

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена Бориченко

«___» _____ 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: Розробка системи електропостачання промислового підприємства з використанням альтернативних джерел для його часткового забезпечення електроенергією

Виконав:

студент IV курсу, групи ОЕ-11

Величко Владислав Володимирович _____

Керівник:

к.т.н., доц. Бєлоха Галина Сергіївна _____

Консультанти:

Охорона праці та пожежна безпека д.т.н., проф.Третьякова Л.Д. _____

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль _____

(назва розділу)

пров.інжен., Прокопенко І.Д. _____

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

Київ – 2025 рік

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена Бориченко

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Величко Владиславу Володимировичу

1. Тема проєкту «Розробка системи електропостачання промислового підприємства з використанням альтернативних джерел для його часткового забезпечення електроенергією», керівник проєкту к.т.н., доц. Бєлоха Галина Сергіївна, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. №1698-с
2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “12” червня 2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту Схема електропостачання району міста та цеху
4. Перелік розділів, які мають бути розроблені
 - а) електрична частина: Розробка загальної схеми електропостачання промислового підприємства та району міста
 - б) спеціальна частина: Розробка системи електропостачання промислового підприємства з використанням альтернативних джерел
 - в) охорона праці та пожежна безпека: Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації пристроїв компенсації реактивної потужності

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. Загальна схема мережі

2. Схема живлення

3. Схема підключення альтернативного джерела

4. Характеристики сонячної частини.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією

на тему: Розробка системи електропостачання промислового підприємства з використанням альтернативних джерел для його часткового забезпечення електроенергією

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Релейний захист та автоматика</i>	<i>к.т.н., доц. Калінчик В.П.</i>		
<i>Розрахунки струмів короткого замикання</i>	<i>к.т.н., доц. Белоха Г.С.</i>		
<i>Охорона праці та пожежна безпека</i>	<i>д.т.н., проф. Третькова Л.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання “22” травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання дипломного проєкту

Студентом Величко Владиславом Володимировичем

(прізвище, ініціали)

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Розрахунок електричної частини	20.05.-05.06.25	
2	Розрахунок релейної частини	25.05-27.05.25	
3	Розрахунок струмів короткого замикання	27.05-29.05.25	
4	Розрахунок частини охорони праці та пожежної безпеки	29.05-04.06.25	
5	Розрахунок індивідуального завдання дипломного проєкту	04.06-10.06.25	
6	Підготовка графічного матеріалу	10.06.-13.06.25	
7	Захист дипломного проєкту	23.06.2025	

Студент
Керівник проєкту

Владислав ВЕЛИЧКО
Галина БЄЛОХА

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проєкту зі спеціальною частиною: «Розробка системи електропостачання промислового підприємства з використанням альтернативних джерел для його часткового забезпечення електроенергією»

Дипломний проєкт представлено на аркушах 114 машинописного тексту, кількість ілюстрацій – 33, таблиць – 30, робочих креслень – 4, перелік використаних джерел – 33 найменувань.

Мета проєкту : розглянуто техніко-економічне обґрунтування та розробку сонячної електростанції потужністю 600 кВт для встановлення на даху інструментального цеху промислового підприємства. Метою проєкту є зниження енергоспоживання з мережі та підвищення енергоефективності виробництва за рахунок використання альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ, ПОВІТРЯНА ЛІНІЯ, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ.

ABSTRACT

The topic of the diploma project with a special part: "Development of an industrial enterprise power supply system using alternative sources for its partial provision with electricity"

The diploma project is presented on 114 sheets of typewritten text, the number of illustrations is 33, tables are 30, working drawings are 4, the list of sources used is 33 items.

Project objective: The feasibility study and development of a 600kW solar power plant for installation on the roof of an industrial enterprise's tool shop were considered. The project objective is to reduce energy consumption from the grid and increase energy efficiency of production through the use of alternative energy sources.

Keywords: POWER SUPPLY SYSTEM, SHORT CIRCUIT, CABLE LINE, OVERHEAD LINE, POWER QUALITY, POWER SUPPLY, SHORT CIRCUIT.

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АВР-автомат ведення резерву;

СЕС-сонячна електростанція;

АДЕ-альтернативне джерело енергії;

ДБЖ-джерело безперебійного живлення;

ПДЕ-поновлюване джерело енергії;

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку енергії;

ДБН – державні будівельні норми;

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;

КЗ – коротке замикання, контактне з'єднання;

КРП – компенсація реактивної потужності;

ПЛ – повітряна лінія;

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок;

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП.....	11
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА ТЕМОЮ ДИПЛОМУ.	12
1.1 Фотоелектричні установки	12
1.2. Робота систем при аваріях.....	13
1.3 Виготовлення сонячних елементів	13
1.4 Розташування сонячних панелів для промислового підприємства.....	14
1.4.1.Сонячні панелі на землі	14
1.4.2. Сонячні станції на трекері.....	15
1.4.3.Сонячні станції на фасадах цеху підприємства	16
1.5 СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ	
1.5.1 Ключові фактори	18
1.5.2 Огляд сучасних тенденцій розвитку систем накопичення електричної енергії	19
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	25
2.1 РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ	26
2.1.2.РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ	43
2.1.3 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЙ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ, ЩО ЖИВЛЯТЬ ЖИТЛОВІ ТА ГРОМАДСЬКІ БУДІВЛІ.....	52
2.2. ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	56
2.3 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЙ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 10 Кв І ЛІНІЙ ЖИВЛЕННЯ	58
2.4 ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ШИНАХ 10 Кв ЦЕНТРАЖИВЛЕННЯ	61
2.5 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	61
2.6 Умови вибору автоматичних вимикачів та їх класифікація.....	62

2.7 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка вибраних комутаційних апаратів і живлячих провідників за умов короткого замикання.....	64
2.7.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 Кв	77
2.7.2.1 Розрахунок трифазного короткого замикання	77
2.7.2.2 Розрахунок струму однофазного КЗ.....	79
2.7.2.3 Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та висновки.....	82
2.8 Релейний захист та автоматика (РЗА)	82
3 Розділ Розробка системи електропостачання промислового підприємства з використанням альтернативних джерел для його часткового забезпечення електроенергією	90
3.1 Визначення розміру сонячної фотоелектричної системи.....	91
3.2 Вибір сонячних панелей.....	92
3.3 Вибір інвертора	95
3.4 Розміщення та вибір сонячних модулів на території підприємства та цеху.....	97
4 РОЗДІЛ ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА. СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ	
4.1 Загальна характеристика об'єкта.....	98
4.2 Перелік робіт та виконавців	100
4.3 Характеристика умов праці	100
4.4. Технічні та організаційні заходи з безпеки праці	101
4.5. Вибір засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)	102
4.6 Розрахункове завдання.Розрахунок заземлення.	104
Висновки до дипломного проекту	109
Перелік посилань:.....	110
ДОДАТОК А,Б,В,Г,Д, Г	113

ВСТУП

Сьогодення енергетики кишить трансформаціями, що постали через підвищення потреби у безперебійному електроживленні, стрибок цін на традиційні енергоресурси та необхідність мінімізувати шкоду для довкілля. За таких обставин дедалі більше значення має застосування альтернативних джерел енергії, таких як сонячна, котра вирізняється доступністю, екологічністю та майже невичерпним запасом.

Дипломна робота зосереджена на проектуванні системи електропостачання для виробничого цеху промислового підприємства, з інтеграцією сонячної електростанції. Здійснено технічний огляд ключових параметрів об'єкта, підбрано необхідне обладнання, розроблено електричну схему, передбачені заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Створення цього проекту представляє собою цілісне рішення, що дає змогу частково забезпечувати потреби підприємства в електроенергії з використанням альтернативного джерела. Це сприяє зменшенню навантаження на загальну електромережу, підвищує стабільність електропостачання, і є кроком до стійкого розвитку виробництва.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА ТЕМОЮ ДИПЛОМУ.

«Домінуючою світовою тенденцією в галузі енергетики є підвищення вартості природних нафтопродуктів, вугілля та газу. Тому в країнах Європи, Америки й Азії набувають поширення технології використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) тобто альтернативних джерел енергії (АДЕ).[\[1\]](#)

Якщо ми говоримо про альтернативні джерела енергії, перше, що спадає на думку, це фотоелектричні установки. Це найбільш простий та доступний спосіб для кожного власника приватного будинку, наприклад, отримувати екологічно чисту енергію.

1.1 Фотоелектричні установки

Фотоелектричні установки – це не тільки спосіб економії електроенергії, але й отримання від відновлюваного джерела. Установка фотоелектричних панелей дозволяє використовувати екологічно чистий спосіб виробництва енергії.

Багато користувачів розглядають це обладнання як можливість стати незалежними від мережі живлення та захистити себе у разі відключення електроенергії. Це цілком зрозумілий і виправданий підхід, адже збої на лініях досить часті.[\[2\]](#)

Вони можуть бути викликані як стихійними лихами, наприклад, і аварійними ситуаціями на підстанціях. Проблеми з живленням у мережі можуть бути спричинені значним зниженням ефективності електростанції або надмірним тимчасовим попитом на електроенергію. Ще однією причиною можуть бути планові відключення електроенергії.[\[3\]](#)

При цьому розглядати фотоелектричні установки як головний елемент вашої енергонезалежності було б не до кінця правильним рішенням. Справа в тому, що для роботи таких систем потрібна електрика, тому переважна більшість приватних та корпоративних фотогальванічних установок потужністю не більше 50 кВт працюють від розетки.

1.2. Робота систем при аваріях

Це означає, що як тільки в мережі зникне напруга, вироблення енергії від установки з сонячними панелями також припиниться. Безумовно, можна використовувати, наприклад, безперебійники (ДБЖ) для резервного живлення сонячної установки.

1.3 Виготовлення сонячних елементів

Серед сонячних елементів особливе місце займають батареї, виготовлені на основі органічних матеріалів. Коефіцієнт корисної дії сонячних елементів на основі діоксиду титану, покритого органічним барвником, досить високий - ~12 %. Основа сонячних елементів даного типу – широкозоний напівпровідник, звичайно TiO_2 покритий моношаром органічного барвника. Принцип роботи елемента заснований на фотопорушенні барвника й швидкої інжекції електрона в зону провідності TiO_2 . При цьому молекула барвника окислиться, через елемент іде електричний струм і на платиновому електроді відбувається відновлення триїодіда до іодіда. Потім іодід проходить через електроліт до фотоелектроду, де відновлює окиснений барвник.[\[4\]](#)

Конструктивно сонячна батарея являє собою плоску панель, що складається з розміщених на ній фотоелементів і електричних з'єднань, захищену з лицьової сторони прозорим твердим покриттям. Число фотоелементів у батареї може бути різним, від декількох десятків до декількох тисяч. Площа панелі в більших промислових сонячних батареях може досягати тисячі квадратних метрів, а максимальна генеруємо потужність – десятків кіловат. Батареї на основі кристалічного кремнію. Сонячна батарея, при нормальному сонячному висвітленні, генерує потужність 20- 25 Вт, при напрузі 13 Вольт, що цілком та достатньо для живлення, наприклад, переносного комп'ютера. У могутніших

сонячних батареях, наприклад у батареях фірми RZMP, використані фотоелектричні елементи виготовлені на основі мультикристалічного напівпровідникового кремнію, що мають покриття, що просвітлює, нітрид кремнію й срібні контактні смужки – контакт для зняття струму.[\[5\]](#)



Рисунок 1.1 – Сонячні панелі

1.4 Розташування сонячних панелів для промислового підприємства

1.4.1. Сонячні панелі на землі

Спосіб монтування панелей – на землі, а якщо бути точнішим, на металоконструкції. Де можна встановити сонячні батареї на землі, адже існує кілька способів монтування – на статичній металоконструкції, на поворотній конструкції та на системі на основі сонячних трекерів. Кожен з цих варіантів має власні плюси та мінуси.[\[6\]](#)

- Статична конструкція відрізнятиметься високою міцністю, легшим способом монтування. Вам не потрібно стежити за такою нею, лише у випадку забруднень відмити необхідні ділянки панелей і при потребі відчищати від снігу. Але внаслідок того, що конструкція статична, ви не маєте змоги повертати її, як наслідок, не витиснете з ваших панелей максимум.

- Поворотні конструкції – це компромісний варіант між статичною і системою трекерів. Особливої різниці в побудові між поворотними столами і статичною металоконструкції немає, за невеликим винятком – ви можете самостійно обирати необхідний кут для повороту панелей. Це дозволить Вам збільшити загальний річний виробіток приблизно на 10%.[\[7\]](#)

Переваги сонячних станцій (панелей) на землі:

1. Висока продуктивність;
2. Висока надійність;
3. Підбір оптимального кута нахилу;
4. Варіативність монтування.

Недоліки сонячних станцій(панелей) на землі:

- 1.Вища вартість,ніж дахової СЕС;
- 2.Триваліший час монтажу.

1.4.2. Сонячні станції на трекері.

Схема показана на рисунок. 1.2



Рисунок 1.2 Зображення Сонячної станції на трекері

Серед найпродуктивніших система сонячної станції є саме на трекері, адже дозволяє фотомодулям відслідковувати рух сонця, що забезпечить максимально можливий виробіток. Але крім такого очевидного плюса, є невеликий мінус – велика вартість такого комплексу і необхідність регулярної перевірки такої системи, адже механіка є доволі чутливою до можливих поломок.[\[8\]](#)

Переваги сонячних станцій на трекері:

- Найкраща продуктивність панелей
- Найкраще рішення для північних регіонів
- Значне збільшення прибутків. До кінця терміну дії «зеленого тарифу» трекери окупаються втричі

Недоліки сонячних станцій на трекері:

1. трекери потребують більшої площі, ніж нерухомі системи, оскільки при переміщенні системи може утворитись тінь на сусідній панелі, що зменшує ККД станції;
2. оскільки «зелений тариф» зменшується економічність трекерної системи може зменшитись;
3. дорожча вартість;
4. постійний нагляд за двигуном, який обертає конструкцію. [□](#)

1.4.3. Сонячні станції на фасадах цеху підприємства



Рисунок 1.3 Сонячні станції на фасаді підприємства

Така СЕС не має у своїй схемі роботи акумуляторні батареї, тому вона не дорога на початковому етапі і при цьому не потребує подальших інвестицій на заміну обладнання в найближчі 20 років.

З переваг ця станція необхідна підприємствам, які бажають:

☐ бути енергоефективними та за рахунок цього зменшувати частку адміністративних витрат,(згідно до ДСТУ ISO 50001:2020 [\[9\]](#)до енергетичного менеджменту та використання систем зберігання енергії).

☐ бути більш автономними та зменшувати залежність від імпорту традиційних енергоресурсів;

☐ збільшити якість та стабільність електроенергії;

☐ збільшити потужність на об'єкті, при цьому не переплачуючи на приєднанні до мережі;

☐ самостійно забезпечувати потреби бізнесу у “чистій” електроенергії та розвивати сучасні “чисті” технології альтернативної енергетики.

Серед недоліків сонячної станції на фасаді є:

1.початкова вартість монтажу та енергоресурсів

2.Залежність від погоди;

3. Потреба у просторі та обслуговування.

1.5 Системи зберігання

Системи зберігання енергії від акумуляторних батарей використовується підприємствами для зменшення пікових навантажень, накопичення електроенергії в періоди, коли на неї немає попиту, щоб можна було досягти нижчих витрат у періоди високого попиту. Ці системи також забезпечують аварійне живлення та сприяють використанню відновлюваної енергії, таким чином забезпечуючи безперебійну роботу та досягнення цілей сталого розвитку[\[10\]](#).

1.5.1 Ключові фактори

Вибираючи відповідну систему накопичення енергії акумулятора, важливо ретельно оцінити ваші конкретні вимоги. У наведеній нижче таблиці 3.1 наведено ключові фактори, які слід враховувати.

Таблиця 1.1 – Ключові фактори

Чинники	Міркування
Енергоємність	Визначте кількість енергії, яку потрібно запасти, і її тривалість.
Цикл життя	Оцініть очікувану кількість циклів заряджання та розряджання.
Ефективність	Оцініть, щоб мінімізувати втрати енергії та підвищити ефективність.
Коштувати	Збалансуйте початкові інвестиції з довгостроковими вигодами.
Додаток	Забезпечте відповідність конкретним вимогам програми.

Утилітарно-масштабний системи зберігання енергії від акумуляторних батарей збалансовує попит і пропозицію в мережі, зберігаючи надлишкову потужність і вивільняючи її за необхідності.

Ці системи є життєво важливими для стабільності мережі, особливо враховуючи те, що інтегровано більше відновлюваних джерел енергії, і вони виконують такі важливі функції, як допоміжні послуги та підтримка напруги. Крім того, ці засоби могли б зняти напругу на розподільчих лініях у години пікового попиту.

