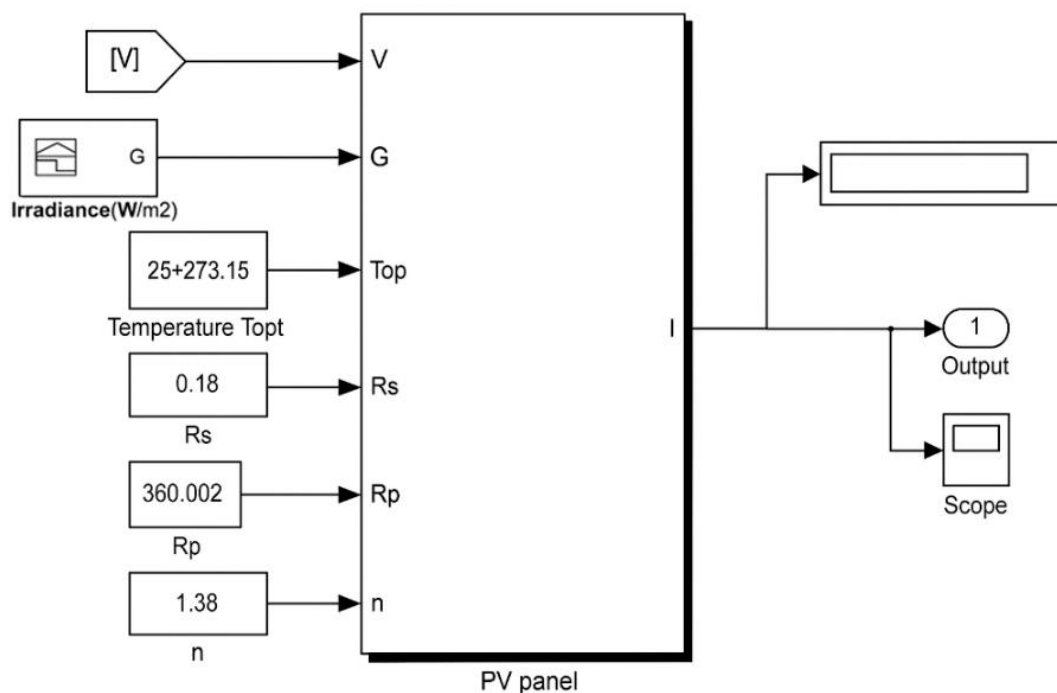


Рисунок 3.2 - Повна модель підсистеми в середовищі Simulink

Рівняння теплової напруги описує середню енергію електронів, що рухаються хаотично всередині сонячного елемента внаслідок теплового збудження при певній температурі.

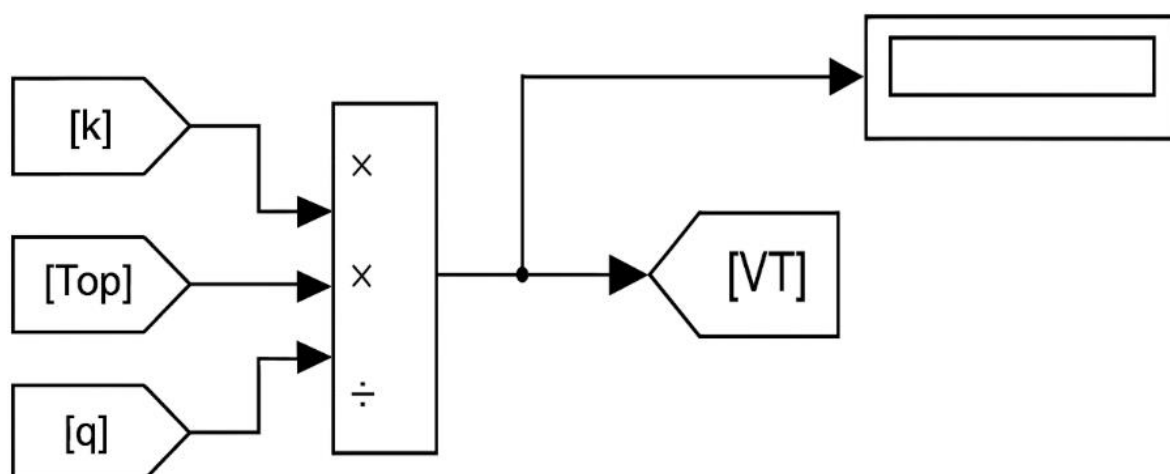


Рисунок 3.3 - Модель рівняння теплової напруги в Simulink

Рівняння діода визначає залежність струму, що протікає через діод, від прикладеної до нього напруги.

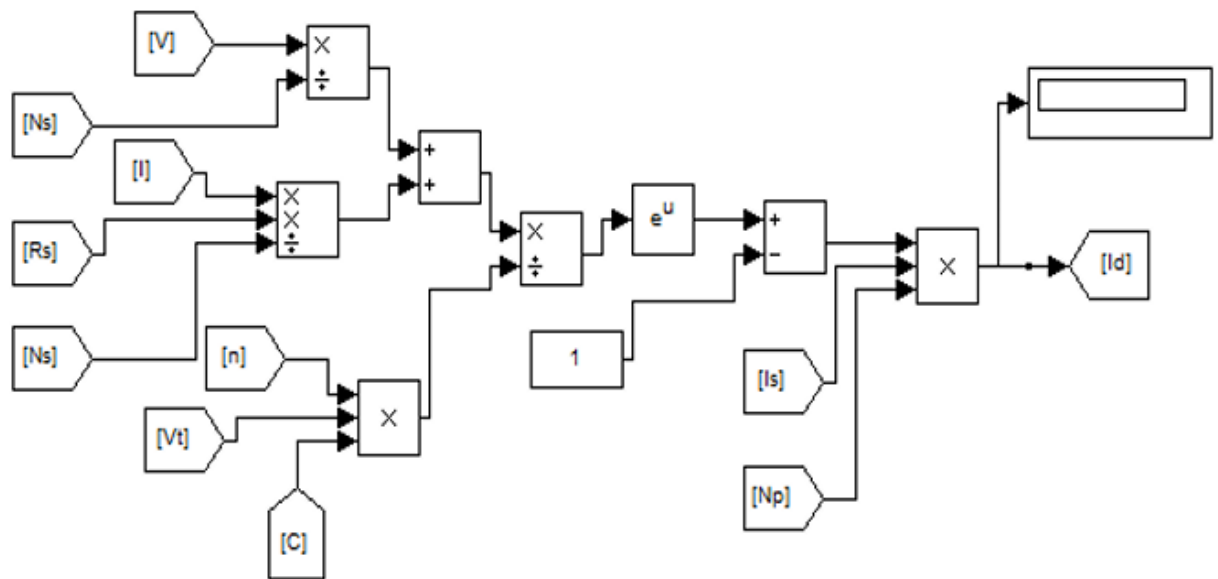


Рисунок 3.4 - Модель рівняння струму діода

Рівняння струму навантаження. Струм навантаження I_L визначається як різниця між струмом, згенерованим фотострумовим джерелом, та струмами, що протікають через діод і шунтуючий опір.

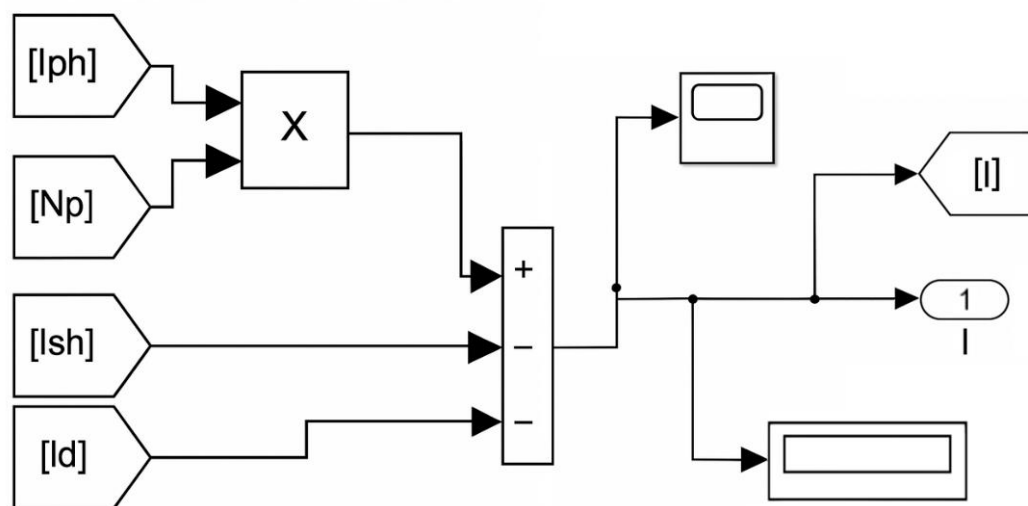


Рисунок 3.5 - Модель рівняння струму навантаження

Рівняння фотоструму. Потік сонячної радіації спричиняє виникнення струму в сонячному елементі. Оскільки теплове збудження неосновних носіїв

заряду також впливає на цей процес, зворотний струм насичення враховується у рівнянні фотоструму.

Температурна залежність фотоструму визначається шляхом порівняння реальної робочої температури сонячного елемента (T_{OPT}) з референтною температурою (T_{REF}), встановленою для калібрувального зразка.

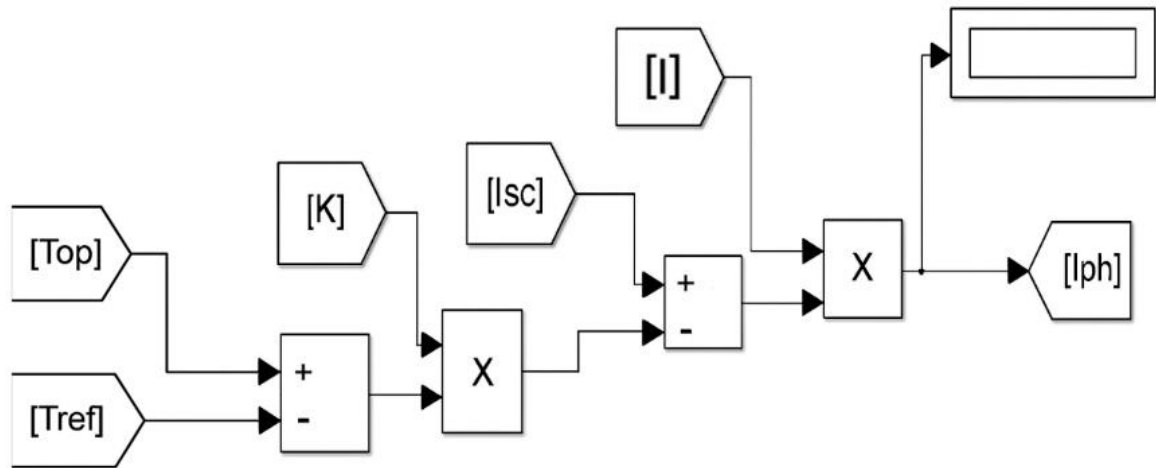


Рисунок 3.6 - Модель рівняння фотоструму

Рівняння шунтуючого струму

Для сонячного елемента, в якому значення послідовного опору (R_S) та зворотного струму (I_S) є малими, а шунтуючого опору (R_{SH}) і струму через нього (I_{SH}) — великими, рівняння струму спрощується, але водночас змінюється поведінка елемента.