1.5.2 Огляд сучасних тенденцій розвитку систем накопичення електричної енергії

Завдяки новітній технологічній революції на економічну арену на ряду з Smart Grids, Smart Metering, Smart Appliance виходять такі нові електричні технології, операційні елементи та інструменти управління як Energy Storage, Demand Side Response, Big Data, Blockchain, які вже розпочали свою «революцію» у функціонуванні енергетичних систем, змінять стратегію та ринкову поведінку всіх учасників та вводять нових гравців. Серед цих новітніх елементів є один, на нашу думку, дуже «цінний» це Energy Storage, оскільки з його використанням створюються переваги для кожного сегменту енергетичної системи: 1)

підвищується ефективність енергосистеми, її стабільність, надійність і стійкість електричної мережі; 2) зростає самоспоживання та самовиробництво електроенергії; 3) покращується доступ до електроенергії шляхом автономної електрифікації; 4) змінюється характер суспільних відносин, зменшується залежність від монополістів. В залежності від особливостей (розмір, потужність, тривалість) роботи вказаних технологій можемо їх згрупувати в три категорії:

I короткотермінове застосування (від секунд – до хвилин); II – коротко та довготермінове застосування; III – довготермінове застосування (від годин до сезонів).

На початку 2020 року Урядом Великобританії була опублікована Зелена книга «Нова промислова стратегія», яка наголошує на розвитку технологій накопичення та зберігання енергії для підтримки розвитку інтелектуальних енергетичних систем та електромобільної промисловості. Тим же часом у США компаніями Tesla, Altagas Ltd. I AES Corp вже побудовано три промислових накопичувача енергії на основі літій-іонних акумуляторів, кожен з яких за обсягами перевищує будь-який раніше побудованих батарейних накопичувачів. У сукупності їх потужність відповідає приблизно 15% потужності накопичувачів, встановлених в 2016 р. у всьому світі.

Найбільший з об'єктів – це накопичувач від AES Corp. Потужністю 30 МВт і ємністю 120 МВт·год. В Австралії встановлена потужність побутових систем зберігання сонячної енергії зросла в 13 разів, за рік було встановлено 6 750 систем зберігання. До кінця 2020 року країна планує довести встановлену потужність систем зберігання енергії до 200 ГВт·год . Німеччина має один з найбільших в світі ринків побутового зберігання електроенергії (на кінець 2015 року можливості побутового зберігання електроенергії становили 67 МВт, в країні налічувалось 19 000 систем зберігання енергії). Швидке зниження цін на системи зберігання та державна програма стимулювання їх розвитку роблять в Німеччині привабливою для широкого застосування технологію «сонячна енергія + збереження». За аналітичними даними протягом наступних 5 років ринок

побутового зберігання електроенергії в країні зростає в 11 разів з точки зору потужності накопичувачів.

Tesla удосконалила свою настінну акумуляторну батарею, подвоївши її потужність та зменшивши розмір на третину, та запропонувала ринку модель PowerWall2, її ціна є вдвічі нижчою від попередньої.

Корейська LG Chem – вже пропонує повну комплектацію «сонячна енергія + збереження» з акумуляторною батареєю 6.4 кВт·год. Наразі виробник також пропонує домогосподарствам літій-іонний акумулятор 9.8 кВт·год. Для розгортання будь-якої нової технології необхідна нормативно-правова база, а оскільки системи накопичення та зберігання енергії, це не просто нові технології, а «революційні» технології, то і підходи до формування нормативноправової бази мають бути інноваційні. Технологія Energy Storage породжує не просто нових повноцінних учасників ринку, вона породжує «універсальних» учасників, що можуть працювати на всіх організованих ринках (електроенергії, потужності та допоміжних послуг). Вони здатні забезпечити реальну конкуренцію та сприяти встановленню справедливих і розумних цін, на кожному з цих ринків.

Для початку слід систематизувати всі системи накопичення та зберігання енергії, це полегшить розробку заходів для зняття бар'єрів виходу та в подальшому дозволить ефективно інтегрувати нові елементи в організовані ринки. Наприклад, FERC виділила два види систем накопичення та зберігання енергії: Electric Storage Resource (ESR) ресурс електричного зберігання та Distributed Energy Resource (DER) розподілений енергетичний ресурс. ESR здатний отримувати електроенергію з мережі та зберігати її для пізнішої віддачі в мережу незалежно від того, де в енергосистемі розміщений цей ресурс. Він включає всі види технологій зберігання електроенергії незалежно від їх розміру, носія (акумуляторні батареї, стиснене повітря, гідроакумуляування), а також розміщення (чи в системі електропередачі, чи в системі розподілу).

DER, в свою чергу, – це джерело або споживач енергії, які знаходяться в системі розподілу (тобто будь-яка підсистема) або «за лічильником» споживача. Цей ресурс може включати ресурс електричного зберігання, а також розподілену генерацію, акумулювання теплової енергії, електромобілі та пристрої живлення. Серед заходів для зняття бар'єрів виходу ESR на організовані ринки ми виділяємо шість основних:

має бути створена модель участі, яка розпізнає особливі фізичні та операційні характеристики ESR та надає їм відповідне право; 2) діючі технічні вимоги мають бути переглянуті та розширені для ESR; 3) заявка ESR на ринку має бути відмінна від тієї, що подається «традиційною» установкою, оскільки з урахуванням тривалості та можливостей зарядки та розрядки ESR, вони є значно гнучкішими; 4) необхідно врахувати можливості ESR працювати на ринку як з позиції оптового продавця, так і з позиції оптового покупця електроенергії, та надати їм право вільно обирати свою стратегію роботи; 5) необхідно встановити вимоги щодо мінімального розміру ESR для участі в оптовому ринку, який би дозволив в повній мірі використовувати операційні можливості ESR та відповідно отримувати переваги від зростання конкуренції (мінімальний розмір установок ESR, який вважається FERC доцільним для участі в оптовому ринку, складає 100 кВт); 6) має бути визначено підхід до ціноутворення на електроенергію, що продається на організованих.

Ринках установкам ESR з метою її зберігання та наступного перепродажу на цих ринках. Щодо DER, то нам вбачаються важливими п'ять заходів, які би унеможливили бар'єри на шляху їх впровадження. По-перше, необхідно надати DER право участі в організованих ринках шляхом їх агрегації; для агрегації має бути використаний географічний підхід.

По-друге, розробити параметри заявки для того, щоб в ній містилася інформація щодо джерел та відповідних обсягів електроенергії, які ввійшли до загальної заявки агрегованого DER; встановити вимоги до інформації та даних для агрегованого DER (зокрема, мова йде про інформацію щодо кожного

розподіленого енергетичного ресурсу, його потужність, місцезнаходження, експлуатаційні межі). По-третє, визначити підходи, що застосовуються при виставленні вимог до системи обліку та телеметрії індивідуального DER та агрегованого DER. По-четверте, забезпечити необхідну координацію дій між оператором системи передачі, оператором системи розподілу, агрегованим DER та компанією з розподілу електроенергії. І на останнє, розробити типовий договір про участь агрегованого DER на ринку, яким би агрегований DER, гарантував, що кожен його індивідуальний ресурс відповідає діючим правилам, нормам та операційним процедурам. На перший погляд здається, що все вищеприписане може розвиватися, впроваджуватися та працювати в Сполучених Штатах Америки, Великобританії, Німеччині, та не може бути в Україні, бо для нашої країни це «не на часі», як полюбують говорити деякі фахівці. Однак зарубіжні експерти вже й без нас змоделювали українську енергетичну систему 2050 року, що функціонує на основі 100% ВДЕ, як частину світової, та зауважили, що українська енергетика може працювати в умовах використання новітніх технологій. Модель Energy Storage передбачає здатність енергосистеми з допомогою Energy Storage покривати протягом року до 35% попиту на електроенергію, тобто кожен третю кіловат-годину, що споживатиметься, 17% при цьому або кожна шоста кіловат-година споживання покриватиметься за рахунок акумуляторних батарей. Для порівняння зараз в Україні за рахунок ГАЕС в години нічного 180 провалу акумулюється близько 14% електроенергії, а в години максимального

навантаження покривається близько 8% споживання. Відповідно до поглядів закордонних енергетичних експертів основними технологіями Energy Storage, на які опиратиметься українська енергосистема 100% ВДЕ будуть акумуляторні батареї, що забезпечать коротко – термінове зберігання електроенергії, та технологія Power-to-Gas, що буде значним ресурсом сезонного зберігання після 2035 року. Після 2040 року, тобто вже майже через 20 років, в українській енергосистемі домінуватимуть сонячні фотоелектричні системи та акумуляторні батареї (у тому числі у формі взаємодії електротранспорту і електромережі (V2G connections)).

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

В даному проєкті розглянута система електропостачання міста. Вона є складною і важливою інфраструктурною частиною його функціонування. Забезпечення ефективної роботи цієї системи вимагає детального планування та дотримання визначених норм та вимог. Основні компоненти, такі як розподільні мережі, трансформаторні підстанції, індивідуальні та комунальні споживачі, взаємодіють у великому масштабі, і їх правильна організація має велике значення для забезпечення стабільності та доступності електроенергії для всіх міських секторів

Враховуючи вимоги [ПУЕ](#) та інші стандарти, необхідно здійснити раціональний вибір, та розташування трансформаторних підстанцій, дотримання вимог безпеки для цього об'єктів. При цьому, враховуючи різноманітність споживачів у мікрорайонах, важливо розробляти оптимальні схеми електромереж для кожного району.

Особливу увагу слід приділяти споживачам електроенергії на житловій території, враховуючи різноманітність електроприймачів. Сучасні тенденції у споживанні електроенергії вимагають не лише надійності постачання, але й управління споживанням, що може бути досягнуто за допомогою сучасних систем моніторингу та автоматизації.

Живлення міських споживачів здійснюється за допомогою розподільних мереж напругою 10 Кв і 0,38 Кв.

В ПУЕ встановлено ряд вимог до конструкцій, розміщення, обладнання підстанцій. Відзначимо найбільш важливі з них. Підстанції не дозволяється вбудовувати в житлові будівлі, школи, лікарні, спальні корпуси санаторіїв.

Підстанції не допускається розміщувати під приміщеннями виробництв з мокрим технологічним процесом, душовими, вбиральнями, ванними і т.д.

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Виключення можливі лише при перекриттях з монолітного бетону і надійної гідроізоляції. Необхідно застосовувати заходи захисту ТП від можливих ушкоджень при розташуванні в безпосередній близькості від шляхів кранів і внутрішньоцехового транспорту.

Від того, наскільки раціонально спроектована система електропостачання міста, залежить ефективність функціонування великого числа міських і промислових об'єктів, розташованих на його території.

Споживачі електричної енергії, розташовані на житловій території міста, умовно поділяються на дві основні групи: житлові будинки та суспільно-комунальні установи.

Споживання електроенергії в житлових будинках визначається укладом життя населення міста. В сучасних житлових будинках використовується велика кількість різних електроприймачів (ЕП), які поділяються на ЕП квартир і на ЕП загальнобудинкового призначення.

2.1 РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ

2.1.1 Характеристика проєктованого об'єкту

Ремонтно-механічний цех призначений для ремонту та обслуговування машин, обладнання та механізмів на підприємстві. Він забезпечує безперебійну роботу виробництва, запобігає простоям та аваріям. На загальному плані він позначений як цех №1.

Схема підключення цеху №1 показана на рисунку 2.1

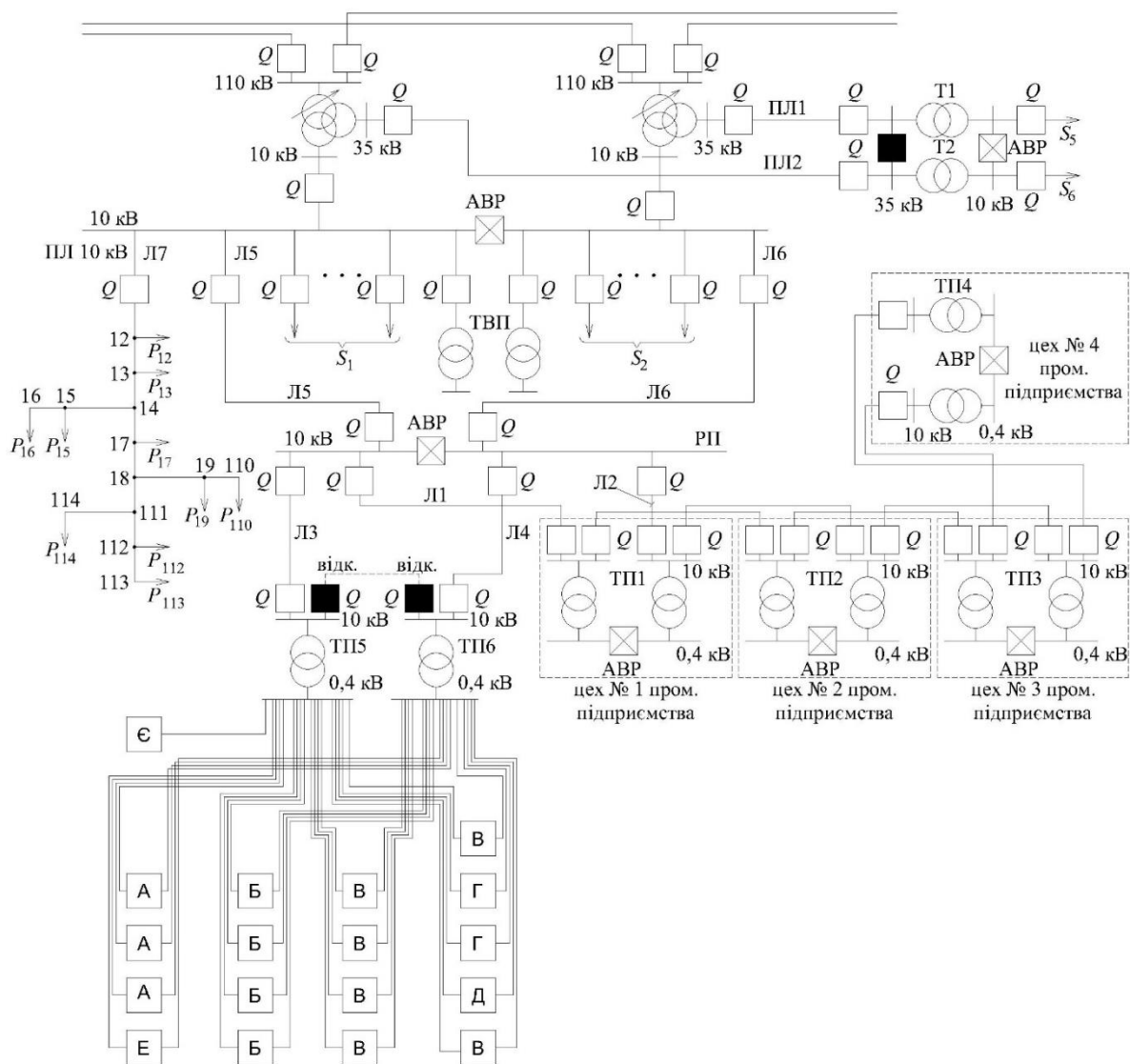


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання

Приміщення цеху це окрема будівля виконання з сендвіч панелей. Розміри цеха $40 \times 35 \times 9$ м. Стеля та підлога білого кольору. Стеля виконання з сталевих перекриттів, на яких кріпиться кран-балка. Підлога виконання монолітно, залита бетоном з каналами під кабелі. Цех поділений по приміщенню: комора, верстатне відділення, кабінет майстра.

За вибухо, пожежною безпекою особливостей не має.

Інструментальний цех має верстатне відділення, в якому встановлено штатне обладнання: строгальні, токарно-револьверні верстати, фрезерні, заточувальні, вертикально-свердлильні, поперечно-стругальні, фрезерувальні верстати та інші.

Все обладнання працює на змінній напрузі 380В, частотою 50Гц. Основним обладнанням яке викликає спотворення якості електричної енергії є зварювальні трансформатори. В цеху є електроприймачі які відносяться до першої категорії надійності, електричні печі опору та індуктивності, вентиляція, гальванічна ванна, тому що перерва в їх живленні призведе до браку продукції, та загрозу безпеці здоров'ю людей. Інші споживачі мають другу категорію надійності, простої яких призведе до простою персоналу зміни, та розлагодження технологічного процесу.

Згідно ПУЕ понижувати рівень надійності не можна, тому доцільно прийняти усіх споживачів першою категорією надійності.

На рисунку 2.2 зображено план цеху на якому розміщені електроприймачі, силові пункти, щит освітлення, щит аварійного освітлення, шинопровід, та схеми прокладання кабельних ліній. СП розміщено відповідно до технологічного процесу та потужностей.

Перелік та наваначення по СП наведено в таблиці 1.1.

Щит освітлення та аварійного освітлення встановлено біля входу в цех.

Кабелі від ТП до СП прокладенні по стінам в цеху.

Всі кабельні лінії виготовленні з негорючою ізоляцією, та прокладенні по каналах що прокладенні у підлозі. Провід який живить кран-балку кріпиться на крановій балці. Шинопровід прокладено на стінні.

Освітлення виконано світильниками LED ДБО 01-120-012 LTR розташованими на відстані 0,2м від перекриття, що підтримують рівень освітленості цеху 200лк.

	№ на плані	ЕП	К _В	cosφ	Ном. Пот., кВт
--	------------	----	----------------	------	----------------------

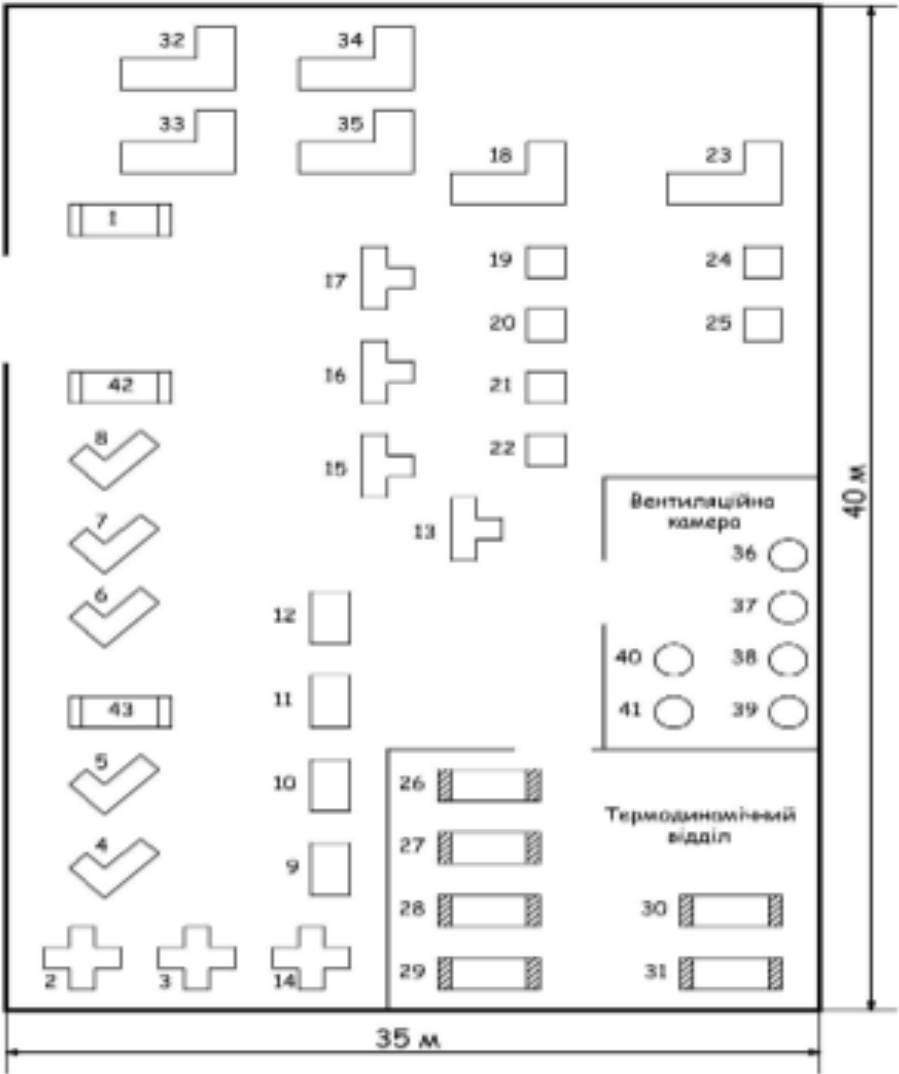


Рисунок 2.2 – План розміщення устаткування ремонтно-механічного цеху

СП1	2,3,14	Строгальні верстати	0,18	0,55	16,2
СП2	4-8	Токарно-револьверні верстати	0,15	0,5	12,5
	9-12	Шліфувальні верстати	0,2	0,5	4,2
	13,15,17	Вертикально-свердильні	0,14	0,5	6,2
СП3	18,23,32-35	Заточувальні верстати	0,25	0,65	8
	19-22,24,25	Фрезерувальні верстати	0,22	0,55	10
	26-29	Електричні печі опору	0,8	0,92	50
СП4	30,31	Електричні печі індукційні	0,6	0,9	26
СП5	36-41	Вентиляція	0,5	0,7	8,2
	1,42,43	Мостові крани, ТВ=25%	0,12	0,5	30

Таблиця 2.1 – Перелік обладнання цеху

2.1.2 Визначення розрахункових електричних навантажень цеху промислового підприємства

Метод розрахункових коефіцієнтів (РК) [1], котрий базується на методі упорядкованих діаграм, дає можливість більш точно враховувати формування середніх значень електричних навантажень на високих ступенях електропостачання і тим самим усунути необґрунтоване збільшення розрахункових навантажень.

Номінальна активна потужність групи ЕП розраховується за формулою:

$$P_H = nP_{H_i}, \quad (2.1.)$$

де n – кількість ЕП;

P_{H_i} – номінальна потужність електроприймача для вертикально-свердильний верстатів, за формулою (1.1):

$$P_H = 1 \cdot 6.2 = 6,2 \text{ кВт.}$$

Для електричних печ опор, працюючих у повторно-короткочасному режимі розрахункова потужність приймається рівною номінальній, приведений до тривалого режиму:

$$P_H = n P_{\text{паст}} \sqrt{TB}, \quad (2.2)$$

$$P_H = 2 \cdot 50 \cdot \sqrt{0,25} = 50 \text{ кВт.}$$

Де $P_{\text{пасп}}$ – паспортна потужність;

TB – коефіцієнт тривалості включення.

Розрахунок інших навантажень проводимо згідно формул (2.1.) та (2.2) та результати зводимо в таблицю 2.2.

Визначаємо проміжну активну і реактивну потужності:

$$P_{\text{пр}} = P_H k_B, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.4)$$

де k_B – коефіцієнт використання;

$$P_{\text{пр}} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{пр}} = 40 * 0,69 = 27,6 \text{ квар.}$$

Розраховуємо номінальну групову активну потужність для СП2:

$$P_{\text{н}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ні}} = 50 + 6,2 + 40 = 96,2 \text{ кВт.} \quad (2.5)$$

Для інших споживачів розрахунків проводимо аналогічно та результати зводимо до таблиці 2.5.

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності для СП2:

$$P_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{прі}}, \quad (2.6)$$

де $\sum P_{\text{пр}}$ – сума активних проміжних потужностей для СП2,

$$P_{\text{Псп1}} = 12,5 + 4,2 + 6,2 = 22,9 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{прі}}, \quad (2.7)$$

де $\sum Q_{\text{пр}}$ – сума реактивних проміжних потужностей для СП2,

$$Q_{\text{Псп1}} = 27,6 + 2,22 + 5,93 = 35,75 \text{ квар.}$$

Серед всіх споживачів СП2 шукаємо з максимальною і мінімальною потужностями:

$$P_{\text{minпСП2}} = 5,93 \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{maxпСП2}} = 27,6 \text{ кВт,}$$

$$m = \frac{P_{\max \text{СП2}}}{P_{\min \text{СП2}}} = \frac{27,6}{5,93} = 4,65. \quad (2.8)$$

Розраховуємо коефіцієнт використання всього силового пункту:

$$K_B = \frac{P_{\Pi}}{P_{H\Sigma}}, \quad (2.9)$$

де P_{Π} – сумарна проміжна потужності для СП2;

$P_{H\Sigma}$ – сумарна номінальна потужність для СП2;

$$K_{B\text{СП2}} = \frac{22,9}{40} = 0,5725.$$

Ефективне число ЕП визначимо по формулі:

$$n_{\text{еф}} = \frac{P_{H\Sigma}^2}{\sum P_{H1}^2}, \quad (2.10)$$

де $P_{H \max}$ - максимальна номінальна потужність

$$n_{\text{ефСП2}} = \frac{12,5^2}{50^2 + 1 \cdot 6^2 + 3 \cdot 6,2^2} = 5,42.$$

Приймаємо $n_{\text{ЕСП2}} = 5$.

Для інших електроприладів розрахунок ведеться аналогічно. Дані зводимо в таблицю 1.2.

Згідно [2] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_{\text{РСП2}} = 2,1.$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність для СП2:

$$P_p = P_n K_p, \quad (2.11)$$

де P_n – сумарна проміжна активна потужність для СП2;

K_p – коефіцієнт розрахункового навантаження;

$$P_p = 10,24 \cdot 22,9 = 234,5 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

$$\text{при } n_e > 10, \quad Q_p = Q_{пр},$$

$$\text{при } n_e \leq 10, \quad Q_p = 1,1 \cdot Q_{пр},$$

$$\text{СП2:} \quad Q_p = 1,1 Q_{пр} = 30,36 \text{ квар (так як } n_e = 5 < 10).$$

Повна розрахункова потужність для СП2:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.12)$$

$$S_{рсп2} = \sqrt{235,5^2 + 30,36^2} = 265,86 \text{ Ква.}$$

Розрахунковий струм для СП2:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}, \quad (2.13)$$

де S_p – повна розрахункова потужність для СП2;

U_H – номінальна напруга;

$$I_{\text{рсп2}} = \frac{265,86}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,32 \text{ А.}$$

Для інших СП розрахунок проводимо аналогічно і результати зводимо до таблиці 2.2.

Розраховуємо сумарне силове навантаження цеху:

Сумарна кількість електроприймачів

$$n_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m n_i, \quad (2.14)$$

$$n_{\Sigma} = 1 + 7 + 5 + 1 + 17 = 31.$$

Розраховуємо номінальну групову активну потужність:

$$P_H = \sum_{i=1}^n P_{Hi} = 16,2 + 12,5 + 4,2 + 6,2 + 96,2 = 135,3 \text{ кВт.}$$

Серед всіх електроприймачів шукаємо з максимальною і мінімальною потужностями:

$$P_{\text{minпСП2}} = 4,2 \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{maxпСП1}} = 12,5 \text{ кВт,}$$

$$m = \frac{P_{\text{maxпСП1}}}{P_{\text{minпСП2}}} = \frac{12,5}{4,2} = 2,97. \quad (2.15)$$

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності:

$$P_{\text{Псн}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{псн}i}, \quad (2.16)$$

$$P_{\text{Псн}} = 40 + 10,24 + 16 + 5,368 + 22,9 = 94,508 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{Псн}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{псн}i}, \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{Псн}} = 35,75 + 10,85 + 27,6 + 9,297 + 37,44 = 120,93 \text{ квар.}$$

Розраховуємо коефіцієнт використання:

$$K_{\text{в}} = \frac{P_{\text{Псн}}}{P_{\text{Нс}}}, \quad (2.17)$$

$$K_{\text{всп}} = \frac{94,508}{135,7} = 0,69.$$

Ефективне число ЕП визначимо по формулі:

$$n_{\text{Есп}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{н}i}}{P_{\text{н}i.\text{max}}}, \quad (2.18)$$

$$n_{\text{Есп}} = \frac{2 \cdot 135,7}{50} = 5,428.$$

Приймаємо $n_{\text{Есп}} = 5$.

Згідно [2] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_{\text{р}} = 0,85.$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність:

$$P_p = P_{\pi} K_p, \quad (2.19)$$

$$P_p = 94,508 \cdot 0,85 = 80,33 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

$$Q_p = K_p Q_{\pi p}, \quad (2.20)$$

$$Q_p = 0,85 \cdot 112,43 = 95,563 \text{ квар.}$$

Повна розрахункова потужність силового навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.21)$$

$$S_p = \sqrt{91,76^2 + 95,563^2} = 132,48 \text{ Ква.}$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}, \quad (2.22)$$

$$I_p = \frac{132,48}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 201,29 \text{ А.}$$

Визначення розрахункових навантажень освітлювальних установок, як правило, передують розрахунки електричного освітлення проєктованого цеху, яке поділяють на робоче та аварійне.

Для розрахунку освітлення в електромеханічному цеху використаємо метод коефіцієнта використання.

Потрібний потік ламп в кожному світильнику Φ знаходиться з формули:

$$\Phi = \frac{E_{min} k_3 F z}{\eta}, \quad (2.23)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу;

E_{min} – мінімальна освітленість, лк;

F – площа, приміщення, що освітлюється, м²;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку – відношення світлового потоку, який падає на робочу поверхню, до світлового потоку світильників.

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін $\rho_{ст}$, стелі ρ_c , робочої поверхні ρ_p , та від показника приміщення який враховує співвідношення розмірів приміщення.

Приймаємо:

$$\rho_{ст} = 0,5,$$

$$\rho_c = 0,3,$$

$$\rho_p = 0,1.$$

Згідно [3] та вище приведених формул, визначаємо:

Коефіцієнт запасу $k_3 = 1,8$.

Мінімальна освітленість $E_{min} = 200$ лк.

Коефіцієнт нерівномірності $z = 1,15$.

Площа приміщення:

$$F = AB, \quad (2.24)$$

$$F = 40 \cdot 35 = 1400 \text{ м}^2.$$

Визначимо показник, який враховує співвідношення розмірів приміщення (індекс приміщення):

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)}, \quad (2.25)$$

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2.26)$$

де $H = 9 \text{ м}$ – висота приміщення цеху;

$h_c = 1,2 \text{ м}$ – відстань світильника від перекриття;

$h_p = 0,8 \text{ м}$ – висота розрахункової поверхні над підлогою згідно норм [2];

$$h = 9 - 1,2 - 0,8 = 7 \text{ м},$$

Тоді:

$$i = \frac{40 \cdot 35}{7 \cdot (40 + 35)} = 2,66.$$

Вибираємо згідно [3] коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta = 0,35,$$

Визначимо світловий потік однієї лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості, лм:

Нормоване значення освітленості для цеху дорівнює 200 лк. Коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,12$. Вибираємо значення коефіцієнту запасу $k_z = 1,3$.

Вибираємо згідно [3] тип та потужність ламп:

тип LED ДБО 01-120-012 LTR, $\Phi_{\text{л}} = 18150$ лм, $P_{\text{л}} = 120$ Вт $U = 220$ В.

Тоді світловий потік:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 1400 \cdot 1,12}{0,35} = 1164800 \text{ лм.}$$

Кількість світильників :

$$N_{\text{св}} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (2.27)$$

$$N = \frac{1164800}{18150} = 64,17 \approx 64 \text{ шт.}$$

Використовуємо LED ДБО 01-120-012 LTR; Потужність ламп $P_{\text{л}} = 120$ Вт, $I = 0,6$ А, $\cos \varphi = 0,9$, тоді $\tan \varphi = 0,48$.

Визначаємо активну потужність освітлювального навантаження при коефіцієнті попиту ($K_{\text{п}} = 0,9$):

$$P_{\text{осв}} = n P_{\text{л}} K_{\text{п}}, \quad (2.28)$$

$$P_{\text{осв}} = 64 \cdot 120 \cdot 0,9 = 6930 \text{ Вт.}$$

Визначаємо реактивну потужність освітлювального навантаження:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.29)$$

$$Q_{\text{осв}} = 6930 \cdot 0,48 = 3326,89 \text{ вар.}$$

Світильники аварійного освітлення розмістимо рівномірно по всій площі приміщення, значення освітленості при аварійному освітленні для інструментального цеху рекомендується брати 5 % від норми робочого освітлення, але не менш як 5 та не більше 30 лк. Для освітлення використаємо LED світильник [ДБО 01-24-П-003](#).

$$P_{\text{ав}} = 0,05 P_{\text{осв}}, \quad (2.30)$$

$$P_{\text{ав}} = 0,05 \cdot 6930 = 346,5 \text{ Вт.}$$

Розраховуємо повне освітлювальне навантаження:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}\Sigma}^2 + Q_{\text{осв}\Sigma}^2}, \quad (2.31)$$

$$P_{\text{осв}\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_{\text{ав}}, \quad (2.32)$$

$$P_{\text{осв}\Sigma} = 6930 + 346,5 = 7277,54 \text{ Вт,}$$

$$Q_{\text{осв}\Sigma} = P_{\text{осв}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.33)$$

$$Q_{\text{осв}\Sigma} = 6930 \cdot 0,484 = 3354,624 \text{ квар,}$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{6930^2 + 3354,624^2} = 10,284 \text{ Ква.}$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю 1.2.