Втрати в сонячному елементі виникають головним чином через технологічні дефекти, які впливають на значення послідовного та шунтуючого опорів. У результаті елемент не поводить себе ані як ідеальне джерело струму, ані як джерело напруги.

Втрати, пов'язані з послідовним опором, описуються виразом: $P_{LOSS} = IV = I^2 \cdot R_S$, тобто зростають квадратично із збільшенням фотоструму. Водночас збільшується частка струму, що проходить через шунтуючий опір, що викликає просідання вольт-амперної характеристики ($I-V$) в області, контрольованій напругою, ближче до початку координат.

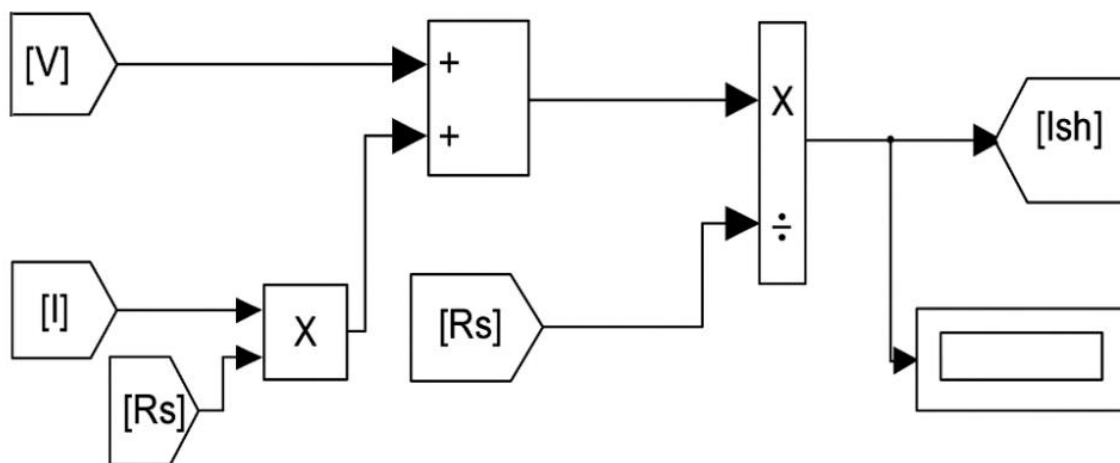


Рисунок 3.7 - Модель рівняння шунтуючого струму

Залежність зворотного струму насичення (I_{RS}) враховується відносно напруги холостого ходу (V_{OC}) та робочої температури сонячного елемента (T_{OP}). Це дає змогу оцінити можливі зміни в рівнянні зворотного струму насичення залежно від умов експлуатації.

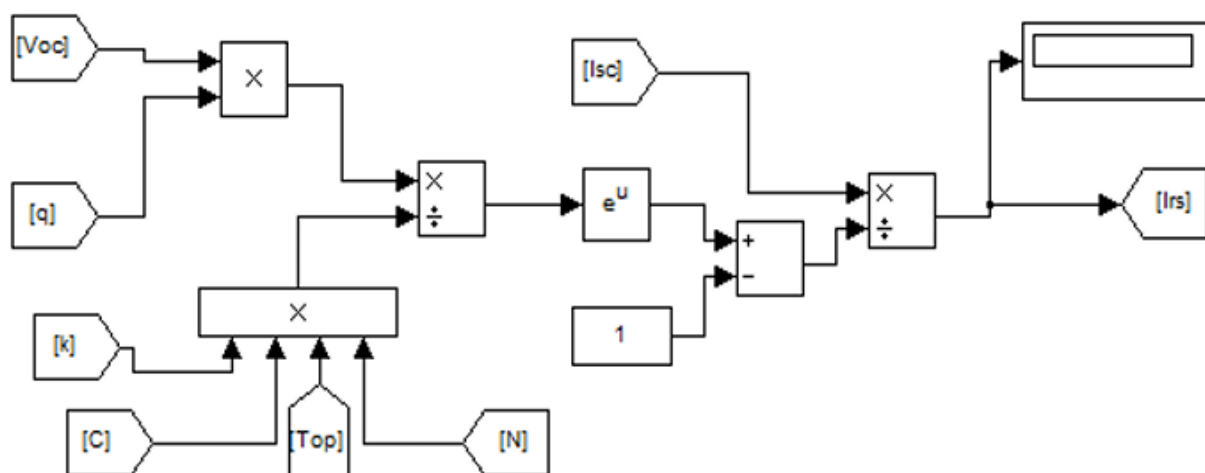


Рисунок 3.8 - Модель рівняння зворотного струму

Після з'єднання та герметизації сонячна панель використовується для генерації та постачання електроенергії. У комерційних та побутових застосуваннях вихідна потужність системи залежить від робочої вхідної напруги та струму.

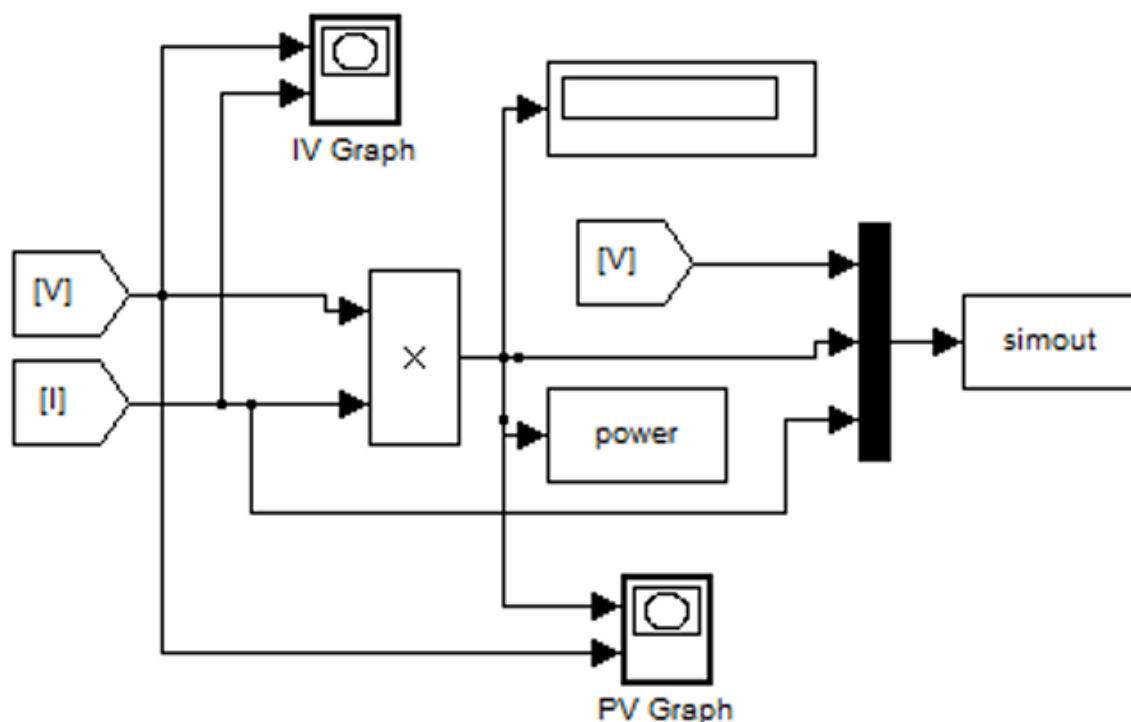


Рисунок 3.9 - Модель рівняння вихідної потужності

Графіки IV та PV характеристик демонструють максимальну вихідну потужність для одного сонячного елемента за стандартних умов тестування (STC). Проте, зі збільшенням кількості елементів у модулі, вихідна потужність зменшується.

Це пояснюється тим, що зміна інтенсивності освітлення, яка припадає на кожен окремий елемент, при додаванні нових елементів призводить до зміни параметрів сонячної батареї. Зокрема, змінюються послідовний опір R_S і шунтуючий опір R_{SH} , що впливає на форму вольт-амперної (VI) та потужнісної (PV) характеристик.

Такі зміни безпосередньо впливають на основні показники сонячної батареї — струм короткого замикання (I_{SC}), напругу холостого ходу (V_{OC}), коефіцієнт заповнення (FF) та ефективність (η), які змінюються залежно від кількості з'єднаних елементів.

Нижче наведено графіки, що ілюструють ці залежності для різної кількості сонячних елементів.

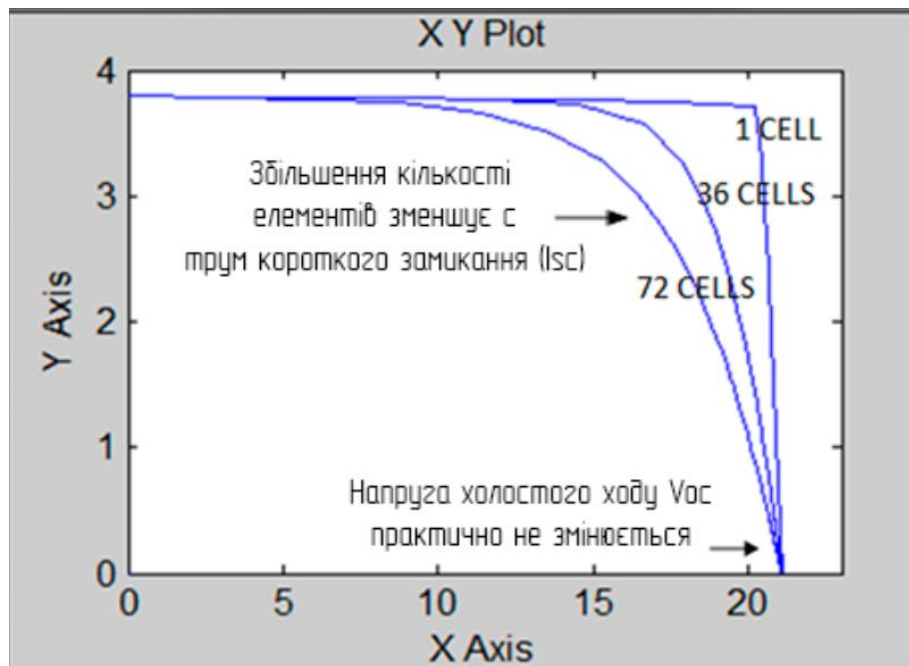


Рисунок 3.10 - Вольт-амперні характеристики для кількох сонячних елементів

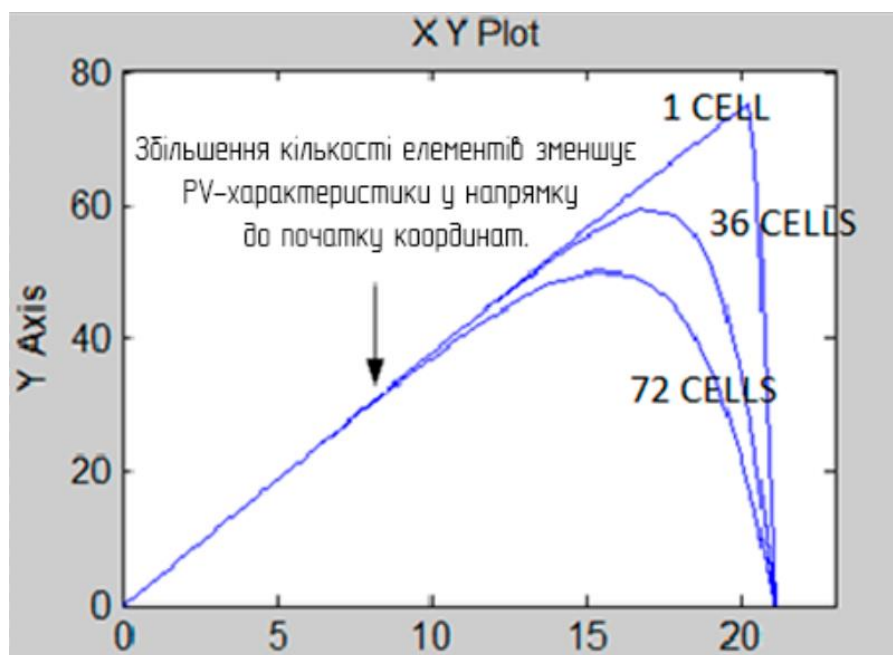


Рисунок 3.11 - Графіки потужності (PV) для кількох сонячних елементів

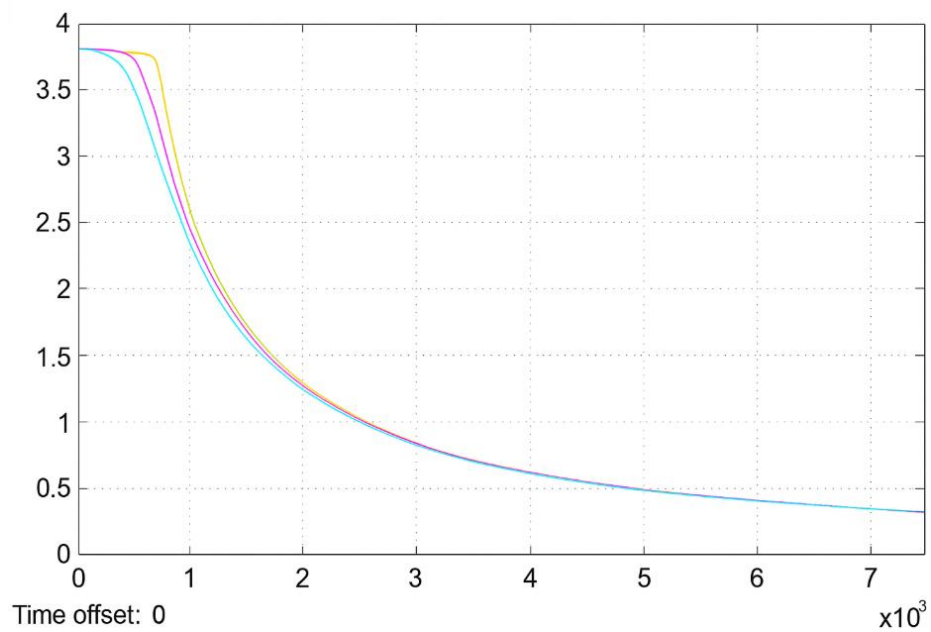


Рисунок 3.12 - Вихідний графік струму та напруги для кількох сонячних елементів (з осцилоскопа)

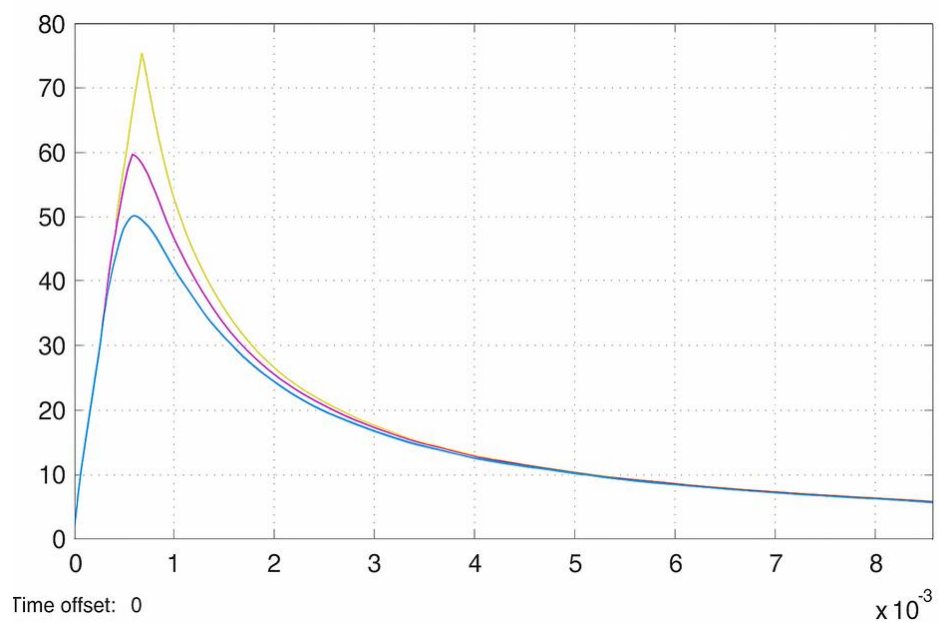


Рисунок 3.13 - Вихідний графік потужності для кількох сонячних елементів (з осцилоскопа)

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ОА11.03.000 ПЗ

Лист

59

РОЗДІЛ 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ

Автоматизація у системах з сонячними фотоелектричними (PV) панелями є ключовим елементом сучасної сонячної енергетики. В умовах змінного положення Сонця на небосхилі, нестабільних погодних умов та потреби в ефективному використанні наявної енергії, ручне управління або фіксовані установки часто є недостатньо ефективними. Тому автоматизовані системи набувають все більшого значення для забезпечення надійної та стабільної роботи сонячних електростанцій.

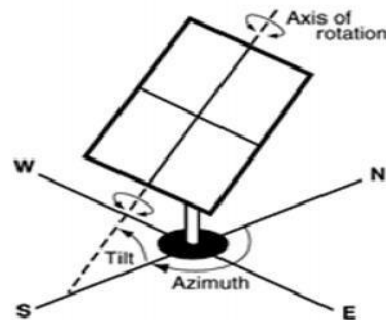
Однією з головних переваг автоматизації є максимізація енергозбору шляхом точного орієнтування панелей відносно Сонця. У фіксованих PV системах ефективність виробництва енергії змінюється впродовж дня, оскільки кут падіння сонячного випромінювання змінюється, а панель залишається нерухомою. Автоматичне стеження за Сонцем дозволяє постійно утримувати панелі у перпендикулярному положенні до сонячного проміння, що може збільшити вироблення енергії на 30–57% у порівнянні з фіксованими системами.

Ще одним важливим завданням автоматизації є оптимізація орієнтації фотоелектричних панелей упродовж усього дня та року. Оскільки положення Сонця на небосхилі постійно змінюється — як протягом доби (зі сходу на захід), так і залежно від пори року (вища або нижча траєкторія) — автоматизована система забезпечує динамічне регулювання кута нахилу панелей. Завдяки цьому панелі залишаються зорієнтованими під оптимальним кутом до сонячного випромінювання, що суттєво підвищує загальну ефективність енергозбору незалежно від географічного розташування чи погодних умов.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ					
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація			Лит.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бернацький В								
Перевір.		Хотян А.А.								
Реценз.								НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		
Н. Контр.		Кулаковський								
Затверд.		Бойченко								

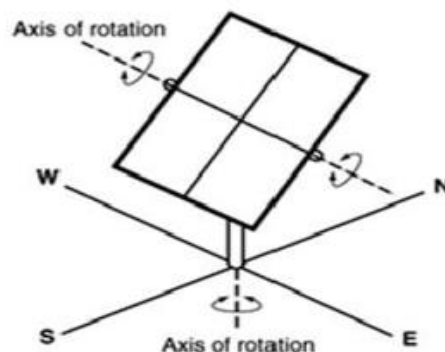
Окрім оптимального позиціонування, автоматизація дає змогу здійснювати повноцінний моніторинг і контроль роботи сонячної електростанції. Система може в реальному часі збирати дані про напругу, струм, температуру панелей, а також фіксувати інші критичні параметри. В разі виникнення несправностей або відхилень у роботі, оператори отримують сповіщення, що дозволяє швидко реагувати на проблеми. Також автоматизовані системи можуть вести історію роботи, накопичувати статистику продуктивності та надавати доступ до даних віддалено, що особливо корисно при інтеграції з IoT-рішеннями.

Таким чином, автоматизація не лише підвищує продуктивність фотоелектричних систем, а й значно спрощує їх обслуговування, покращує надійність та дозволяє ефективно керувати енергетичними процесами у режимі реального часу.



Tilted one-axis tracking system

Рисунок 4.1 - Одновісна система відстеження положення Сонця



Two-axis tracking system

Рисунок 4.2 - Двовісна система відстеження положення Сонця

Отже, автоматизація є необхідною умовою для ефективної, надійної та рентабельної роботи сонячної електростанції. Вона забезпечує не лише вищу продуктивність, але й полегшує експлуатацію та технічне обслуговування системи. З урахуванням динаміки розвитку відновлюваної енергетики, автоматизовані рішення є стандартом сучасних PV установок.

4.1 Конструкція одновісного сонячного трекера на основі мікроконтролера

Одновісні трекери мають лише один ступінь свободи, що відповідає осі обертання. Зазвичай ця вісь орієнтується вздовж істинного меридіана на північ. Проте, за наявності вдосконалених алгоритмів стеження, можливе налаштування осі в будь-якому напрямку за сторонами світу.