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

Активна потужність на шинах 0,4Кв ТП:

$$P_{\text{HH}} = P_{\text{p}} + P_{\text{осв}}, \quad (2.34)$$

де P_{p} – сумарна розрахункова активна потужність для всіх СП;

$P_{\text{осв}}$ – активна потужність освітлювального навантаження;

$$P_{\text{HH}} = 91,76 + 346,5 = 438 \text{ кВт.}$$

Реактивна потужність на шинах 0,4Кв ТП:

$$Q_{\text{HH}} = Q_{\text{p}} + Q_{\text{осв}}, \quad (2.35)$$

де Q_{p} – сумарна розрахункова реактивна потужність для всіх СП;

$Q_{\text{осв}}$ – реактивна потужність освітлювального навантаження;

$$Q_{\text{HH}} = 95,563 + 2,52 = 98,087 \text{ квар.}$$

Повна потужність на шинах 0,4Кв ТП:

$$S_{\text{HH}} = \sqrt{P_{\text{HH}}^2 + Q_{\text{HH}}^2}, \quad (2.36)$$

де P_{HH} і Q_{HH} – активна і реактивна потужність на шинах НН.

$$S_{\text{HH}} = \sqrt{438,26^2 + 98,087^2} = 536,35 \text{ Ква.}$$

2.1.2. РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Визначення розрахункових навантажень в електропостачальних системах житлових і громадських будинків представлені в таблиці 2.1.1

Таблиця 2.1.1 – навантаження в електропостачальних системах житлових і громадських будинків.

№	Позн. На схемі	Тип об'єкта	Кільк. Буд.	Кільк. Кварт.	Кат. Над.
1	А	Житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, 2 секції,	3	128	II
2	Б	Житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, 1 секція,	4	64	II
3	В	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 1 секція,	6	36	II
4	Г	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 2 секції,	2	74	II
5	Д	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 3 секції,	1	108	II
6	Е	Школа на 2000 учнів	1		II
7	Є	Хімчистка на 75кг речей	1		III

На рисунку 2.2 зображена схема розміщення житлових і громадських будинків відносно трансформаторних підстанцій.

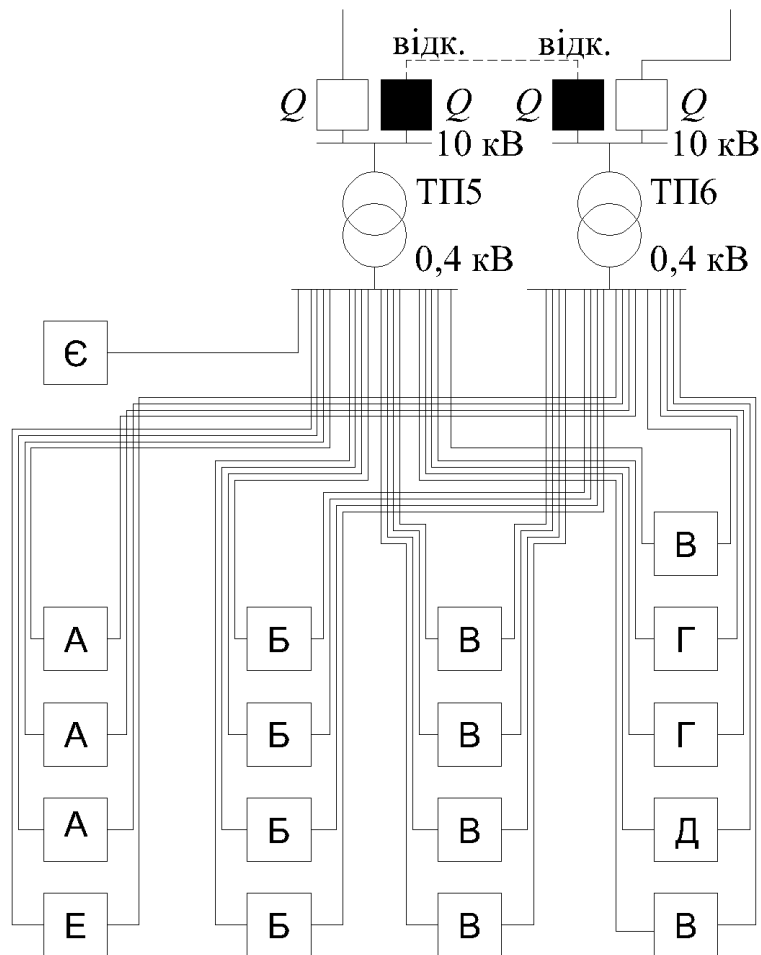


Рисунок 2.1.2 – Схема живлення житлових і громадських будинків

Кожен будинок II категорії оснащений власним АВР.

Визначення розрахункових навантажень громадських об'єктів виконуємо згідно [2]:

$$P_{ж.б} = p_{пит} n_{кв} + 0,9 K_{п.л} n_{ліф} p_{л}, \quad (2.37)$$

$$Q_{ж.б} = p_{пит} n_{кв} tg \varphi_{кв} + 0,9 K_{п.л} n_{ліф} p_{л} tg \varphi_{ліф}. \quad (2.38)$$

де $p_{пит}$ – питоме розрахункове електричне навантаження житл;

$n_{кв}$ – сумарна кількість квартир;

$n_{ліф}$ – сумарна кількість ліфтів [5];

$K_{п.л}$ – коефіцієнти попиту для ліфтових установок;

$tg\varphi$ – реактивне навантаження.

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з електричними плитами в нормальному режимі роботи, тобто один ТП живить половину квартир та ліфтових установок.

Будинки з однаковим способом їже приготування рахуємо як один будинок з сумарною кількістю квартир та сумарним числом ліфтових установок:

$$P_{AB}^{1/2} = 1,34 \cdot \left(\frac{3 \cdot 128 + 4 \cdot 64}{2} \right) + 0,9 \cdot 0,6 \cdot \frac{10}{2} \cdot (6 + 9) = 469,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{AB}^{1/2} = 1,34 \cdot \left(\frac{3 \cdot 128 + 4 \cdot 64}{2} \right) \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,6 \cdot \frac{10}{2} \cdot (6 + 9) \cdot 1,17 = 218,9 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з газовими плитами в нормальному режимі роботи, тобто один ТП живить половину квартир та ліфтових установок.

Будинки з однаковим способом їже приготування рахуємо як один будинок з сумарною кількістю квартир та сумарним числом ліфтових установок:

$$P_{BEJ}^{1/2} = 0,85 \cdot \left(\frac{6 \cdot 36 + 2 \cdot 74 + 108}{2} \right) + 0,9 \cdot 0,65 \cdot \frac{13}{2} \cdot 6 = 223,415 \text{ кВт},$$

$$Q_{BEJ}^{1/2} = 0,85 \cdot \left(\frac{6 \cdot 36 + 2 \cdot 74 + 108}{2} \right) \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,65 \cdot \frac{13}{2} \cdot 6 \cdot 1,17 = 112,951 \text{ квар.}$$

Визначаємо розрахункові навантаження громадських будівель в нормальному режимі роботи [4]:

$$P_p = P_{\text{пит}} n, \quad (2.39)$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi_{\text{пит}}. \quad (2.40)$$

де $p_{\text{пит}}$ – питоме розрахункове електричне навантаження будівлі;
 n – кількість навантаження;

Знаходимо розрахункове навантаження школи в нормальному режимі роботи:

$$P_E^{1/2} = 0,25 \cdot \frac{2000}{2} = 250 \text{ кВт},$$

$$Q_E^{1/2} = 250 \cdot 0,33 = 82,5 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове хімчистки в нормальному режимі роботи:

$$P_{\epsilon} = 0,08 \cdot 75 = 6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\epsilon} = 6 \cdot 0,88 = 5,28 \text{ квар.}$$

Зведемо до таблиці 2.2 розраховані розрахункові навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи.

Таблиця 2.1.2 – Навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи:

Позн. На схемі	Об'єкт	P_p , кВт	Q_p , квар
А,Б	Житловий будинок з електричними плитами	469,3	218,9
В,Е,Ж	Житловий будинок з газовими плитами	223,415	112,951
Н	Школа на 2000 учнів	250	82,5
С	Хімчистка на 75кг речей	6	5,28

Розраховуємо навантаження на шини ТП5 та ТП6 в нормальному режимі роботи.

$$P_{ТП} = P_{p.max} + \sum_{i=1}^{n-1} P_{pi} K_{c.maxi}, \quad (2.41)$$

$$Q_{ТП5} = Q_{q.max} + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{qi} K_{c.maxi}, \quad (2.42)$$

$$S_{ТП} = \sqrt{P_{ТП}^2 + Q_{ТП}^2}, \quad (2.43)$$

$$P_{ТП5}^{1/2} = 469,3 + 223,415 \cdot 0,9 + 250 \cdot 0,6 + 6 \cdot 0,5 = 823,373 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП5}^{1/2} = 218,9 + 112,951 \cdot 0,9 + 82,5 \cdot 0,6 + 5,28 \cdot 0,5 = 372,695 \text{ квар},$$

$$S_{ТП5}^{1/2} = \sqrt{823,373^2 + 372,695^2} = 903,794 \text{ Ква},$$

$$P_{ТП6}^{1/2} = 469,3 + 223,415 \cdot 0,9 + 250 \cdot 0,6 = 820,373 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП6}^{1/2} = 218,9 + 112,951 \cdot 0,9 + 82,5 \cdot 0,6 = 370,055 \text{ квар},$$

$$S_{\text{ТП6}}^{1/2} = \sqrt{820,373^2 + 370,055^2} = 899,973 \text{ Ква.}$$

Розраховуємо навантаження в після аварійному режимі.

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з електричними плитами в після аварійному режимі, тобто один ТП живить всі квартир та ліфтові установки.

Будинки з однаковим способом їже приготування рахуємо як один будинок з сумарною кількість квартир та сумарним числом ліфтових установок:

$$P_{\text{АБ}} = 1,18 \cdot (3 \cdot 128 + 4 \cdot 64) + 0,9 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot (6 + 9) = 822,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{АБ}} = 1,18 \cdot (3 \cdot 128 + 4 \cdot 64) \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot (6 + 9) \cdot 1,17 = 381,055 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження житлових будинків з газовими плитами в після аварійному режимі роботи, тобто один ТП живить всі квартири та ліфтові установки.

Будинки з однаковим способом їже приготування рахуємо як один будинок з сумарною кількість квартир та сумарним числом ліфтових установок:

$$P_{\text{ВЕЖ}} = 0,7 \cdot (6 \cdot 36 + 2 \cdot 74 + 108) + 0,9 \cdot 0,5 \cdot 13 \cdot 6 = 365,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ВЕЖ}} = 0,7 \cdot (6 \cdot 36 + 2 \cdot 74 + 108) \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot 1,17 = 183,139 \text{ квар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження школи в після аварійному режимі роботи:

$$P_E = 0,25 \cdot 2000 = 500 \text{ кВт},$$

$$Q_E = 500 \cdot 0,33 = 165 \text{ квар.}$$

Зведемо до таблиці 2.1.3 розраховані розрахункові навантаження об'єктів в після аварійному режимі роботи.

Таблиця 2.1.3 – Навантаження об'єктів в після аварійному режимі роботи:

Позн. На схемі	Об'єкт	P_p , кВт	Q_p , квар
А,Б	Житловий будинок з електричними плитами	822,7	381,055
В,Ж,Е	Житловий будинок з газовими плитами	365,5	183,139
С	Школа на 2000 учнів	500	165

Розраховуємо навантаження на шини ТП5 в після аварійному режимі роботи.

$$P_{ТП5} = 822,7 + 365,5 \cdot 0,9 + 500 \cdot 0,6 + 6 \cdot 0,5 = 1454,65 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП5} = 381,055 + 183,139 \cdot 0,9 + 165 \cdot 0,6 + 5,28 \cdot 0,5 = 647,52 \text{ квар},$$

$$S_{ТП5} = \sqrt{1454,65^2 + 647,52^2} = 1592,259 \text{ Ква.}$$

Розраховуємо навантаження на шини ТП6 в після аварійному режимі роботи, до ТП6 не підключений споживач III категорії.

$$P_{\text{ТП6}} = 822,7 + 365,5 \cdot 0,9 + 500 \cdot 0,6 = 1451,65 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ТП6}} = 381,055 + 183,139 \cdot 0,9 + 165 \cdot 0,6 = 644,88 \text{ квар},$$

$$S_{\text{ТП6}} = \sqrt{1451,65^2 + 644,88^2} = 1588,445 \text{ Ква.}$$

Визначимо навантаження на ввіді для кожного об'єкту окремо, та занесемо отримані значення у таблицю 2.1.4.

$$P_A = 1,6 \cdot 128 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot (6 + 9) = 226,4 \text{ кВт},$$

$$Q_A = 1,6 \cdot 128 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot (6 + 9) \cdot 1,17 = 107,192 \text{ квар},$$

$$P_B = 2,1 \cdot 64 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot (6 + 9) = 146,55 \text{ кВт},$$

$$Q_B = 2,1 \cdot 64 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot (6 + 9) \cdot 1,17 = 67,975 \text{ квар},$$

$$P_B = 1,35 \cdot 36 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 6 = 53,46 \text{ кВт},$$

$$Q_B = 1,35 \cdot 36 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 1,17 = 26,584 \text{ квар},$$

$$P_{\Gamma} = 1,09 \cdot 74 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 6 = 89,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Gamma} = 1,09 \cdot 74 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 1,17 = 44,792 \text{ квар},$$

$$P_{\text{д}} = 0,99 \cdot 108 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 6 = 119,88 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{д}} = 0,99 \cdot 108 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 1,17 = 61,138 \text{ квар}.$$

Таблиця 2.1.4 – навантаження на вводі кожного об'єкту для післяаварійного режиму роботи.

Позн. На схемі	Об'єкт	P_p , кВт	Q_p , квар
А	Житловий будинок з електричними плитами	226,4	107,192
Б	Житловий будинок з електричними плитами	146,55	67,975
В	Житловий будинок з газовими плитами	53,46	26,584
Е	Житловий будинок з газовими плитами	89,3	44,792
Ж	Житловий будинок з газовими плитами	119,88	61,138
Н	Школа на 2000 учнів	500	165
С	Хімчистка на 75кг речей	6	5,28

2.1.3 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЙ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ, ЩО ЖИВЛЯТЬ ЖИТЛОВІ ТА ГРОМАДСЬКІ БУДІВЛІ

Мінімально допустимі перерізи мережі напругою до 1000 В, в загальному випадку, повинні задовольняти наступним вимогам [1]:

1. Втрата напруги в нормальному режимі не повинна перевищувати допустимої величини: $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$.

2. Втрата напруги в післяаварійному режимі не повинна більш ніж на 5% перевищувати допустиму величину: $\Delta U_{\text{п/а}} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\%$.

3. Струмове навантаження в нормальному режимі не повинне перевищувати допустимої величини, визначеної з урахуванням умов прокладки кабельної лінії:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2, \quad (2.44)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустиме тривале струмове навантаження, яке визначається за довідковими даними з урахуванням марки кабелю (дроту) і способу його прокладки (у землі, в повітрі, в трубах і так далі);

K_1 – коефіцієнт, що враховує фактичні температурні умови експлуатації кабелю або повітряної лінії, $K_1 = 1$;

K_2 – коригуючий коефіцієнт, що враховує кількість паралельно прокладених і працюючих кабелів, $K_2 = 1$.

10. Струмове навантаження в післяаварійному режимі не повинне перевищувати допустиме значення, визначене з урахуванням відповідного коефіцієнта допустимого перевантаження:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}}, \quad (2.45)$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження, який визначається з урахуванням умов прокладки, тривалості перевантаження і попереднього завантаження КЛ, $K_{\text{пер}} = 1,3$.

Обирати перерізи ліній живлення будемо з розрахунків післяаварійного режиму роботи мережі, якщо лінія витримає навантаження післяаварійного режиму то і нормальний режим обраний кабель задовільнить.

Навантаження об'єктів наведено в таблиці 2.1

Проведемо розрахунок на прикладі багатоквартирного будинку А1:

Визначаємо розрахункове струмове навантаження на головних ланках у напрямі від ТП5 та від ТП6:

$$I_{A1} = \frac{\sqrt{P_{A1}^2 + Q_{A1}^2}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{\sqrt{226,4^2 + 107,192^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 380,586 \text{ А}, \quad (2.46)$$

Обираєм з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{A1}}{K_1 K_2 K_{\text{пер}}} \geq \frac{380,586}{1 \cdot 1 \cdot 1,3} \geq 292,758 \text{ А},$$

АВВГ 4×240, $I_{\text{доп}} = 330 \text{ А}$, $r_0 = 0,125 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,0587 \text{ Ом/км}$.