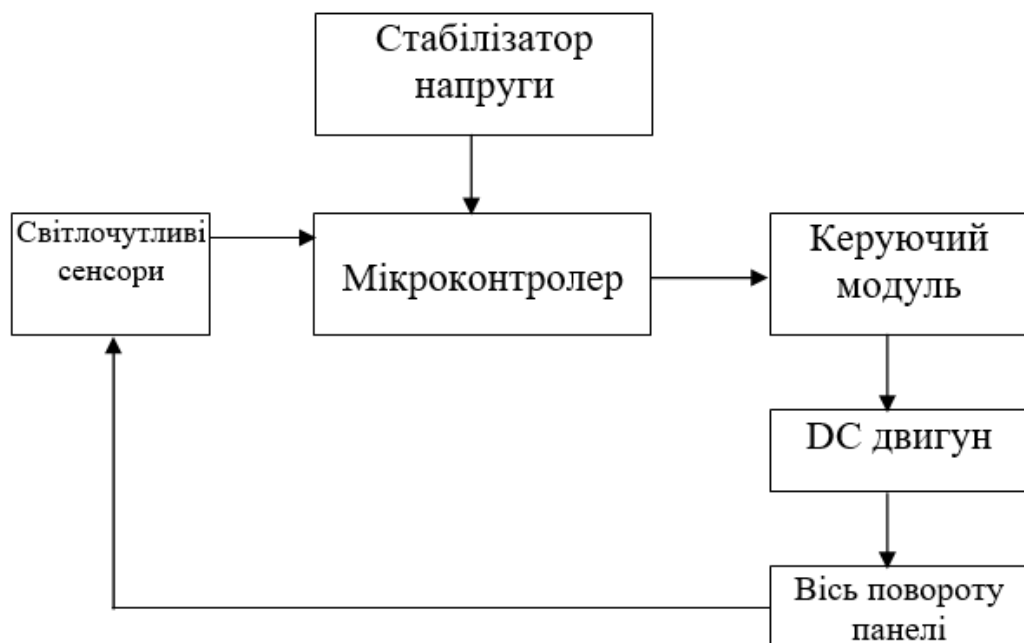


Рисунок 4.3 - Структурна схема системи автоматичного керування орієнтацією сонячної панелі

Основні складові частини системи, які забезпечують її функціонування, наведені нижче:

Таблиця 4.1 – Компоненти системи

Компонент	Маркування	Причина вибору
Мікроконтролер	ESP32	Потужний, має Wi-Fi/Bluetooth, багато GPIO, підтримка датчиків, розширення
Датчики освітлення	3 LDR	Простий варіант для порівняння освітленості в різних напрямках
Мотор	DC Worm Gear Motor 12V/24V	Для надійного обертання панелі з великою масою
Драйвер двигуна	L298N Dual H-Bridge	Працює з двигунами до 30 А, дозволяє зміну напрямку
Реле	Tianbo HJR-3FF 12V 30A	Для керування живленням двигуна при розриві ланцюга
Джерело живлення	DC-DC понижуючий модуль (LM2596)	Забезпечує стабільну 5 В/3.3 В для мікроконтролера
Панель управління	OLED-дисплей (0.96")	Для відображення статусу, кутів, рівня освітлення
Енкодер	Magnetic Rotary Encoder (AS5600)	Для контролю кута повороту панелі

ESP32 — це високопродуктивний 32-бітний мікроконтролер із вбудованими модулями бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth, розроблений компанією Espressif Systems. Він широко використовується в системах Інтернету речей (IoT), автоматизації, робототехніці та вбудованих пристроях завдяки поєднанню потужності, енергоефективності та широких функціональних можливостей.

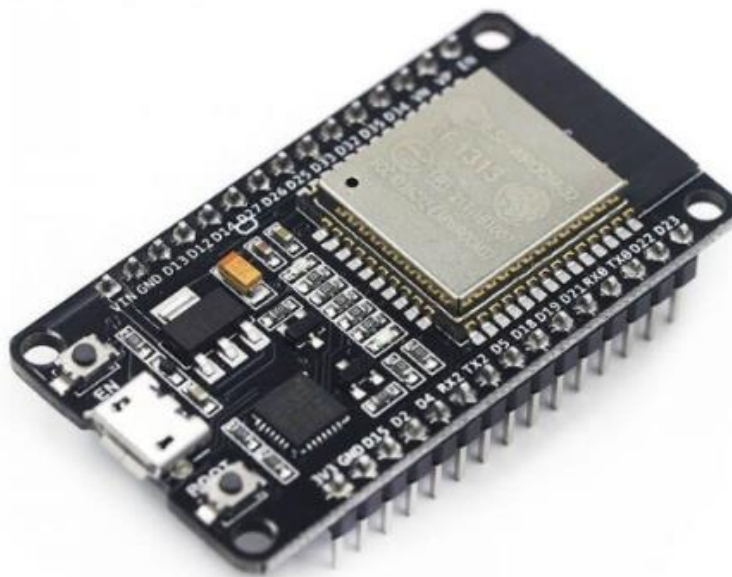


Рисунок 4.4 - Мікроконтролер ESP32 у вигляді готової плати для вбудованих систем

Технічні характеристики ESP32:

- Двоядерний процесор Tensilica Xtensa LX6 (до 240 МГц);
- Пам'ять: до 520 КБ SRAM, до 4 МБ Flash;
- Вбудований Wi-Fi (802.11 b/g/n) і Bluetooth 4.2 (BR/EDR, BLE);
- Аналогові входи (ADC): до 18 каналів;
- Цифрові входи/виходи (GPIO): до 34 пінів;
- Підтримка інтерфейсів: UART, I²C, SPI, PWM, DAC, Touch, Hall sensor;
- Напруга живлення: 3.3 В.

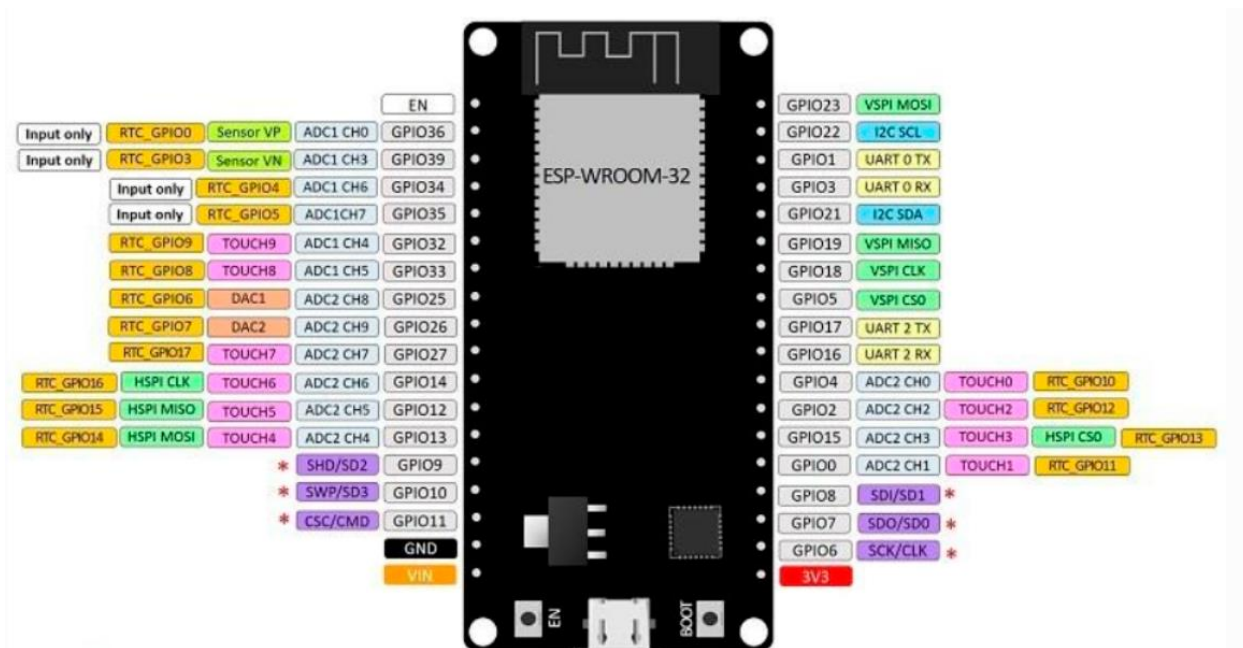


Рисунок 4.5 - Схема розташування функціональних виводів мікроконтролера ESP32

У системі автоматизованого сонячного трекера мікроконтролер виконує роль центрального обчислювального елемента, який забезпечує обробку даних та керування виконавчими механізмами. Він приймає сигнали від світлочутливих сенсорів, які визначають рівень освітлення з різних напрямків. На основі аналізу цих даних мікроконтролер приймає рішення щодо необхідності зміни орієнтації фотоелектричної панелі.

Після обробки отриманої інформації, мікроконтролер формує керуючі сигнали, які передаються на виконавчий модуль приводу. Завдяки цьому система забезпечує обертання панелі в напрямку максимальної сонячної активності. Крім того, мікроконтролер може здійснювати контроль положення панелі, моніторинг параметрів роботи та взаємодію з користувачем або зовнішніми пристроями для відображення даних чи передавання їх на віддалені сервери.

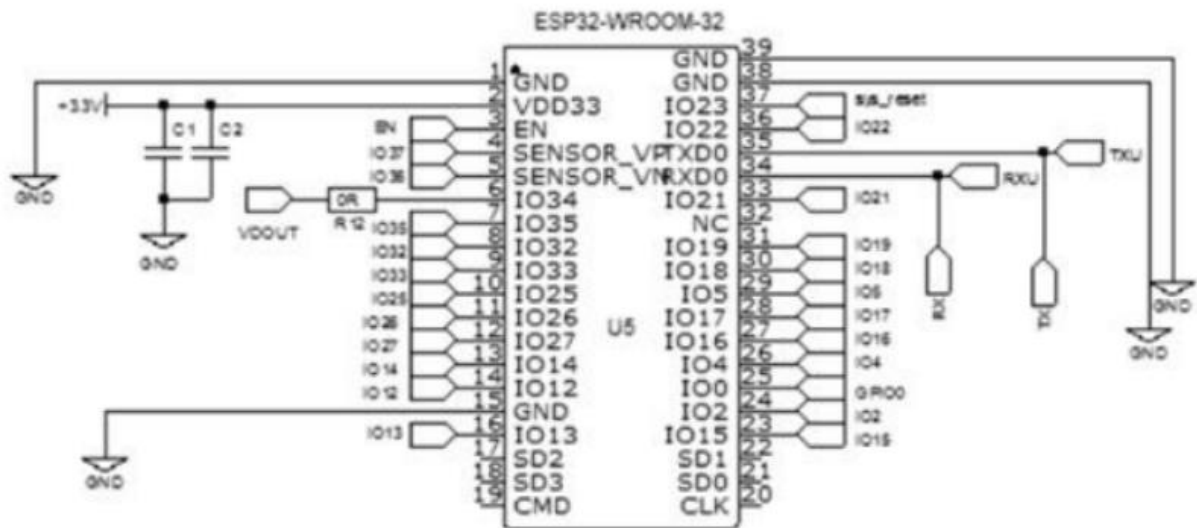


Рисунок 4.6 - Електрична схема підключення виводів модуля ESP32-WROOM-32

Таким чином, мікроконтролер об'єднує всі елементи системи в єдину функціональну структуру, забезпечуючи адаптивність, точність і автономність роботи сонячного трекера.