Перевіряємо вибрану КЛ 0,4 Кв за допустимою втратою напруги:

$$\Delta U_{A1} = \frac{P_{A1} r_0 L_{\text{кл}}}{10 U_H^2} = \frac{226,4 \cdot 0,125 \cdot 0,05}{10 \cdot 0,38^2} = 0,98 \%, \quad (2.47)$$

Втрата напруги у післяаварійному режимі не повинна перевищувати допустиму величину +5%:

$$\Delta U_{A1} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\% \rightarrow 0,98\% \leq 10\%, \quad (2.48)$$

Умова перевірки виконується.

Для інших об'єктів розрахунок проводимо аналогічно та результати зводимо до таблиці 2.1.1.

Таблиця 2.1.1 – Вибір перерізу ліній низької напруги

Об'єкт	I_p , А	L , км	Кабель	$I_{\text{доп}}$, А	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\Delta U \leq 10\%$
А1	380,586	0,05	АВВГ 4х240	330	0,125	0,0587	0,98
А2	380,586	0,065	АВВГ 4х240	330	0,125	0,0587	1,27
А3	380,586	0,08	АВВГ 4х240	330	0,125	0,0587	1,57
Б1	245,446	0,05	АВВГ 4х95	197	0,32	0,0602	1,62
Б2	245,446	0,06	АВВГ 4х95	197	0,32	0,0602	1,95

Продовження таблиці 2.1.1

Об'єкт	I_p , А	L , км	Кабель	$I_{\text{доп}}$, А	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\Delta U \leq 10\%$
Б3	245,446	0,07	АВВГ 4х95	197	0,32	0,0602	2,27
Б4	245,446	0,08	АВВГ 4х95	197	0,32	0,0602	2,6
В1	90,712	0,05	АВВГ 4х16	72	1,91	0,0675	3,54
В2	90,712	0,055	АВВГ 4х16	72	1,91	0,0675	3,89
В3	90,712	0,065	АВВГ 4х16	72	1,91	0,0675	4,60
В4	90,712	0,07	АВВГ 4х16	72	1,91	0,0675	4,95
В5	90,712	0,08	АВВГ 4х16	72	1,91	0,0675	5,66
В6	90,712	0,05	АВВГ 4х16	72	1,91	0,0675	6,36
Г1	151,788	0,06	АВВГ 4х50	137	0,641	0,0625	2,38
Г2	151,788	0,09	АВВГ 4х50	137	0,641	0,0625	3,57
Д	204,458	0,06	АВВГ 4х70	166	0,443	0,0612	2,21
Е	799,967	0,085	2АВВГ 4х240	660	0,0625	0,0293	1,84
Є	12,143	0,055	АВВГ 4х2,5	26	12,1	0,104	2,77

2.2. ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Зведемо до таблиці 4.1 навантаження по кожному ТП в після аварійному режимі роботи, для вибору трансформаторів.

Таблиця 2.2.1 – Навантаження ТП в післяаварійному режимі роботи

№	Р, кВт	Q, квар	S _ф , Ква
ТП1	96,98	98,09	137,932
ТП2	420	60	424,264
ТП3	420	60	424,264
ТП4	260	70	269,258
ТП5	1454,65	647,52	1592,259
ТП6	1451,65	644,88	1588,445

Виберемо трансформатор для ТП1.

Приймаємо для ТП1 трансформатор ТМ 100/10 з паспортними даними []:

$S_H=160$ Ква;

$\Delta P_{xx}=0,305$ кВт;

$\Delta P_{k3}=1,97$ кВт;

$I_{xx}=2,2$ %;

$U_{k3}=4,5$ %.

Перевірка трансформатора в післяаварійному режимі:

Втрати в трансформаторі:

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3})^2 + \left(S_H \frac{I_{xx}}{100} + \left(\frac{S_{\phi}}{S_H} \right)^2 S_H \frac{U_{k3}}{100} \right)^2}, \quad (2.49)$$

$$\Delta S = \sqrt{(0,46 + 2,65)^2 + \left(160 \cdot \frac{2}{100} + \left(\frac{137,932}{100} \right)^2 \cdot 100 \cdot \frac{4,5}{100} \right)^2} = 9,099 \text{ Ква,}$$

$$S_{ТП} = S_{\phi} + \Delta S < 1,4S_H = 137,932 + 9,099 < 1,4 \cdot 160 = 147,031 < 224 \text{ Ква.}$$

(2.50)

Вибір трансформаторів для наступних ТП в після аварійному режимі проводиться аналогічно, результати заносимо до таблиці 2.3.2.

Таблиця 2.2.2 – Розподіл навантаження на ТП1-ТП6 в після аварійному режимі

Марка трансформатора	S_{HT} , Ква	ΔS Ква	$S_{п/а}$, Ква	$1,4S_{HT}$, Ква	$K_{зав}$
ТМ 160/10	160	9,099	147,031	224	0,92
ТМ 400/10	400	27,002	451,267	560	1,13
ТМ 400/10	400	27,002	451,267	560	1,13
ТМ 250/10	250	18,303	287,561	350	1,15
ТМ 1250/10	1250	124,632	1716,891	1750	1,37
ТМ 1250/10	1250	124,1	1712,546	1750	1,37

2.3 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ЛІНІЙ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 10 КВ І ЛІНІЙ ЖИВЛЕННЯ

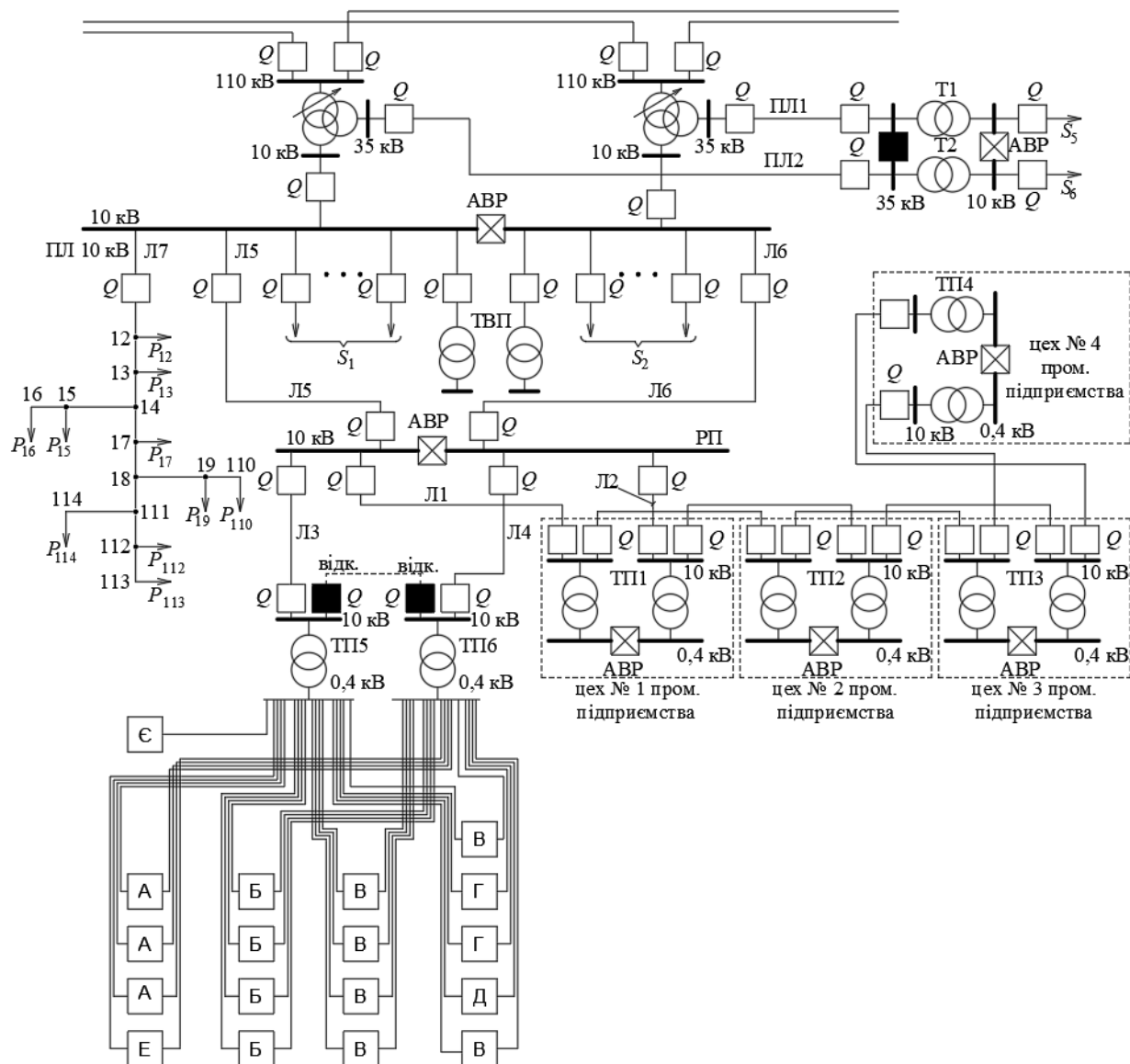


Рисунок 2.2.1 – Схема електропостачання

Виберемо перерізи ліній 10Кв Л1–Л6 для післяаварійного режиму роботи. При цьому візьмемо що перерізи пар ліній однакові: Л1 і Л2, Л3 і Л4, Л5 і Л6. При розрахунку обираємо найбільші можливі навантаження на кожній ділянці.

Розраховуємо переріз лінії Л1 і Л2:

Знаходимо навантаження Л1, Л2 які живлять ТП1–4:

$$S_{Л1,2}^{п/а} = K_{см} \sum_i^n S_{ТПi}, \quad (2.51)$$

$$S_{Л1,2}^{п/а} = 0,85 \cdot \sqrt{(96,97 + 420 + 420 + 260)^2 + (98,08 + 60 + 60 + 70)^2} = \\ = 1046,482 \text{ Ква},$$

Визначаємо розрахункове струмове навантаження:

$$I_{Л1,2} = \frac{S_{Л1,2}^{п/а}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{1046,482}{\sqrt{3} \cdot 10} = 60,419 \text{ А}, \quad (2.52)$$

Обираєм з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{Л1,2}}{K_1 K_2 K_{пер}} \geq \frac{60,419}{1 \cdot 1 \cdot 1,3} \geq 46,475 \text{ А}.$$

Отже, обрали АПВП 3×35, $I_{доп} = 119 \text{ А}$.

Для ЛЗ,4 та Л5,6 проводимо розрахунок аналогічно та заносимо отримані значення перерізів ліній 10Кв у таблицю 2.2.1.

Таблиця 5.1 – Вибір перерізу ліній в післяаварійному режимі напругою 10Кв

	S, Ква	ТП, що живляться	I, А	Марка	I _{доп} , А	r ₀ Ом/км
Л1,2	1046,482	ТП1–4	60,419	АПВП 3х35	119	0,868
ЛЗ,4	1353,42	ТП5	78,140	АПВП 3х35	119	0,868
Л5,6	2390,069	ТП1–6	137,991	АПВП 3х35	119	0,868

2.4 ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ШИНАХ 10 Кв ЦЕНТРА ЖИВЛЕННЯ

Розраховуємо навантаження на шині 10 Кв центра живлення в аварійному режимі.

Під'єднані навантаження по лініям наведені в таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 – Розраховані навантаження в аварійному режимі під'єднані до центру живлення 10Кв

Назва приєднання	P, кВт	Q, квар
Л _{5,6}	2651,625	935,607
Л ₇	900	0
S ₁	26000	4000
S ₂	41000	3000

Розраховуємо загальну активну та реактивну потужність:

$$P_{\text{сум}} = K_{\text{см}} (P_{\text{Л5,6}} + P_{\text{Л7}} + P_{\text{S1}} + P_{\text{S2}}), \quad (2.53)$$

$$Q_{\text{сум}} = K_{\text{см}} (Q_{\text{Л5,6}} + Q_{\text{Л7}} + Q_{\text{S1}} + Q_{\text{S2}}), \quad (2.54)$$

$$P_{\text{сум}} = 0,85 \cdot (2651,62 + 900 + 26000 + 41000) = 59968,882 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{сум}} = 0,85 \cdot (935,6 + 0 + 4000 + 3000) = 6745,266 \text{ квар.}$$

Розраховуємо загальну реактивну потужність

$$S = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + Q_{\text{сум}}^2}, \quad (2.55)$$

$$S = \sqrt{59968,882^2 + 6745,266^2} = 60347,041 \text{ Ква.}$$

2.5 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Реактивна потужність – це та частина електричної потужності, яка не виконує корисної роботи, а лише створює магнітні поля в електричних пристроях, таких як трансформатори, двигуни, конденсатори тощо. Реактивна потужність не споживається, а лише коливається між джерелом і споживачем. Однак, вона викликає додаткові втрати в лініях електропередачі, збільшує навантаження на генератори і трансформатори, знижує якість електроенергії і погіршує коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт активної потужності – це відношення активної потужності, яка виконує корисну роботу, до повної потужності, яка передається в мережі. Чим ближче коефіцієнт потужності до одиниці, тим краще використовується електроенергія.

Знайдемо фактичне значення коефіцієнта активної потужності до компенсації реактивної потужності на шині 10 Кв центра живлення:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\text{сум}}}{P_{\text{сум}}}, \quad (2.56)$$

$$\cos \varphi = \cos(\operatorname{arctg} \varphi), \quad (2.57)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{6745,266}{59968,882} = 0,112,$$

$$\cos \varphi = \cos(\operatorname{arctg} 0,112) = 0,993,$$

Отже, значення $\cos \varphi$ вище 0,96. Тому компенсація не потрібна.

2.6 Умови вибору автоматичних вимикачів та їх класифікація

Автоматичні вимикачі є важливим елементом в електричних системах, оскільки вони забезпечують захист електричних кіл від перевантажень та коротких замикань. Вибір автоматичних вимикачів здійснюється на основі кількох ключових критеріїв:

1. Автоматичний вимикач повинен відповідати номінальній напрузі та струму електричного кола, в якому він буде встановлений. Номінальна напруга визначає максимальну напругу, при якій вимикач може функціонувати без ушкоджень .

2. Також максимальний струм, який автоматичний вимикач може безпечно вимкнути. Вибір перериваючої здатності залежить від потенційного короткого замикання в системі

3. Одним з основних критеріїв є характеристика спрацювання втоматичних вимикачів. Існують різні типи характеристик спрацювання такі як B, C, D, K, Z, які визначають час-струмові характеристики вимикача. Ці характеристики вибираються в залежності від типу навантаження та вимог до захисту .

4. Залежно від типу мережі (однофазна чи трифазна) вибирається відповідна кількість полюсів автоматичних вимикачів. Однополюсні вимикачі використовуються для захисту однофазних ланцюгів, тоді як триполюсні — для трифазних .

У мережах напругою 0,38 Кв та 10 Кв використовуються різні комутаційні апарати, які забезпечують належне функціонування та управління електричними системами. Основними типами комутаційних апаратів, що застосовуються є:

1. Вимикачі повітряні:

- Автоматичні та ручні: Використовуються для відключення та включення електричних ліній. У мережах 10 Кв можуть застосовуватися вимикачі з сухими або газовими дуговими камерами, що забезпечують ефективне відключення.

2. Роз'єднувачі:

- Застосовуються для відключення частин мережі під час ремонту або обслуговування. Вони повинні бути надійними та забезпечувати високу ступінь ізоляції для безпеки.

3. Автоматичні вимикачі:

- Призначені для захисту від перевантажень та коротких замикань. Сучасні моделі можуть мати функції віддаленого управління та моніторингу, що підвищує зручність та безпеку їх експлуатації.

4. Вимикачі заземлення:

- Забезпечують безпечне відключення та заземлення під час проведення робіт на лініях, що підвищує рівень безпеки обслуговуючого персоналу.

5. Реактори:

- Використовуються для контролю та регулювання напруги в мережі.

Вони можуть знижувати рівень напруги за необхідності, забезпечуючи стабільну роботу системи.

6. Реле та контролери:

- Автоматизовані пристрої для управління та моніторингу параметрів системи, таких як струм, напруга та інші важливі показники. Вони сприяють стабільній роботі та ефективному управлінню мережею.

7. Компактні відгалужувачі:

- Дозволяють швидко та ефективно перемикаати електричні лінії, оптимізуючи роботу мережі[\[15\]](#).

Їх застосування зменшує час на переналаштування системи та підвищує її надійність.

Вибір конкретних комутаційних апаратів залежить від ряду факторів, включаючи особливості електричної системи, вимоги до безпеки, нормативні стандарти та технічні характеристики. Наприклад, у мережах з високим рівнем навантаження можуть застосовуватися автоматичні вимикачі з підвищеною струмопровідністю, а в мережах з особливими умовами експлуатації – вимикачі з підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів.

Крім того, сучасні комутаційні апарати часто оснащуються функціями діагностики та самоконтролю, що дозволяє виявляти та усувати несправності на ранніх етапах. Це сприяє підвищенню надійності та безпеки електричних мереж, знижуючи ризик аварій та забезпечуючи безперервне постачання електроенергії споживачам.

2.7 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка вибраних комутаційних апаратів і живлячих провідників за умов короткого замикання

2.7.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1Кв

2.7.1.1 Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Випадкове або навмисне, не передбачене нормальним режимом роботи, електричне з'єднання фаз (полюсів) струмоведучих кіл електроустановки між собою або з землею, при якому струми різко зростають, перевищуючи найбільш допустимий струм усталеного режиму, в колах, що примикають до місця виникнення цього з'єднання, називається коротким замиканням чи

замиканням у випадках з'єднання з землею однієї фази (полюса) електроустановки, елементи якої працюють з ізольованою або резонансно заземленою нейтраллю.

В умовах експлуатації СЕП серед основних причин виникнення перехідних процесів – це переважно короткі замикання, які суттєво порушують нормальний режим роботи електроустановок. Тому при проектуванні СЕП короткі замикання розглядають як характерні збурення, що зумовлюють перехідні електромагнітні процеси.

Мета досліджень і розрахунків перехідних процесів в тому, щоб, з'ясувавши особливості роботи та якісно нові властивості при кількісних змінах у СЕП,

навчитися передбачати перебіг та вірогідність перехідних процесів і керувати ними. Дослідження та розрахунки перехідних процесів – необхідні умови вирішення багатьох завдань, що виникають при проектуванні та експлуатації СЕП. Зокрема, для вибору принципів дії і настроювання автоматичних пристроїв протиаварійного керування, аналізу електромеханічних перехідних процесів з метою визначення умов стійкості електричного навантаження та розробки заходів для забезпечення безперервної роботи промислових підприємств у різних режимах СЕП. На основі досліджень і розрахунків перехідних процесів вирішуються найважливіші питання проектування, спорудження та експлуатації СЕП.

З урахуванням перехідного процесу повинні бути забезпечені зміни параметрів режиму СЕП, за якими якісні показники електропостачання споживачів істотно б не знижувалися. Тому таке важливе значення мають зменшення тривалості перехідного процесу, вилучення можливості виникнення нових перехідних процесів, завершення перебігу перехідного процесу достатньо надійним режимом.

При аналітичних дослідженнях перехідних процесів використовують метод перетворення координат, комплексні величини для опису миттєвих значень змінних, метод симетричних складових, схеми заміщення для різних режимів СЕП та ін. Застосовують також графоаналітичний метод подання перехідних

процесів. Для розв'язку складних завдань та здійснення традиційних розрахунків перехідних процесів широко використовують обчислювальну техніку.

Розрахунки струмів КЗ необхідні для:

- З'ясування умов роботи споживачів при можливих КЗ та знаходження допустимості того чи іншого режиму;
- Вибору електричних апаратів електроустановок по умовам термічної та електродинамічної стійкості;
- Проектування і настройка засобів релейного захисту та автоматики СЕП;
- З'ясування впливу струмів КЗ на лінії зв'язку;
- Вибір розрядників;
- Аналізу аварій в електроустаткуванні.

В цьому розділі розглядаються такі питання як розрахунок параметрів схеми заміщення та її еквівалентування, розрахунки надперехідного струму трифазного КЗ, розподіл струму КЗ, визначення надлишкових напруг, розрахунки струмів КЗ застосовуючи методи розрахункових та типових кривих, розрахунок несиметричного КЗ.

Зобразимо розрахункову схему (рис. 2.14). Розрахункова схема – це спрощена однолінійна схема із позначенням всіх елементів електричної установки: джерел живлення (електричні станції, генератори),

які беруть участь у підживленні точки КЗ і елементів мережі (ЛЕП, трансформаторів, реакторів), які зв'язують джерела живлення із точками КЗ, – а також параметрів всіх згаданих вище елементів, необхідних для розрахунку.

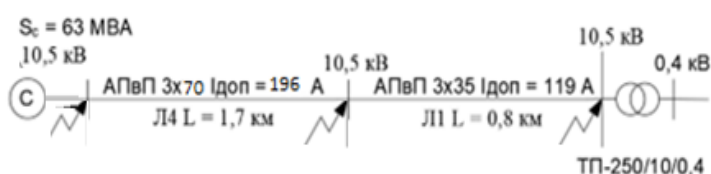


Рисунок 2.14– Розрахункова схема

Зі схеми бачимо, що живлення здійснюється від електроенергетичної системи. Від шин цієї підстанції живлення йде по кабельним лініям (Л5, Л1) до понижуючого трансформатора 10/0,4.

Таблиця 2.26 містить параметри схеми

Таблиця 2.26 – Параметри елементів з електричної частини

Позначення на РС	Кабельні та повітряна лінії марки АпвП				
	Марка та переріз кабелю	L, км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{\text{доп}}$, А
Л5	АпвП 3х35	1,3	0,868	0,095	119
Л1	АпвП 3х35	0,7	0,868	0,095	119

В розрахунках цього розділу орієнтуватимемось на вибрані за довідником дані. Після складання розрахункової схеми складають спрощену схему заміщення, де кожен елемент РС представлений своєю схемою заміщення в індуктивних опорах.

Побудова спрощеної загальної схеми заміщення і розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Схема заміщення (СЗ) – це електрична схема, яка відповідає за структурою РС і в якій усі магнітні (трансформаторні) зв'язки замінені електричними. СЗ складається для однієї фази як сукупність СЗ її окремих елементів, зв'язаних між собою в тій же послідовності.

Так як розрахунок режиму КЗ необхідно виконувати для декількох точок КЗ, складаємо загальну СЗ і розрахунок параметрів елементів СЗ здійснюємо один раз при загальних базисних умовах.

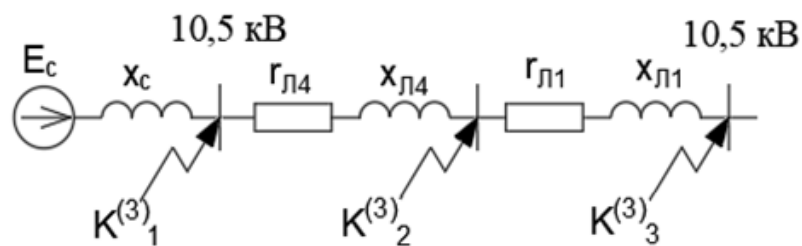


Рисунок 2.15 –Загальна схема заміщення

2.7.1.2 Розрахунок трифазного короткого замикання

Відповідно до таблиці 2.7.1 визначаємо параметри елементів схеми заміщення.

$$U_6 = 10 \text{ Кв},$$

Згідно індивідуального завдання маємо такі дані:

$$S_{кз}, = 3000 \text{ Ква},$$

$$R_{пр} = 3000 \text{ Ом},$$

$$I_{кз,Ка} = 15 \text{ А}.$$

Енергосистеми:

$$S_c = 30 \text{ МВА},$$

$$x_c = x_c'' \cdot \frac{U_c^2}{S_c} = 0,18 \cdot \frac{10^2}{30} = 0,6 \text{ Ом}, \quad (2.58)$$

$$E_c = \frac{U_6}{\sqrt{3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06 \text{ В}. \quad (2.59)$$

Кабельні лінії КЛ5 та КЛ1:

$$r_{КЛ5} = r_{0КЛ5} \cdot l_{КЛ5}, x_{КЛ5} = x_{0КЛ5} \cdot l_{КЛ5}, \quad (2.60)$$

$$r_{КЛ5} = 0,868 \cdot 1,3 \cdot 0,6 = 0,095 \cdot 1,3 = 0,67 \text{ Ом}.$$

$$r_{КЛ1} = r_{0КЛ1} \cdot l_{КЛ1}, x_{КЛ1} = x_{0КЛ1} \cdot l_{КЛ1}, \quad (2.61)$$

$$r_{КЛ1} = 0,868 \cdot 0,7 \cdot 0,095 = 0,095 \cdot 0,7 = 0,057 \text{ Ом}.$$

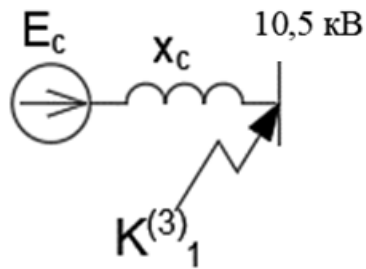


Рисунок 2.16 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_1^{(3)}$

$$r_{рез} = 0,$$

$$x_{рез} = x_c = 0,6 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2}, \quad (2.62)$$

$$Z_{рез} = \sqrt{0^2 + 0,6^2} = 0,6 \text{ Ом}.$$

$$I_{K1} = \frac{E_c}{Z_{рез}}, \quad (2.63)$$

$$I_{K1} = \frac{6,06}{0,6} = 10,1 \text{ Ка}.$$

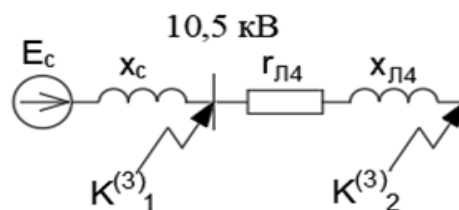


Рисунок 2.17 – еквівалентна схема заміщення для точки $K_2^{(3)}$

$$r_{рез} = r_{л5} = 0 \text{ Ом},$$

$$x_{рез} = x_c + x_{пл5}, \quad (2.64)$$

$$x_{рез} = 0,6 + 0,095 = 0,696 \text{ Ом}.$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2}, \quad (2.65)$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{0^2 + 0,695^2} = 0,695 \text{ Ом.}$$

$$I_{K32} = \frac{E_c}{Z_{\text{рез}}}, \quad (2.66)$$

$$I_{K32} = \frac{6,06}{0,6} = 1,01 \text{ А.}$$

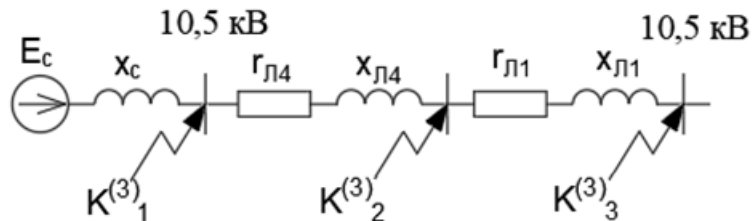


Рисунок 2.18 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_3^{(3)}$

$$r_{\text{рез}} = r_{\text{л5}} + r_{\text{л1}}, \quad (2.67)$$

$$r_{\text{рез}} = 0,67 + 0,057 = 0,72 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{рез}} = x_c + x_{\text{л5}} + x_{\text{л1}}, \quad (2.68)$$

$$x_{\text{рез}} = 0,6 + 0,6 + 0,095 = 1,295 \text{ Ом.}$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r_{\text{рез}}^2 + x_{\text{рез}}^2}, \quad (2.69)$$

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{0,72^2 + 1,295^2} = 2,01 \text{ Ом.}$$

$$I_{K33} = \frac{E_c}{Z_{\text{рез}}}, \quad (2.70)$$

$$I_{K33} = \frac{6,06}{2,01} = 3,01 \text{ А.}$$

(цей струм треба взяти для розрахунку трифазного КЗ нижче 1 Кв)

Визначаємо інші електричні характеристики точки $K_3^{(3)}$.

Визначаємо сталу затухання аперіодичної складової:

$$T_{\text{АкЗ}} = \frac{x_{\text{рез}}}{\omega \cdot r_{\text{рез}}}, \quad (2.71)$$

$$T_{\text{АкЗ}} = \frac{1,295}{314 \cdot 0,72} = 0,005.$$

Де $\omega = 2\pi \cdot f$ – кутова частота.

Визначаємо ударний коефіцієнт, враховуючи значення сталої часу затухання аперіодичної складової та час настання ударного струму:

$$k_{y\text{КЗ}} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{\text{АкЗ}}}}, \quad (2.72)$$

$$k_{y\text{КЗ}} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{\text{АкЗ}}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,005}} = e^{-2} = 1,14. \quad (2.73)$$

Враховуючи значення над перехідного струму та ударного коефіцієнту, знаходимо ударне значення струму та максимальне діюче значення повного струму:

$$i_{y\text{КЗ}} = \sqrt{2} \cdot k_{y\text{КЗ}} \cdot I_{\text{КЗ}} I_{\text{ДКЗ}} = I_{\text{КЗ}} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{y\text{КЗ}} - 1)^2}, \quad (2.74)$$

$$i_{y\text{КЗ}} = \sqrt{2} \cdot k_{y\text{КЗ}} \cdot I_{\text{КЗ}} I_{\text{ДКЗ}} = 1,414 \cdot 1,14 \cdot 15 = 24,2 \text{ А}, \quad (2.75)$$

де $i_{y\text{КЗ}}$ – ударне значення струму;

$i_{\text{ДКЗ}}$ – найбільше діюче значення повного струму.

Розраховуємо значення теплового імпульсу, де враховуємо повний час проходження КЗ.

$$W_{\text{КЗ}} = I_{\text{КЗ}}^2 \cdot (t_{\text{відкл}} + T_{\text{АкЗ}}) = 15 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (2.76)$$

$$W_{\text{КЗ}} = 15^2 \cdot (0,04 + 0,005) = 10,125 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

де $t_{\text{відкл}} = t_{\text{з}} + t_{\text{вимик}}$ час початку КЗ до його відключення, с, з врахуванням часу спрацювання захисту та повного часу вимикання вимикача з приводом, с.

Проводимо аналогічний розрахунок для всіх точок КЗ та зводимо результати у таблицю 2.27.

Таблиця 2.27 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	$x_{\Sigma i}$	$r_{\Sigma i}$	I_i'' , Ка	T_{aki} , с	$k_{уди}$	$i_{уди}$, Ка	$I_{ди}$, Ка	$\frac{B_{ki}}{Ka^2 \cdot c}$
К1	0,33	0	15	0,005	-	-	-	-
К2	1,15	0,50	0,263	0,0073	2	0,0027	0,27	0,059
К3	38,92	2,44	0,132	0,0050	1,81	0,00093	0,20	0,015