LDR (Light Dependent Resistor) — це фоторезистор, опір якого змінюється залежно від інтенсивності освітлення. У темряві його опір високий, а при яскравому світлі — низький. У системі сонячного трекера кілька таких сенсорів розміщуються під різними кутами, що дозволяє визначити, з якого боку світить Сонце сильніше. На основі цієї інформації мікроконтролер ухвалює рішення, в який бік обертати панель для досягнення максимальної орієнтації до джерела світла.



Рисунок 4.7 - Фоторезистор (LDR), зовнішній вигляд

Функції LDR у системі:

- Вимірює рівень освітленості з різних напрямків;
- Дозволяє виявити відхилення панелі від положення "на Сонце";
- Формує аналогові сигнали для мікроконтролера.

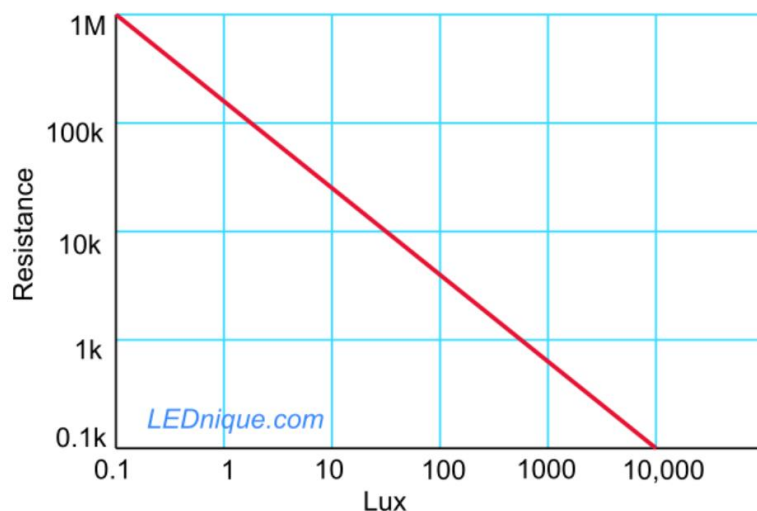


Рисунок 4.8 - Графік залежності опору фоторезистора (LDR) від рівня освітленості

DC Worm Gear Motor — це електричний двигун постійного струму, оснащений черв'ячним редуктором, який зменшує швидкість обертання та значно підвищує крутний момент. Такий тип моторів ідеально підходить для приводів, де потрібен повільний, але потужний обертальний рух, а також надійна фіксація в обраному положенні.



Рисунок 4.9 - Редукторний двигун постійного струму з черв'ячною передачею

Основні характеристики:

- Номінальна напруга: 12 В або 24 В DC;
- Швидкість обертання на виході: 10–100 об/хв;
- Крутний момент: 10–50 Н·м;
- Тип редуктора: черв'ячний, що забезпечує самогальмування.

У системі сонячного трекера редукторний двигун постійного струму забезпечує надійне обертання панелі завдяки високому крутному моменту, що дозволяє переміщувати конструкцію вагою понад 20 кг. Його повільна та стабільна робота гарантує точне позиціонування, а властивість самогальмування запобігає мимовільному поверненню панелі під дією вітру чи її власної ваги. Керування таким двигуном реалізується просто, з використанням типового Н-моста.

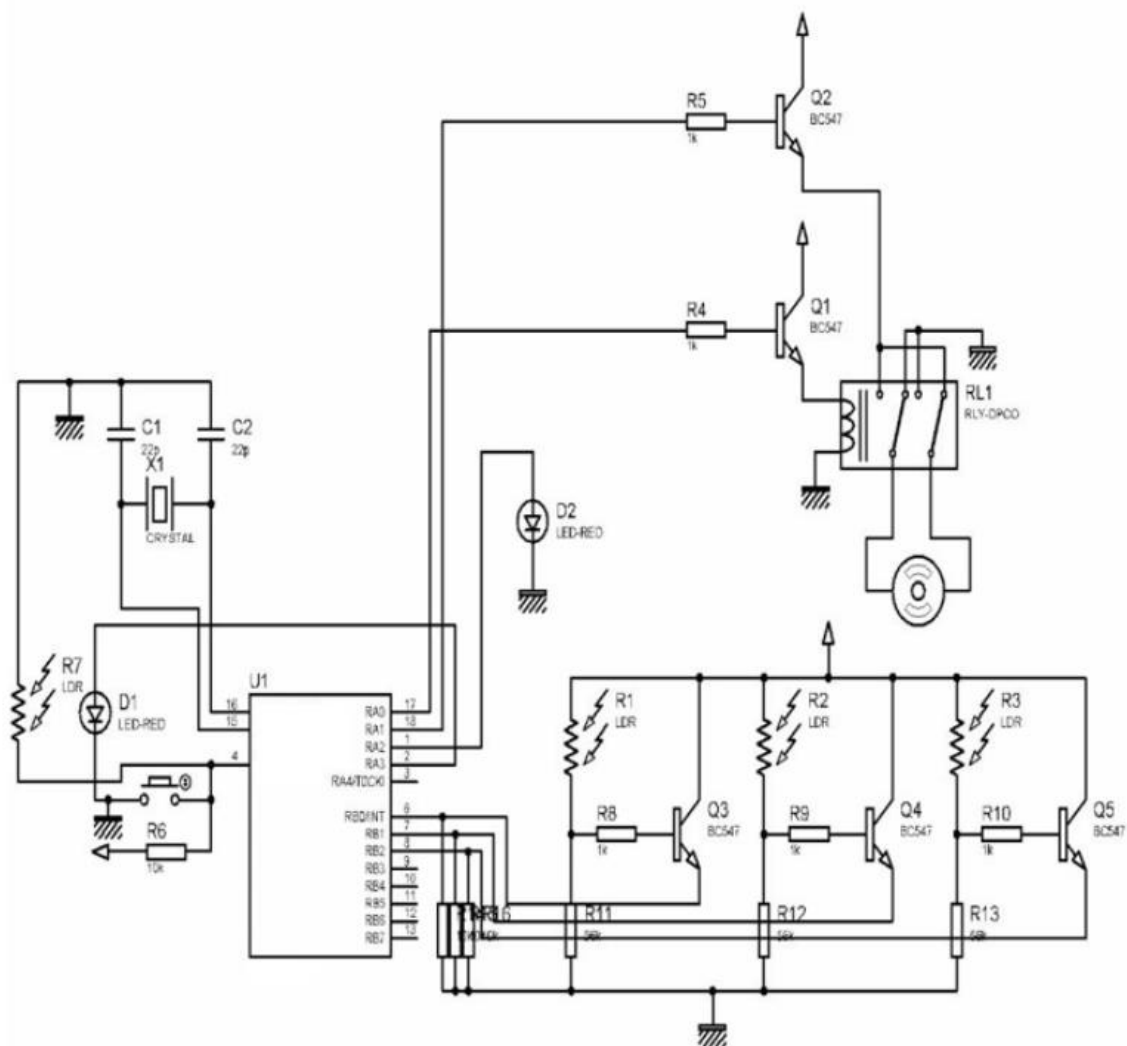


Рисунок 4.10 - Електрична принципова схема автоматизованої системи керування положенням сонячної панелі

4.2 Опис логіки керування сонячним трекером

Для ефективного перетворення сонячної енергії в електричну важливо, щоб сонячна панель постійно орієнтувалася перпендикулярно до напрямку падаючого сонячного проміння. З цією метою у даному проєкті реалізовано систему одновісного стеження за сонцем, яка автоматично коригує положення панелі на основі даних з фоторезисторів (LDR-сенсорів).

Алгоритм роботи системи описується блок-схемою, наведеною на рисунку 4.4. В основі лежить порівняння рівнів освітлення, що надходять з трьох послідовно розміщених фоторезисторів: LDR1, LDR2 та LDR3. Система починає зчитуванням показників з LDR1 і LDR2. Якщо значення з LDR2 перевищує показник LDR1, це свідчить про те, що джерело світла (сонце) змістилося на захід, і панель необхідно обернути на 80 градусів у відповідному напрямку (зі Сходу на Захід).

Після повороту система тимчасово призупиняє обробку до тих пір, поки значення з третього сенсора (LDR3) не перевищить показник LDR2. Це вказує на подальше зміщення сонця. У такому випадку знову зчитуються значення з LDR2 і LDR3, і якщо тенденція зберігається (тобто $LDR3 > LDR2$), відбувається ще один поворот на 80 градусів.

Коли умови освітлення більше не потребують обертання, спрацьовує переривання, яке зупиняє подальший рух. Після цього панель автоматично повертається у початкове положення (наприклад, вранці — у східне), де система зупиняє обробку до отримання нового сигналу про початок нового циклу освітлення.

Такий підхід дозволяє забезпечити поступове стеження за рухом сонця протягом дня, знижуючи втрати енергії та підвищуючи загальну ефективність роботи сонячної панелі.