2.7.1.2 Розрахунок однофазного короткого замикання

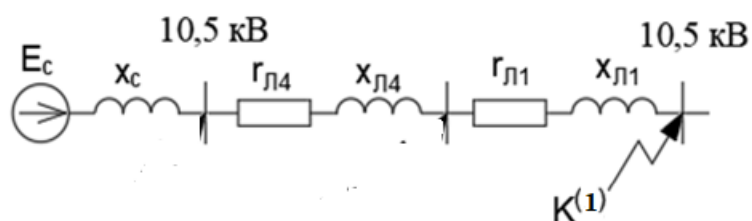


Рисунок 2.21 – Схема однофазного короткого замикання

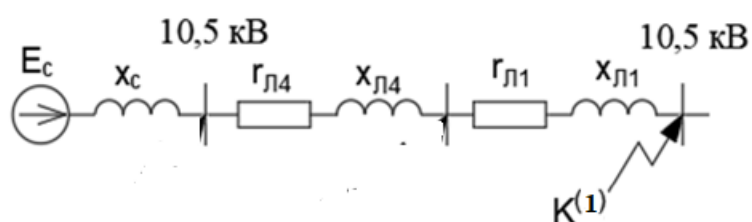


Рисунок 2.22 – Пряма схема заміщення

$$r_{1рез} = r_{пл1} + r_{пл5}, \quad (2.77)$$

$$r_{1рез} = 0,057 + 0,095 = 0,152 \text{ Ом.}$$

$$X_{1рез} = x_c + x_{пл1} + x_{пл5}, \quad (2.78)$$

$$x_{1рез} = 0,6 + 0 + 0,95 = 1,55 \text{ Ом.}$$

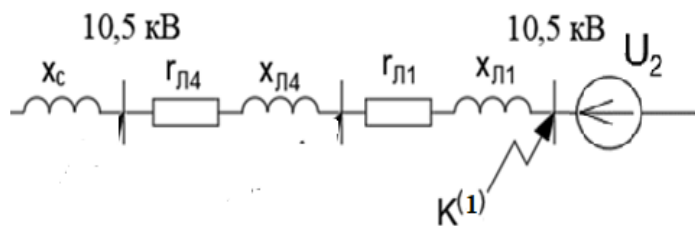


Рисунок 2.23 – Зворотня схема заміщення

$$r_{2рез} = r_{пл1} + r_{пл5} , \quad (2.79)$$

$$r_{2рез} = 0,695 + 0 = 0,695 \text{ Ом.}$$

$$X_{2рез} = x_{пл1} + x_{пл5}, \quad (2.80)$$

$$X_{2рез} = 0,057 + 0,095 = 0,152 \text{ Ом.}$$

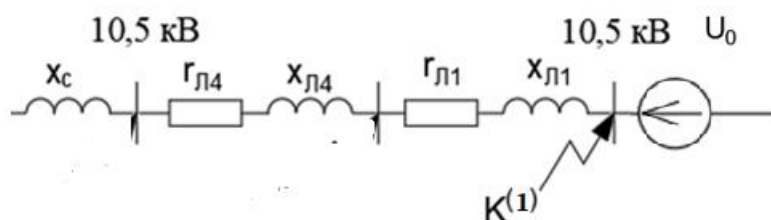


Рисунок 2.24 – Нульова схема заміщення

$$r_{пл0} = 3,5 \cdot r_{пл} , \quad (2.81)$$

$$r_{пл0} = 3,5 \cdot 0,057 = 0,199 \text{ Ом,}$$

$$X_{пл0} = 3,5 \cdot 1,55 = 5,4 \text{ Ом,}$$

$$I_{кз}^{(1)} = 15 \text{ Ка,}$$

$$X_{с0} = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E_c}{I_{кз}^{(1)}} - (X_{c1} + X_{c2}), \quad (2.82)$$

$$X_{с0} = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{6,06}{15} - (0,6 + 0) = 0,099 \text{ Ом.}$$

$$r_{0рез} = r_{пл01} + r_{пл05}; \quad (2.83)$$

$$r_{0рез} = 0,199 + 0,695 = 0,894 \text{ Ом.}$$

$$X_{0рез} = r_{пл01} + r_{пл05}; \quad (2.84)$$

$$X_{0рез} = 0,095 + 1,55 = 1,645 \text{ Ом.}$$

Тепер знаходимо струм КЗ в точці К⁽¹⁾:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{3 \cdot E_c}{\sqrt{3} \sqrt{(r_{1\text{pez}} + r_{2\text{pez}} + r_{0\text{pez}})^2 + (x_{1\text{pez}} + x_{2\text{pez}} + x_{0\text{pez}})^2}}; \quad (2.85)$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{3 \cdot 6,06}{\sqrt{3} \sqrt{(0,152 + 0,695 + 0,894)^2 + (1,5 + 0,152 + 1,645)^2}} = 4,88 \text{ Ка.}$$

Визначимо постійну часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{ak}^{(1)} = \frac{x_{\Sigma}^{(1)}}{\omega \cdot r_{\Sigma}^{(1)}}, \quad (2.86)$$

$$T_{ak}^{(1)} = \frac{3,297}{3,14 \cdot 1,741} = 0,603 \text{ с.}$$

Розраховуємо ударний коефіцієнт при однофазному КЗ:

$$k_{\text{уд}}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ak2}^{(1)}}}, \quad (2.87)$$

$$k_{\text{уд}}^{(1)} = 1 + e^{-1,667} = 1 + 0,1889 = 1,19.$$

Розраховуємо ударний струм при однофазному КЗ:

$$i_{\text{уд}}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}2}^{(1)} \cdot I_{\text{кз}}^{(1)}, \quad (2.88)$$

$$i_{\text{уд}}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,19 \cdot 15 = 25,24 \text{ А.}$$

Розраховуємо найбільше діюче значення повного струму короткого замикання:

$$I_{\text{д}}^{(1)} = I_{\text{кз}}^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{\text{уд}2}^{(1)} - 1)^2}; \quad (2.89)$$

$$I_{\text{д}}^{(1)} = 15 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,19 - 1)^2} = 15,53 \text{ А.}$$

Розраховуємо значення теплового імпульсу:

$$B_{\text{к}}^{(1)} = I_{\text{кз}}^{(1)2} \cdot (t_{\text{відімк}} + T_{ak2}^{(1)}), \quad (2.90)$$

$$B_{\text{к}}^{(1)} = 15^2 \cdot (0,18 + 0,005) = 41,625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

де $t_{\text{відімк}}$ – час від початку КЗ до його відімкнення, с.

$$t_{\text{відімк}} = t_3 + t_{\text{вимик}} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ с.} \quad (2.91)$$

$t_3 = 0,1$ – час спрацювання релейного захисту,с;

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ – повний час вимикання вимикача з приводом, с.

Результати розрахунків для точки К2 заносимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Результати розрахунків для точки К1 .

Точка КЗ	$x_{\Sigma}^{(1)}$	$r_{\Sigma}^{(1)}$	$I_{\text{КЗ}}^{(1)},$ Ка	$T_{\text{ак}}^{(1)},$ с	$k_{\text{уд}}^{(1)}$	$i_{\text{уд}}^{(1)},$ Ка	$I_{\text{д}}^{(1)},$ Ка	$B_{\text{к}}^{(1)},$ Ка ² ·с
К ⁽¹⁾	0,67	0,868	15	0,603	1,19	25,24	15,53	41,625

Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та

ВИСНОВКИ;

Вибір комутаційних апаратів за умовами нормального режиму проведено в розділі 2.6 (2.13).

Таблиця 2.13 Перевірка комутаційних апаратів 10 Кв

Напруга	Вибраний елемент	Параметри	Умови перевірки	Розрахункові дані	Каталожні дані
10 Кв	Вимикач ВР2- 10/1600- 31,5УЗ	Струм динамічної стійкості	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{мах}}$ $I'' \leq I_{\text{вимик}}$	7,665 Ка 3,962 Ка	51 Ка 31,5 Ка
		Тепловий імпульс	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т.с}}^2 t_{\text{т.с}}$	2,983 Ка ² с	1200 Ка ² с
10 Кв	Роз єднувач РВЗ- 10/630У2	Струм динамічної стійкості	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{мах}}$ $I'' \leq I_{\text{вимик}}$	7,665Ка 3,962 Ка	52 Ка 20 Ка
		Тепловий імпульс	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т.с}}^2 t_{\text{т.с}}$	2,983Ка ² с	1200 Ка ² с

Перевірка перерізу провідників

Перевірка проводиться за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} < F$$

де F – переріз вибраного кабелю, мм²;

F_{min} – мінімально допустимий переріз по умові термічної стійкості, мм².

Величину F_{min} розраховуємо за формулою:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}. \quad (2.92)$$

де C – коефіцієнт, відповідний різниці температур провідника до і після КЗ, $C = 75 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$.

Для ПЛ1:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{5,18 \cdot 10^3}}{75} = 30 \text{ мм}^2,$$

Результати розрахунків наводимо у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Перевірка перерізів ПЛ і КЛ.

Ділянка	$F_{поч}$,	B_k , $\text{Ка}^2 \cdot \text{с}$	F_{min} , мм ²	$F_{об}$, мм ²
ПЛ 1	150	5,2	30	150
ПЛ5	150	3	23	150

2.7.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 Кв

2.7.2.1 Розрахунок трифазного короткого замикання

Опори збірних шин та їх з'єднання мають істотний вплив на струми КЗ в мережі до 1 Кв, а також трансформатори струму, розмикаючі котушки автоматичних вимикачів. Помітний вплив мають опори контактних з'єднань – болтових з'єднань шин, перехідний опір контакту в місці КЗ, також зажимних контактів апаратів.

Всі активні та індуктивні опори короткозамкнутого кола, будемо враховувати при розрахунках. Розрахунок проведемо в іменованих одиницях. РС зображена на рисунку 2.26

Вихідні дані:

Система: струм КЗ $I_{КЗ3}^3$ (струм береться розрахований вами раніше)

Приймаємо трансформатор типу ТМ 100/10 з такими паспортними даними

$S_H = 250 \text{ Ква}, U_{HB} = 10 \text{ Кв}, U_{HH} = 0,4 \text{ Кв}, \Delta P_{K3} = 3,7 \text{ кВт}, U_K = 4,5 \%, \Delta I_{xx} = 2,3\%, \Delta P_{xx} = 0,74 \text{ Кв}.$

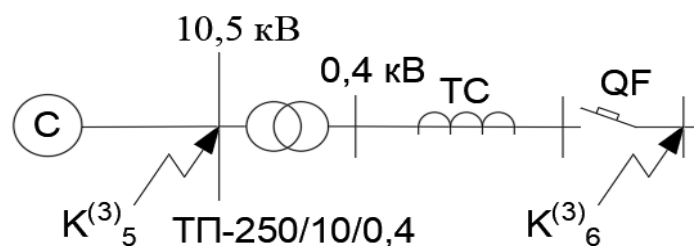


Рисунок 2.26 – Розрахункова схема

Розрахунок параметрів схеми заміщення у іменованих одиницях:

Опір системи:

$$x_c = \frac{U_{HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ3}^3 \cdot U_{HB}}, \quad (2.93)$$

$$x_c = \frac{0,4^2}{\sqrt{3} \cdot 15^3 \cdot 10} = 2,73 \text{ Ом.}$$

Опори трансформатора:

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot (U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H^2} \quad (2.94)$$

$$r_T = \frac{0,74 \cdot (0,4)^2 \cdot 10^6}{250^2} = 1,89 \text{ Ом.}$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{U_K}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{K3}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{(U_{HH})^2 \cdot 10^6}{S_H}, \quad (2.95)$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{3,7}{250}\right)^2} \cdot \frac{(0,4)^2 \cdot 10^6}{250} = 27,20 \text{ Ом.}$$

Опори шин:

$$r_{ш} = r_{ш.0} \cdot l_{ш} \cdot \quad (2.96)$$

$$x_{ш} = r_{ш.0} \cdot l_{ш} \cdot \quad (2.97)$$

Активний опір болтового з'єднання:

$$r_{б.к} = 0,003 \text{ мОм.}$$

Побудуємо СЗ для визначення струмів КЗ в точці

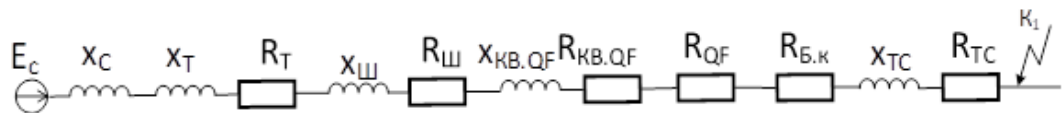


Рисунок 2.27 – Схема заміщення

Еквалентуємо СЗ:

$$x_1 = x_c + x_T + x_{KB.SF} + x_{ш} + x_{TC}, \quad (2.98)$$

$$r_1 = r_{ш} + 4 \cdot r_{б.к} + r_{KB.SF} + r_T + r_{KSF} + r_{TC}, \quad (2.99)$$

Виконаємо розрахунок надперехідного значення струму трифазного КЗ:

$$I_4^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_1^2 + r_1^2}}, \quad (2.100)$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму трифазного КЗ:

$$T_{\text{ак4}}^{(3)} = \frac{x_1}{\omega \cdot r_1} = \frac{30}{314 \cdot 10,5} = 0,009. \quad (2.101)$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{\text{к4}}^{(3)} = I_4^{(3)^2} \cdot (t_{\text{відімк}} + T_{\text{ак4}}^{(3)}), \quad (2.102)$$

де $t_{\text{відімк}}$ -час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{\text{відімк}} = t_3 + t_{\text{вимик}}, \quad (2.103)$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ – час вимкнення вимикача, с;

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{\text{уд4}}^{(3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{\text{ак6}}^{(3)}}}, \quad (2.104)$$

$$i_{\text{уд4}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд4}}^{(3)} \cdot I_4^{(3)},$$

Розрахунок найбільшого діючого значення струму короткого замикання:

$$I_{\text{у4}}^{(3)} = I_4^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{\text{уд4}}^{(3)} - 1)^2},$$

2.7.2.2 Розрахунок струму однофазного КЗ

Проведемо розрахунок струму однофазного КЗ в К₄⁽¹⁾.

Схема заміщення прямої послідовності

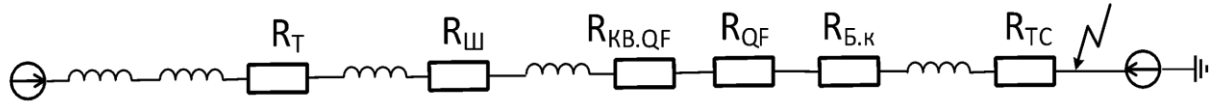


Рисунок 2.28 – СЗ прямої послідовності

$$x_1 = x_c + x_T + x_{KB.SF} + x_{Ш} + x_{ТС}, \quad (2.106)$$

$$r_1 = r_{Ш} + 4 \cdot r_{Б.К} + r_{KB.SF} + r_T + r_{КСF} + r_{ТС}. \quad (2.107)$$

Схема заміщення нульової послідовності:

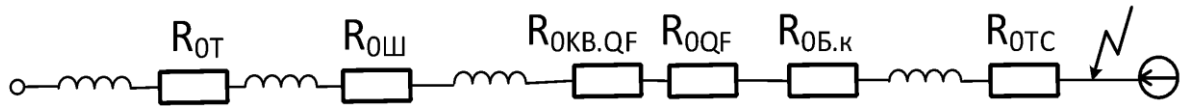


Рисунок 2.29 – Схема заміщення нульової послідовності

Опори нульової послідовності шин:

$$x_{Ш.0} = 8,5 \cdot x_{Ш},$$

$$r_{Ш.0} = 10 \cdot r_{Ш}.$$

Розрахунок еквівалентних активних та індуктивних опорів нульової послідовності для $K_4^{(1)}$:

$$x_0 = x_{T0} + x_{KB.QF0} + x_{Ш0} + x_{ТС0},$$

$$r_0 = r_{T0} + 4 \cdot r_{Б.К0} + r_{К.QF0} + r_{KB.QF0} + r_{Ш.0} + r_{ТС0}.$$

Діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_4^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot U_{HH}) \cdot 10^3 \cdot m^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_1 + r_0)^2 + (2 \cdot x_1 + x_0)^2}}.$$

Де x_0 та r_0 - індуктивний та активний опір схеми заміщення нульової послідовності, $m = 3$.

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму КЗ:

$$T_{ак4}^{(1)} = \frac{2 \cdot x_1 + x_0}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (2 \cdot r_1 + r_0)},$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак6}^{(1)}}},$$

Розрахунок ударного струму для $K_6^{(1)}$:

$$i_{уд4}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4}^{(1)} \cdot I_4^{(1)},$$

Розрахунок найбільшого значення повторного струму КЗ:

$$i_{y4}^{(1)} = I_4^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд4}^{(1)} - 1)^2},$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{к4}^{(1)} = i_4^{(1)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак6}^{(1)}), \quad (2.108)$$

де $t_{відімк}$ - час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик},$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{вимик} = 0,08$ - час вимкнення вимикача, с;

2.7.2.3 Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та

ВИСНОВКИ

Дані комутаційного апарату та умови перевірки занесені в таблицю 2.28.

Таблиця 2.28 – Перевірка комутаційних апаратів 0,4 Кв

Напруга	Вибраний елемент	Параметри	Умови перевірки	Розрахункові дані	Каталожні дані
0,4 Кв	ABN203с 250А30Ка	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{max}$ $I'' \leq I_{вимик}$	14 8	30Ка
	Обраний вами в п. 2.6	Тепловий імпульс	$B_{\kappa} \leq I_{m.c}^2 t_{m.c}$	10	$1200Ka^2 \cdot c$

З таблиці 2.28 можна побачити що обраний апарат відповідає вимогам та підходить для даного випадку.

Таким чином, в проєкті проведено розрахунок однофазного та трифазного струмів КЗ. Також проведено перевірку комутаційних апаратів.

2.8 Релейний захист та автоматика (РЗА)

Розрахунок параметрів струмової відсічки

Розрахунок струмової відсічки для лінії напругою 10 Кв і трансформатора зі спадною напругою 10/0,4 Кв. Надаємо також схему захисту.

(Надається розрахунок струмової відсічки та схема захисту на основі конкретних вхідних даних, таких як параметри лінії і трансформатора, а також вимоги до захисту.) Вихідні дані будемо брати із електричної частини.