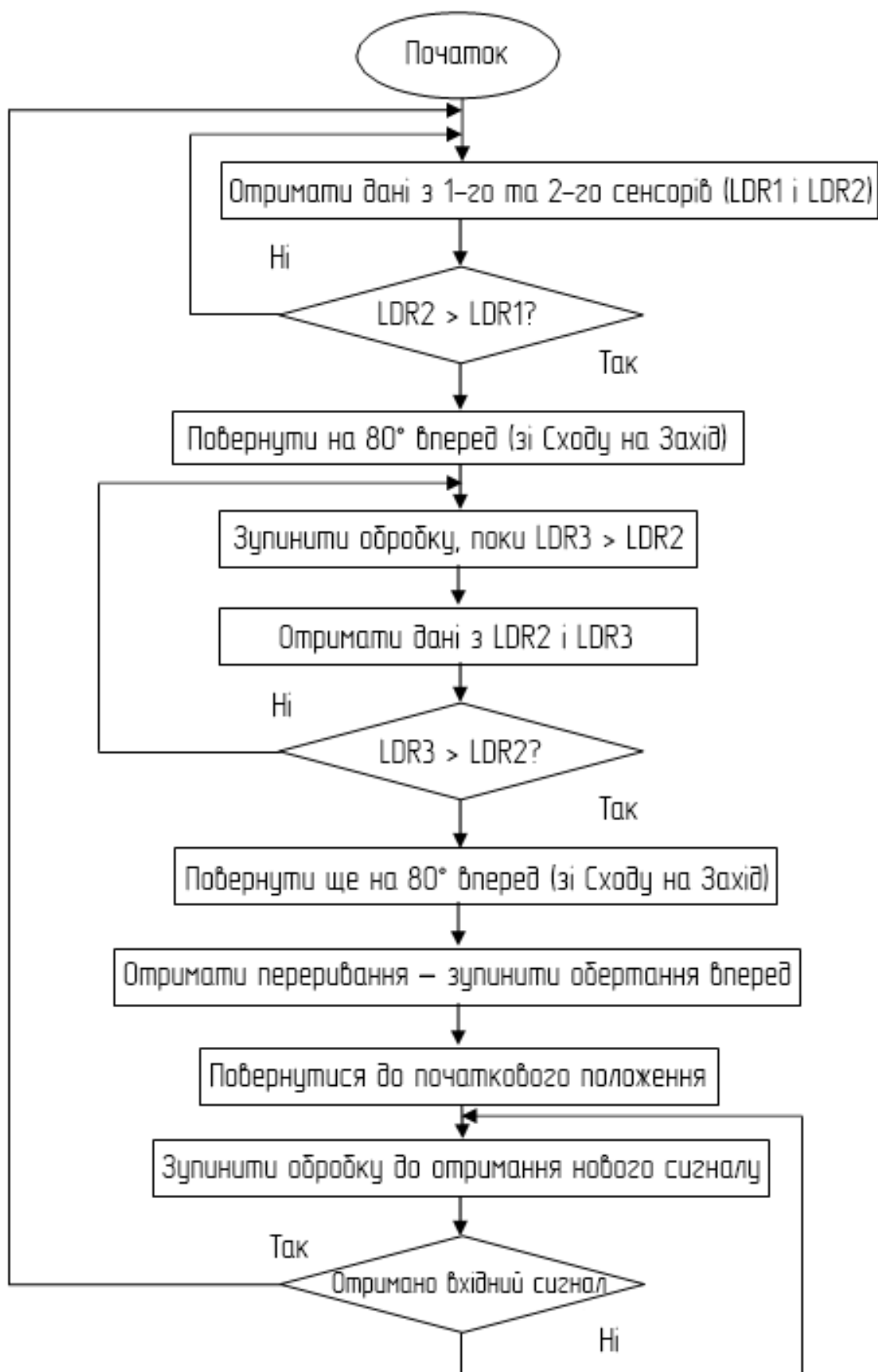


Рисунок 4.11 - Блок-схема алгоритму роботи одновісного сонячного трекера

4.3 Схема автоматизованої системи керування сонячною панеллю

На поданій схемі зображено функціональну взаємодію основних компонентів автоматизованої системи керування положенням сонячної панелі. Світлочутливі сенсори (фоторезистори LDR), розміщені зліва, по центру та справа відносно панелі, зчитують рівень освітлення в кожному напрямку. Отримані аналогові сигнали надходять до мікроконтролера, який аналізує їх, визначаючи сторону з найбільш інтенсивним сонячним випромінюванням.

На основі цієї інформації мікроконтролер формує керуючі сигнали у вигляді широтно-імпульсної модуляції (PWM), які подаються на драйвер двигуна (L298N), що реалізує обертання двигуна в одному з напрямків. У системі використовується редукторний двигун постійного струму, який забезпечує повільне та потужне переміщення сонячної панелі. Таким чином, система автоматично орієнтує панель на джерело світла, забезпечуючи максимальну ефективність енергозбору.

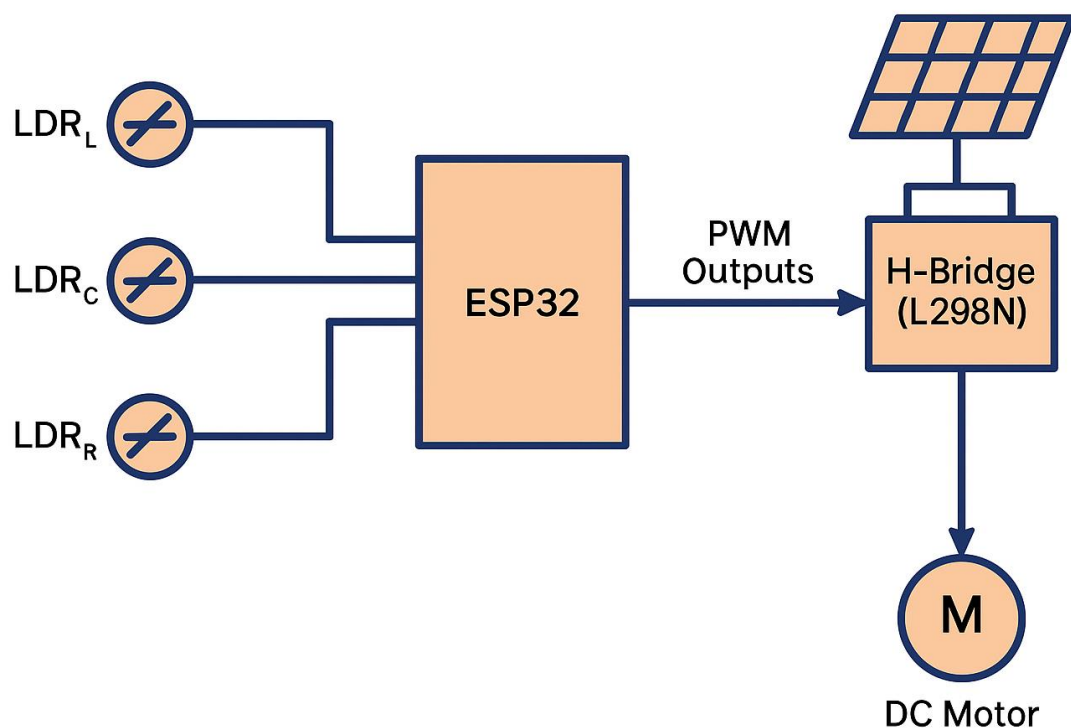


Рисунок 4. 12 - Схема автоматизованої системи керування положенням сонячної панелі

4.4 Програмна реалізація алгоритму керування

Для реалізації логіки автоматизованого керування положенням сонячної панелі було використано мікроконтролер із попередньо завантаженою програмною логікою. Розробка програмного забезпечення здійснювалась у середовищі Arduino IDE, яке забезпечує підтримку мікроконтролера ESP32, широкий вибір бібліотек та зручне налагодження.

Програма реалізує цикл, у якому зчитуються дані з фоторезисторів, обробляються та порівнюються. На основі результатів аналізу формується керуючий сигнал на H-мостовий драйвер двигуна. У разі використання енкодера відбувається контроль кута повороту, що підвищує точність позиціонування.

Основні завдання програми:

- Зчитування аналогових сигналів з LDR;
- Визначення напрямку максимального освітлення;
- Керування напрямком і швидкістю двигуна через PWM;
- Виведення даних на OLED-дисплей.

Базовий приклад коду для ESP32 (Arduino IDE):

```
// Піни LDR
const int ldrLeft = 34;
const int ldrCenter = 35;
const int ldrRight = 32;
// Піни двигуна
const int in1 = 25;
const int in2 = 26;
const int enA = 27; // PWM
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(enA, OUTPUT);
}

void loop() {
  int valL = analogRead(ldrLeft);
  int valC = analogRead(ldrCenter);
```

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						72
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

```

int valR = analogRead(ldrRight);
// Попіг чутливості
int threshold = 100;
if (valL - valR > threshold) {
    // Повернути вліво
    digitalWrite(in1, HIGH);
    digitalWrite(in2, LOW);
    analogWrite(enA, 150);
} else if (valR - valL > threshold) {
    // Повернути вправо
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, HIGH);
    analogWrite(enA, 150);
} else {
    // Стоп
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, LOW);
}
delay(1000); // затримка між вимірюваннями
}

```

Алгоритм реалізовано простою мовою програмування C++, що дає змогу легко адаптувати систему під інші задачі.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						73
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальна характеристика об'єкта та мета розділу

Цей розділ присвячений розгляду комплексу заходів з охорони праці, які необхідно впроваджувати під час проектування, монтажу, експлуатації та обслуговування систем автоматизованого позиціонування сонячних панелей. Сонячні електростанції, які оснащені електромеханічними приводами для відстеження положення сонця, стають все більш поширеним джерелом енергії. Їх ефективність залежить не лише від технічних характеристик обладнання, але й від належної організації безпечних умов праці на всіх етапах життєвого циклу установки.

Метою розділу є ідентифікація потенційно небезпечних виробничих чинників, аналіз умов праці, визначення засобів індивідуального та колективного захисту, опис вимог до електробезпеки та пожежної безпеки, а також формування рекомендацій щодо дотримання нормативно-правових актів України у сфері охорони праці. Ці заходи повинні не лише забезпечити збереження здоров'я та життя працівників, а й сприяти ефективності та стабільності функціонування системи.

Особливу увагу у даному розділі приділено робочим місцям з підвищеним ризиком: зонам електромонтажу, висотним роботам, обслуговуванню елементів з рухомими частинами, що потребують ретельного контролю та професійної підготовки персоналу. Також розглянуто роль системи управління охороною праці (СУОП) у запобіганні нещасним випадкам і професійним захворюванням.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ					
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці			Лит.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бернацький В								
Перевір.		Мітюк Л.О.								
Реценз.										
Н. Контр.		Кулаковський						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-11		
Затверд.		Бойченко								

5.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Для мінімізації впливу шкідливих виробничих чинників необхідно дотримуватись чітко визначених правил безпечної поведінки та оснащення.

Працівники повинні перебувати в повному комплекті засобів індивідуального захисту: каска, захисні окуляри, респіратор або напівмаска (при роботі з хімічними речовинами), комбінезон зі світловідбиваючими елементами, діелектричні рукавиці, страхувальний пояс (при роботах на висоті), спеціальне взуття з нековзкою підошвою. Роботи дозволяється проводити лише у тверезому стані, після проходження інструктажу і за відсутності протипоказань за результатами медогляду.

Шум і вібрація, що створюються електромеханічними приводами та електроінструментом, можуть призвести до втоми, зниження концентрації уваги та порушення слуху. Тривала робота на відкритому повітрі може викликати теплові або сонячні удари, особливо у літній період. Підвищене психофізіологічне навантаження спостерігається при роботах на висоті, в незручному положенні тіла або при значному нервово-емоційному напруженні, наприклад, у випадку нестабільної опори або обмеженого простору.

До хімічних чинників належать аерозолі, пил, випари клеїв і герметиків, які використовуються при герметизації кріплень та з'єднань. При недостатній вентиляції в замкнених просторах можливе накопичення концентрацій, що перевищують гранично допустимі норми. Аналіз цих факторів дає змогу визначити потребу у відповідних засобах захисту, зміні технологічних підходів і обмеженні тривалості впливу небезпек.

Перед початком робіт працівник повинен перевірити справність інструментів, засобів захисту та ознайомитися з умовами роботи. Під час виконання завдань необхідно дотримуватися правил безпеки, не залишати інструменти на висоті без фіксації, працювати лише з рівної, стійкої поверхні, використовувати тимчасові огорожі або попереджувальні знаки в зоні

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		75

небезпеки. Усі дії повинні виконуватись згідно з інструкціями, технологічною картою та під наглядом відповідальної особи.

5.3 Комплекс заходів захисту працівників

Для забезпечення належного рівня безпеки працівників при монтажі та експлуатації автоматизованих систем позиціонування сонячних панелей впроваджується низка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та соціально-психологічних заходів. Організаційні заходи передбачають чітке планування виробничого процесу, розробку та впровадження інструкцій з охорони праці, регулярне проведення інструктажів та навчання персоналу, складання графіків відпочинку.

До технічних заходів належать використання сертифікованого обладнання з подвійною ізоляцією, автоматичні вимикачі, захисні відключення (ПЗВ), а також організація заземлення всіх металевих конструкцій. Рухомі частини механізмів мають бути огорожені, а їх справність перевіряється перед кожним використанням.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають підтримання належного мікроклімату на робочому місці, доступ до питної води, обладнання побутових приміщень для відпочинку, душових, туалетів. В умовах високої температури забезпечується тінь, зволоження повітря, скорочення тривалості безперервної роботи.

Соціально-психологічні заходи включають зниження монотонності праці шляхом чергування видів діяльності, підтримання позитивного морально-психологічного клімату в колективі, створення можливостей для зворотного зв'язку та обговорення ризиків з керівництвом.

Також впроваджується система ідентифікації та управління ризиками. На основі аналізу умов праці розробляються профілактичні заходи, що мінімізують ймовірність виникнення небезпечних ситуацій. Усі дії координуються відповідальною службою охорони праці, яка веде документацію, здійснює внутрішній контроль і проводить періодичну оцінку ефективності вжитих заходів.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		76

5.4 Умови праці

Умови праці під час встановлення та експлуатації систем автоматичного позиціонування сонячних панелей значною мірою залежать від зовнішнього середовища, оскільки переважна більшість робіт виконується на відкритому повітрі. Мікроклімат на робочому місці повинен відповідати нормативним вимогам, зокрема за температурним режимом (від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$), відотною вологістю повітря (40–60%) і швидкістю його руху (до 0,3 м/с). У разі несприятливих погодних умов (дощ, вітер понад 10 м/с, ожеледиця) виконання робіт припиняється або переноситься до стабілізації ситуації.

Особливу увагу приділяють організації захисту працівників від впливу ультрафіолетового випромінювання та перегріву у літній період, що досягається шляхом встановлення тентів, обладнання зон відпочинку з тінню, забезпечення працівників питною водою. У холодний період організовується доступ до приміщень з обігрівом, видається зимовий спецодяг та взуття, обмежується тривалість перебування на відкритому повітрі.

Рівень шуму, що створюється під час роботи інструментів, не повинен перевищувати 75 дБА. У разі перевищення допустимого рівня шуму обов'язкове використання протишумових навушників або вкладишів. Допустимі рівні вібрації також контролюються — вона не повинна перевищувати $2,5 \text{ м/с}^2$.

Освітленість робочої зони має бути не нижче 200 лк, що забезпечується природним або штучним освітленням залежно від виду виконуваних робіт, та відповідно від фону, контрасту, та найменшого об'єкта розрізнення.

Важливим елементом є наявність побутових приміщень, засобів особистої гігієни, доступу до аптечок першої допомоги. Під час організації робочого процесу враховуються психофізіологічні аспекти — періодичність відпочинку, зручність робочої пози, ротація працівників на завданнях різної складності. Усе це сприяє зниженню ризику виникнення професійних захворювань і підвищенню загального рівня безпеки праці. Для забезпечення належного рівня безпеки працівників при монтажі та експлуатації

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						77
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизованих систем позиціонування сонячних панелей впроваджується низка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та соціально-психологічних заходів. Організаційні заходи передбачають чітке планування виробничого процесу, розробку та впровадження інструкцій з охорони праці, регулярне проведення інструктажів та навчання персоналу, складання графіків відпочинку.

До технічних заходів належать використання сертифікованого обладнання з подвійною ізоляцією, автоматичні вимикачі, захисні відключення (ПЗВ), а також організація заземлення всіх металевих конструкцій. Рухомі частини механізмів мають бути огорожені, а їх справність перевіряється перед кожним використанням.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають підтримання належного мікроклімату на робочому місці, доступ до питної води, обладнання побутових приміщень для відпочинку, душових, туалетів. В умовах високої температури забезпечується тінь, зволоження повітря, скорочення тривалості безперервної роботи.

Соціально-психологічні заходи включають зниження монотонності праці шляхом чергування видів діяльності, підтримання позитивного морально-психологічного клімату в колективі, створення можливостей для зворотного зв'язку та обговорення ризиків з керівництвом.

Також впроваджується система ідентифікації та управління ризиками. На основі аналізу умов праці розробляються профілактичні заходи, що мінімізують ймовірність виникнення небезпечних ситуацій. Усі дії координуються відповідальною службою охорони праці, яка веде документацію, здійснює внутрішній контроль і проводить періодичну оцінку ефективності вжитих заходів.

5.5 Система управління охороною праці (СУОП), навчання, медогляди

Ефективна система управління охороною праці (СУОП) є основним інструментом забезпечення безпеки та збереження здоров'я працівників на підприємстві. Вона включає комплекс заходів з планування, організації,

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						78
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

контролю та вдосконалення процесів, пов'язаних з охороною праці. Основним завданням СУОП є виявлення потенційних ризиків, оцінка їх рівня, впровадження заходів з мінімізації та профілактики виробничого травматизму і професійних захворювань.

Кожен працівник перед початком виконання своїх обов'язків проходить вступний інструктаж з охорони праці, який включає загальні положення безпеки, ознайомлення з потенційними ризиками, правилами користування ЗІЗ, порядок дій у разі нещасного випадку. Далі проводиться первинний інструктаж на робочому місці, який закріплюється в журналі обліку інструктажів. Повторні інструктажі проводяться не рідше одного разу на шість місяців, а для робіт підвищеної небезпеки — щоквартально.

Медичні огляди є обов'язковими для працівників, які виконують роботи в шкідливих або небезпечних умовах, а також для осіб, що виконують роботи на висоті, з електроустановками, піддаються дії пилу, шуму або хімічних речовин. Періодичність медоглядів встановлюється згідно з нормативними документами та рекомендаціями МОЗ України. Працівники, що не пройшли обов'язковий медогляд, до роботи не допускаються.

СУОП також передбачає проведення навчань, тренувань з евакуації, навчання надання першої медичної допомоги. Ведеться документація про результати аудитів з охорони праці, нещасних випадків, перевірок стану ЗІЗ та інструктажів. Систематичний аналіз отриманих даних дозволяє удосконалювати підходи до організації безпеки та вчасно реагувати на зміни в умовах праці. Умови праці під час встановлення та експлуатації систем автоматичного позиціонування сонячних панелей значною мірою залежать від зовнішнього середовища, оскільки переважна більшість робіт виконується на відкритому повітрі. Мікроклімат на робочому місці повинен відповідати нормативним вимогам, зокрема за температурним режимом (від +15°C до +30°C), відносною вологістю повітря (40–60%) і швидкістю його руху (до 0,3 м/с). У разі несприятливих погодних умов (дощ, вітер понад 10 м/с,

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						79
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

ожеледиця) виконання робіт припиняється або переноситься до стабілізації ситуації.

5.6 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) є невід’ємною складовою системи безпеки праці під час робіт із монтажу, експлуатації та обслуговування електромеханічного обладнання сонячних панелей. Вони дозволяють мінімізувати ризики, пов’язані з ураженням електричним струмом, падінням з висоти, впливом пилу, шуму, агресивних середовищ та механічних травм.

Основні категорії ЗІЗ, які використовуються в цій сфері:

- головні убори: захисна каска з ременем фіксації;
- захист органів зору: захисні окуляри або щитки, особливо при роботі з інструментом або поблизу джерел випромінювання;
- захист органів дихання: респіратори або фільтрувальні напівмаски при роботі з пилом, парами клеїв і герметиків;
- захисний одяг: спеціальний комбінезон або костюм зі світловідбивачами;
- взуття: діелектричне, з нековзною підошвою, з металевими вставками в носках;
- рукавиці: діелектричні або механічні, в залежності від виду робіт;
- страхувальні системи: пояси, канати, амортизатори, карабіни — для робіт на висоті.

Всі ЗІЗ мають відповідати державним стандартам України (ДСТУ EN, ISO) і проходити перевірку стану не рідше одного разу на півроку. Їх зберігання організовується у спеціально обладнаних приміщеннях або шафах. Кожен працівник зобов’язаний знати правила користування ЗІЗ, вміти швидко їх одягати/знімати, а також повідомляти відповідального за охорону праці у випадку виявлення дефектів.

Правильне та своєчасне використання ЗІЗ не лише підвищує особисту безпеку працівників, а й знижує кількість виробничих травм, підвищує загальну культуру безпеки та відповідальність персоналу за власне здоров'я.

5.7 Охорона праці жінок, осіб з інвалідністю та неповнолітніх

Охорона праці осіб, які потребують особливих умов праці — жінок, людей з інвалідністю та неповнолітніх — є важливим елементом кадрової політики підприємства і має на меті забезпечення рівних прав та безпечних умов праці.

Жінки, особливо у період вагітності або материнства, не повинні залучатися до робіт з підвищеною небезпекою, таких як монтаж сонячних панелей на висоті чи роботи з електроустановками. Їм рекомендується працювати у відділах, що не пов'язані з фізичними чи небезпечними роботами — зокрема, у бухгалтерії, кадровій службі, плановому чи адміністративному підрозділі. У випадку вагітності роботодавець зобов'язаний запропонувати полегшені умови праці або тимчасове переведення на іншу посаду без зменшення заробітної плати.

Для осіб з інвалідністю створюються індивідуально адаптовані робочі місця згідно з висновками експертної команди оцінювання повсякденного функціонування особи. Найчастіше це роботи в офісному або диспетчерському середовищі, де фізичне навантаження мінімальне, а умови відповідають функціональним можливостям працівника.

Неповнолітні допускаються до роботи лише після медичного огляду та інструктажу з охорони праці. Вони не можуть виконувати важкі, підземні або небезпечні роботи, а тривалість їхнього робочого дня скорочується відповідно до вікових норм.

Забезпечення умов праці для цих категорій працівників відповідно до законодавства України сприяє формуванню соціально відповідального, безпечного та рівноправного середовища на підприємстві.

5.8 Електробезпека

Електробезпека є критично важливим елементом охорони праці під час роботи з автоматизованими системами позиціонування сонячних панелей. Джерела електроенергії в таких системах, особливо інвертори та щитове обладнання, становлять серйозну загрозу ураження електричним струмом, що може призвести до травм або загибелі.

Працівники повинні мати відповідну групу допуску з електробезпеки (не нижче II групи для обслуговуючого персоналу та III — для електромонтерів). Усі роботи виконуються згідно з «Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (НПАОП 40.1-1.21-98). Перед початком робіт проводиться обов'язкове зняття напруги, встановлення заземлення, перевірка відсутності фази та виконання розпоряджень відповідального за електробезпеку.

Для роботи з електроустановками використовуються спеціальні ЗІЗ: діелектричні рукавиці, калоші, килимки, ізолюючі інструменти, покажчики напруги. Контроль справності пристроїв здійснюється щоденно перед використанням.

Забороняється використання саморобних або пошкоджених кабелів, підключення обладнання без відповідного захисту, робота у вологому середовищі без спеціальних засобів. Усі металеві частини, що не перебувають під напругою, повинні бути надійно заземлені. Для уникнення коротких замикань та пожежі встановлюються автоматичні вимикачі, реле напруги та пристрої захисного відключення (ПЗВ).

Навчання з електробезпеки проводиться щорічно, з обов'язковою перевіркою знань та фіксацією у відповідному журналі. Відповідальна особа здійснює постійний контроль за дотриманням правил та веде документацію щодо стану електробезпеки на об'єкті.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		82

5.9 Пожежна безпека

Пожежна безпека при встановленні та обслуговуванні автоматизованих систем сонячних панелей є надзвичайно важливою складовою загальної системи охорони праці. Електрообладнання, що використовується в таких системах (інвертори, трансформатори, акумулятори), здатне спричинити коротке замикання або перегрів, що в поєднанні з горючими матеріалами може призвести до займання.

Усі компоненти електричних мереж мають бути захищені автоматичними вимикачами, реле контролю струму та напруги, а також засобами заземлення. Встановлення електричних щитів повинно виконуватися на негорючих основах відповідно до вимог ДБН В.2.5-23:2010 та нормативних актів з пожежної безпеки, затвердженими ДСНС та Мінекономіки.

Приміщення, де розміщуються елементи системи (особливо акумуляторні батареї), повинні мати системи вентиляції, датчики диму та температури, а також бути обладнані вогнегасниками. Мінімально рекомендовано встановлювати порошкові та вуглекислотні вогнегасники класу не нижче 5А/21В. На відкритих територіях слід облаштувати пожежні щити із засобами ручного пожежогасіння.

Всі працівники повинні пройти первинний інструктаж з пожежної безпеки, мати уявлення про правила евакуації, розміщення протипожежного інвентарю, а також порядок дій при виникненні займання. Плани евакуації мають бути вивішені на видимих місцях, а проходи до засобів гасіння — вільними.

Заборонено палити на території монтажних ділянок, залишати неперевірене обладнання під напругою або експлуатувати несправні прилади. Періодично здійснюються перевірки стану пожежної безпеки відповідно до графіка внутрішнього контролю. При виявленні порушень негайно вживаються коригувальні заходи.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						83
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

5.10 Роботи з підвищеною небезпекою (на висоті)

Роботи на висоті вважаються роботами з підвищеною небезпекою та регламентуються відповідними нормативними документами, зокрема НПАОП 0.00-1.15-07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті». У межах проектування, монтажу та обслуговування сонячних панелей такі роботи здійснюються на висоті понад 1,3 м від рівня землі або покриття.

До виконання висотних робіт допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, інструктаж з техніки безпеки, медичний огляд та мають посвідчення на право виконання робіт підвищеної небезпеки. Усі роботи виконуються за нарядом-допуском, під наглядом відповідальної особи, з обов'язковим застосуванням страхувальних систем.

Засобами індивідуального захисту при роботі на висоті є: запобіжний пояс (типу ПБ або ПЛ), страхувальна прив'язь, карабіни, стропа, каска, взуття з нековзною підошвою. Риштування, драбини, підмости повинні бути справними, мати інвентаризаційний номер, а їх надійність перевіряється перед кожним використанням. Заборонено працювати на висоті в умовах опадів, сильного вітру (понад 10 м/с), при ожеледиці або у нічний час без належного освітлення.

Організація безпечної роботи передбачає наявність колективних засобів захисту: огорожень, сигнальних знаків, сіток або уловлюючих пристроїв. На території ведення робіт забороняється перебування сторонніх осіб. Робоча зона повинна бути чітко окреслена та контрольована. Особлива увага приділяється комунікації між членами бригади, використанню радіозв'язку або сигнальних жестів у разі поганої видимості або гучного фону.

Дотримання правил безпеки при висотних роботах суттєво знижує ризик падінь, травматизму та гарантує ефективне функціонування систем сонячної енергетики без шкоди для працівників.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						84
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

5.11 Розслідування нещасних випадків

У разі виникнення нещасного випадку на підприємстві необхідно дотримуватись чітко визначеного алгоритму дій відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №337 від 17.04.2019 «Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві». Першочергово забезпечується надання першої медичної допомоги потерпілому та виклик швидкої допомоги, у разі потреби — евакуація до медичного закладу.

Місце події має бути збережене у первісному вигляді до прибуття комісії з розслідування, за винятком випадків, коли існує загроза для життя інших працівників або подальше пошкодження обладнання. Відповідальна особа повідомляє про подію керівництву підприємства, органам Держпраці, пенсійному фонду України та іншим уповноваженим структурам.

Наказом керівника створюється комісія, яка проводить службове розслідування протягом 5 робочих днів (у випадку тяжких або смертельних випадків — до 15 днів). У процесі розслідування фіксуються пояснення свідків, технічна документація, результати огляду місця події, інструктажі, протоколи обстежень. За результатами роботи складається акт за формою Н-1/П (при нещасному випадку) або Н-5 (при аварії).

Комісія аналізує причини інциденту, виявляє порушення нормативів, пропонує заходи щодо усунення недоліків та запобігання подібним випадкам у майбутньому. Важливо, щоб висновки розслідування стали підставою для коригування інструкцій, проведення додаткових навчань і посилення контролю. Усі документи зберігаються на підприємстві не менше 45 років.

5.12 Висновки до розділу 5

В розділі охорони праці в дипломному проєкті розглянув ключові аспекти забезпечення безпечних умов праці при проєктуванні, монтажі та експлуатації електромеханічного обладнання для автоматизованого позиціонування сонячних панелей. Проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори, розроблено комплекс заходів із захисту працівників, описано умови

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						85
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

праці, вимоги до електро- та пожежної безпеки, а також порядок дій при нещасних випадках.

Запропоновані заходи відповідають чинному законодавству України та спрямовані на запобігання виробничому травматизму, підвищення культури безпеки, збереження здоров'я працівників і підвищення ефективності роботи об'єкта. Застосування засобів індивідуального захисту, навчання персоналу, впровадження системи управління охороною праці та контроль за дотриманням нормативних вимог дозволяють створити безпечне виробниче середовище.

Таким чином, інтеграція питань охорони праці у всі етапи життєвого циклу обладнання не лише обов'язкова з правової точки зору, а й необхідна для стабільної роботи та стійкого розвитку енергетичних систем майбутнього.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		86

ВИСНОВОКИ

У дипломному проєкті було комплексно розглянуто питання підвищення енергоефективності та надійності електропостачання лікарні шляхом впровадження системи сонячної генерації з автоматизованим керуванням положенням панелей.

1. У першому розділі проведено аналіз доцільності використання сонячної енергії як резервного та частково основного джерела живлення для медичного закладу. Було виконано розрахунок необхідного виробітку електроенергії, що забезпечить підтримку критично важливих навантажень лікарні у випадку зникнення основного живлення.

2. У розділі, присвяченому електропостачанню, розроблено проєкт системи енергозабезпечення лікарні з урахуванням нормативних вимог до медичних установ. Визначено сумарну потужність електроприймачів, підібрано силовий трансформатор, кабельні лінії, а також захисну апаратуру. Система дозволяє класифікувати споживачів за категоріями надійності та забезпечує можливість резервного живлення критичних ділянок.

3. У спеціальній частині виконано побудову математичної моделі сонячного елемента та його моделювання в середовищі Simulink, що дало змогу оцінити ефективність роботи панелей у різних умовах.

4. У розділі з автоматизації розроблено конструкцію одновісного сонячного трекера з використанням мікроконтролера, який забезпечує орієнтацію панелей на Сонце з метою максимізації вироблення енергії. Детально описано логіку керування, побудовано електричну схему автоматизованої системи та реалізовано програмне забезпечення, що керує роботою трекера в режимі реального часу.

5. У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці, зокрема аналіз шкідливих і небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією електромеханічного обладнання. Визначено заходи захисту працівників, дотримання вимог електробезпеки та пожежної безпеки, що є особливо важливим у медичних закладах.

Література

1. «Теорія автоматичного управління: навчальний посібник» – О.Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В. П. Бунь (КПІ, 2020)
2. «Сучасна теорія автоматичного керування» – Т.Г. Баган, В.П. Бунь (КПІ, 2024)
3. «Системи програмного та слідкуючого керування рухом» – В. І. Теряєв, С. В. Король (КПІ, 2021)
4. «Імпульсна та цифрова електроніка» / «Комп'ютерна електроніка: мікропроцесорні системи» – А. О. Новацький (КПІ, 2014)
5. «Сучасні цифрові пристрої систем автоматизації. Комп'ютерний практикум» – О. М. Павловський (КПІ, 2024)
6. «Технології відновлюваної енергетики. Лабораторний практикум» – В. А. Волощук, Л. К. Жученко (КПІ, 2023)
7. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Електропостачання» / Укл.: проф. О.О. Демиденко, доц. Ю.М. Гринько. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 45 с.
8. ПУЕ – Правила улаштування електроустановок. 7-е видання. – Київ: ДІНТЕР, 2018.
9. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електроосвітлення. – Київ: Мінрегіон України, 2010.
10. Каталог продукції АВВ. Автоматичні вимикачі, контактори та теплові реле. – АВВ Ltd., 2020.
11. ДСТУ EN 60947-2:2017. Апаратура комутаційна та керування низьковольтна. Частина 2. Автоматичні вимикачі.
12. Справочник електрика. Том 1. Под ред. В.Г. Гуревича. – М.: Энергоатомиздат, 2020.
13. Розрахунки КЗ і вибір апаратури: навч. посіб. / Л.Ф. Семенов, О.М. Золотарьов – Х.: НТУ «ХПІ», 2019.
14. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-ХІІ.
15. Кодекс законів про працю України. – К.: Верховна Рада України, 2023.

					ДП ОА11.03.000 ПЗ	Лист
						88
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

- 16.ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електроосвітлення. – Київ: Мінрегіон України, 2010.
- 17.ПУЕ – Правила улаштування електроустановок. 7-е вид. – Київ: ДІНТЕР, 2018.
- 18.НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 19.НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці при виконанні робіт на висоті.
- 20.Наказ МОЗ №246 від 21.05.2007. Про проведення медичних оглядів працівників.
- 21.Постанова КМУ №337 від 17.04.2019. Порядок розслідування нещасних випадків.
- 22.Правила пожежної безпеки в Україні. – Наказ МВС №1417 від 30.12.2014.
- 23.Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електропостачання» / Укл.: О.О. Демиденко, Ю.М. Гринько. – Харків: ХНУРЕ, 2021.