На рисунку зображено схему завдання:

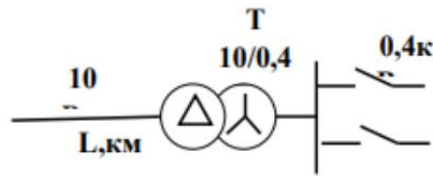


Рисунок 2.11- Схема завдання

Струм спрацьовування СВ повинен бути більшим за максимальний струм к.з. у місці підключення найближчого до РТП трансформатора 10/0,4 Кв.

10. Розраховуємо струм спрацьовування відсічки за умови:

$$A) I_{\text{сп.СВ}} \geq k_n \cdot I_{\text{к max}}, \quad (2.109)$$

$$I_{\text{сп.СВ}} \geq 0,95 \cdot 1278,2 = 1214,29 \text{ A},$$

$$B) I_{\text{сп.СВ}} \geq \frac{(4...5) \sum S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$$

$$I_{\text{сп.СВ}} \geq \frac{4 \cdot 3000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 692,28 \text{ A}.$$

$I_{\text{к max}}$, - Максимальний струм к.з. ($I_{\text{к}}^3$) у точці підключення найближчого до РП трансформатора 10/0,4 Кв, А;

k_n - коефіцієнт надійності (для реле РЗЛ-05 $k_n = 0,95 \dots 0,98$).

$\sum S_{\text{н.тр}}$ - сумарна потужність трансформаторів ТП 10/0,4 Кв, що живляться від лінії 10 Кв, Ква.

В якості струму спрацьовування відсічки вибираємо більше із отриманих значень:

$$I_{\text{сп.СВ}} = 1214,29 \text{ A}.$$

2. Визначаємо струм спрацьовування реле відсічки:

$$I_{\text{сп. Р.СВ}} = \frac{I_{\text{сп.СВ}} \cdot k_{\text{сх}}^{(3)}}{k_{\text{мс}}}, \quad (2.110)$$

$$I_{\text{сп. Р.СВ}} \geq \frac{1214,29}{\frac{150}{3}} = 269,57 \text{ А.}$$

$I_{\text{сп. Р.СВ}}$ -найбільше із значень, що отримані за виразами із першого пункту;

$k_{\text{сх}}^{(3)}$ -коефіцієнт схеми;

$k_{\text{мс}}$ - коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

3. Визначаємо кратність відсічки (для реле [РЗЛ-05](#)) :

$$K_{\text{відс}} = \frac{I_{\text{сп. Р.СВ}}}{I_{\text{у. р.МСЗ}}}, \quad (2.111)$$

$I_{\text{у. р.МСЗ}}$ - струм уставки МСЗ реле РТ-84/1.

$$K_{\text{СВ}} = \frac{269,57}{15} = 17,971$$

Умова виконується, так як кратність відсічки для реле типу РЗЛ-05 може мати значення: 2, 4, 6, 8, 12, 16, 18. Приймаємо $K_{\text{СВ}}=18$

5. Визначаємо уточнений струм спрацьовування реле СВ:

$$I'_{\text{сп.р.СВ}} = I_{\text{у. р. МЗС}} \cdot k_{\text{СВ}} \quad (2.112)$$

$$I'_{\text{сп.р.СВ}} = 15 \cdot 18 = 270 \text{ А.}$$

10. Дійсне (уточнене) значення струму спрацьовування відсічки:

$$I'_{\text{сп.СВ}} = \frac{k_{\text{т.с}} \cdot I'_{\text{у.р.СВ}}}{k_{\text{сх}}}$$

$$I'_{\text{сп.СВ}} = \frac{\frac{150}{3} \cdot 270}{1} = 1350 \text{ А.}$$

10. Виконуємо перевірку струмової відсічки на чутливість:

$$K_{\text{ч.СВ}} = \frac{I_{\text{к}}^{(3)}}{I_{\text{у. р.СВ}}} \cdot \frac{k_{\text{сх.min}}}{k_{\text{т.с}}}, \quad (2.113)$$

$$K_{ч.СВ} = \frac{5330}{270} \cdot \frac{1}{\frac{150}{3}} = 0,39$$

$I_k^{(3)}$ - струм к.з. у місці встановлення захисту в найбільш сприятливому за умовами чутливості режимі (трифазне к.з.).

$k_{сх.min}$ - мінімальне значення коефіцієнта схеми

Для захистів повітряних ліній $k_{сх.min} \geq 1,2$

$2,6 > 1,2$ - умова виконується.

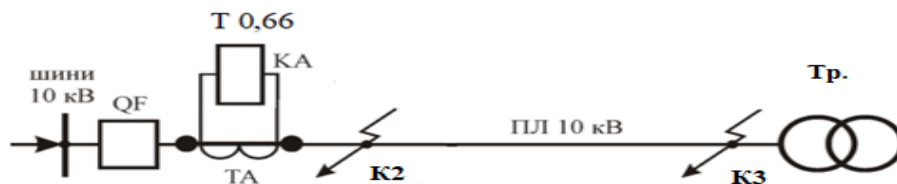


Рисунок 2.23 – Розрахункова схема лінії 10 Кв

2.9. Організація обліку електричної енергії на об'єкті проектування.

2.9.1. Призначення та роль лічильника ВДЕ

Лічильники ВДЕ є невід'ємною частиною автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Завдання цих лічильників— це точний облік виробленої електроенергії від відновлюваних джерел (сонячних, вітрових, біоенергетичних тощо) та передача цих даних до центральної системи обліку. Забезпечуючи: прозорість розрахунків між підприємством та ОСР та моніторинг роботи ВДЕ-установок і оптимізацію енергоефективності підприємства.

2.9.2 Основні вимоги до лічильників ВДЕ

Для інтеграції в АСКОЕ лічильники повинні відповідати наступним вимогам:

- 1.Багатотарифність: підтримка обліку за різними тарифами.
- 2.Висока точність: клас точності не нижче 0,5 S.
- 3.Наявність інтерфейсів зв'язку: [RS-485](#), Ethernet, GSM/GPRS для передачі даних на ОСР
- 4.Можливість зберігання профілів навантаження: для аналізу споживання та генерації енергії.
- 5.Сумісність з програмним забезпеченням АСКОЕ: для забезпечення інтеграції в загальну систему обліку.



Рисунок 2.24-Лічильник електроенергії SL 5000

Характеристики даного лічильника показують що цей лічильник є альтернативним варіантом для ведення обліку на промисловому підприємстві.

Таблиця 2.29 основні характеристики SL 5000 лічильника:

Тип лічильника	Параметр	Значення
Лічильник безпосереднього включення	Базовий (I_b)	5A (300A*)
Лічильник безпосереднього включення	Максимальний (I_{max})	120A (3000A*)
Лічильник безпосереднього включення	Стартовий струм	не більше 0.4% I_b (0.1% I_b^*)
Лічильник безпосереднього включення	Перевантаження (півперіод)	30 I_{max}
Лічильник ТС (ТН/ТС) включення	Номінальний (I_{nom})	будь-яке стандартне значення від 1A до 5A
Лічильник ТС (ТН/ТС) включення	Максимальний (I_{max})	10A
Лічильник ТС (ТН/ТС) включення	Стартовий струм	не більше 0.2% I_{nom} для лічильників класу 1.0; не більше 0.1% I_{nom} для лічильників класу 0.2s і 0.5s
Лічильник ТС (ТН/ТС) включення	Перевантаження (0.5 сек)	20 I_{max}

2.9.3. Інтеграція лічильника ВДЕ в систему АСКОЕ

Під інтеграцією лічильника SL 5000 в АСКОЕ передбачаємо:

Інтеграція лічильника ВДЕ в АСКОЕ передбачає:

Передача даних до ОСР, для розрахунків та аналізу електроенергії та налаштування параметрів обліку, що включають ведення тарифних зон, інтервалів обліку тощо.

4.2.Встановлення лічильника на виході ВДЕ-установки.

4.3.Підключення до системи збору даних: через відповідні інтерфейси зв'язку.

Всі ці кроки дозволяють нам вести облік за обсягами виробленої електроенергії тим самим зменшуючи витрати на електроенергії за рахунок використання ВДЕ та оптимізовувати споживання при використанні власної генерації.

Промислове підприємство що має на меті отримувати часткове забезпечення електроенергією за рахунок СЕС,повинно враховувати витрати на приєднання до елетромереж до оператору системи розподілу.

Які регулюються:

- Постановою НКРЕКП №2119[17] і №2120[18] від 18.12.2024 (про ставки стандартного та нестандартного приєднання відповідно)
- Кодексом систем розподілу НКРЕКП №310 від 14.03.2018[19]

Рекомендації по типу приєднання для промислових підприємств

Для більшості промислових підприємств використовується не стандартне приєднання до електромереж,що має такі характеристики:Потужність СЕС перевищує 600 кВт та не перевищує напруги преднання 10 Кв або 35 Кв.

Напруга приєднання — 10 Кв або 35 Кв;

Необхідна реконструкція або будівництво окремих ділянок електромереж.

Для промислового підприємства, яке встановлює СЕС потужністю 50 кВт з приєднанням до мережі 10 Кв:

Підсумовуючи інформацію з офіційного калькулятора вартості НКРЕКП, вартість приєднання до ОСР може становити:від 770000-800000(без ПДВ), також цей фактор залежить від регіону, специфіки місцевих мереж та технічних умов.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ЙОГО ЧАСТКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ

Сонячна фотоелектрична система включає різні компоненти, які слід вибирати відповідно до типу вашої системи, місця розташування та застосувань. Основними компонентами сонячної фотоелектричної системи є контролер заряду сонячної батареї, інвертор, акумуляторна батарея, допоміжні джерела енергії та навантаження (прилади).

Фотоелектричний модуль – перетворює сонячне світло на постійний струм.

Контролер заряду сонячної батареї – регулює напругу та струм, що надходять від фотоелектричних панелей до акумулятора, запобігає перезарядженню акумулятора та продовжує термін його служби.

Інвертор – перетворює постійний струм фотоелектричних панелей або вітрової турбіни на чистий змінний струм для приладів змінного струму або подається назад у мережу.

Акумулятор накопичує енергію для живлення електроприладів, коли є потреба.

Таблиця 3.1. Навантаження – промисловий об'єкт

3.1 Визначення розміру сонячної фотоелектричної системи

Визначення потреб у споживанні енергії

Першим кроком у проектуванні сонячної фотоелектричної системи є визначення загальної потужності та споживання енергії всіма навантаженнями, які повинні забезпечуватися сонячною фотоелектричною системою

	№ на плані	ЕП	K_b	$\cos\varphi$	Ном. Пот., кВт	Сумарна потужність
СП1	2,3,14	Строгальні верстати	0,18	0,55	16,2	48,6
СП2	4-8	Токарно-револьверні верстати	0,15	0,5	12,5	50
	9-12	Шліфувальні верстати	0,2	0,5	4,2	12,6
	13,15,17	Вертикально-свердильні	0,14	0,5	6,2	18,6
СП3	18,23,32-35	Заточувальні верстати	0,25	0,65	8	40
	19-22,24,25	Фрезерувальні верстати	0,22	0,55	10	50
	26-29	Електричні печі опору	0,8	0,92	50	150
СП4	30,31	Електричні печі індукційні	0,6	0,9	26	52
СП5	36-41	Вентиляція	0,5	0,7	8,2	24,6
	1,42,43	Мостові крани, ТВ=25%	0,12	0,5	30	90
Загальна потужність						536,4

Визначення розміру фотоелектричних модулів

Фотоелектричні модулі різного розміру вироблятимуть різну кількість енергії. Щоб визначити розмір фотоелектричного модуля, необхідно врахувати загальну пікову потужність, що виробляється у ватах. Пікова потужність, що виробляється (Вт), залежить від розміру фотоелектричного модуля та клімату місця розташування. Ми повинні враховувати «коефіцієнт генерації панелей», який різний у кожному місці розташування.

Щоб визначити розмір фотоелектричних модулів, обчисліть наступним чином:

- Розрахуйте загальну пікову потужність, необхідну для фотоелектричних модулів
- Розрахуйте кількість фотоелектричних панелей для системи
- Результат розрахунку – це мінімальна кількість фотоелектричних

3.2 Вибір сонячних панелей

Обираємо монокристалічні фотоелектричні модулі Longi Solar LR4-72HPH-500M -585M потужністю 500 Вт[20]. Оскільки об'єкт отримує живлення від

двотрансформаторної підстанції, частина щитів цеху заживлена від одного трансформатора, а інша частина відповідно від іншого. Відповідно слід забезпечити підключення станції до двох секцій РП 0,4 Кв ТП1.

Враховуючи

нерівномірність сонячного випромінювання пропонується встановити станцію.

Таблиця 3.2 Характеристики сонячних панелей

Виробник:	Longi Solar
Кількість елементів	72
Особливості сонячної панелі	Стаціонарна
Технології	PERC/Half-Cell
Матеріал рамки	Алюміній
Країна виробник	Китай
Гарантійний термін, міс	120
Номинальна напруга, В	24
Напруга при максимальній потужності, В	41.5
Напруга холостого ходу, В	49.4
Потужність, Вт	500

Струм короткого замикання, А	11.6
Струм при максимальній потужності, А	10.85
Тип панелі	Монокристалічна
Вага, кг	28
Габаритні розміри, (ДхВхШ), мм	

Продовження таблиці -Характеристики сонячних панелей 3.2

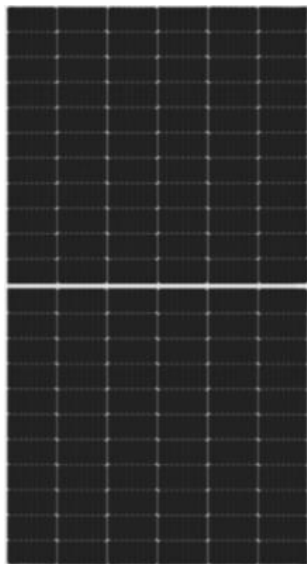


Рисунок 3.1 модулі Longi Solar LR4-72HPH-500M

Розрахуємо загальну кількість фотомодулів за наступною формулою, яка враховує потужність станції P_c та потужність фотоелектричного модуля:

$$N = \frac{P_c \cdot 1000}{P_m} = \frac{600 \cdot 1000}{500} = 1200 \text{ шт.} \quad (3.1)$$

Для ефективнішої роботи інвертора слід забезпечити рівномірне заповнення

рядів панелей. Передбачається встановлення $n=6$ інверторів. На один інвертор буде припадати наступна кількість панелей:

$$N_i = \frac{1200}{6} = 200 \text{ шт.}$$

PV Syst рекомендує здійснити розподіл панелей на 9 ліній (стрінгів) по 19 панелей в кожній лінії.

Рисунок 3.2 Графіки генерації

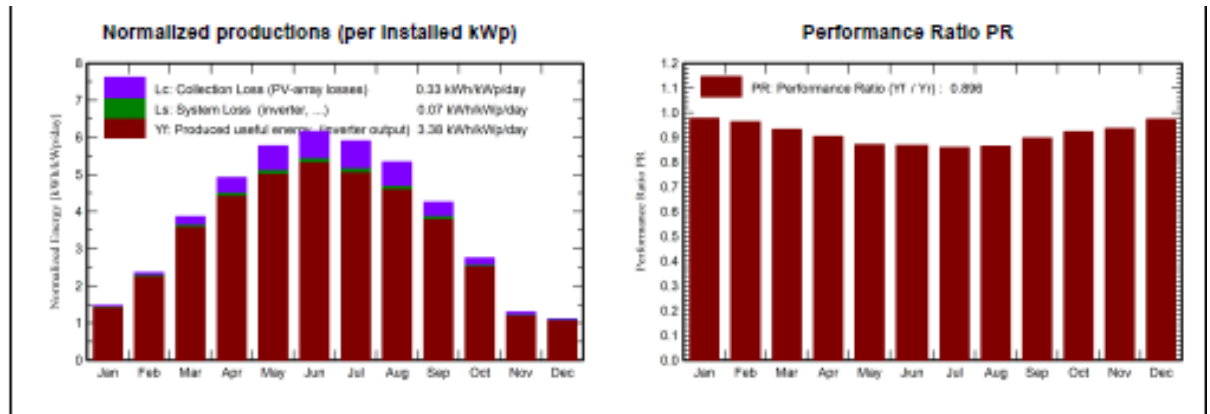


Рисунок 3.3-Таблиця генерації

Balances and main results								
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	25.2	15.39	-3.55	45.6	44.8	27205	26760	0.978
February	41.6	20.80	-2.82	66.0	64.9	38845	38192	0.964
March	88.5	38.26	2.35	119.8	117.8	68310	67078	0.933
April	128.1	56.70	9.92	147.5	144.8	81639	80055	0.904
May	169.9	69.42	16.16	179.0	175.2	95637	93642	0.872
June	186.1	83.16	19.08	184.9	180.7	98372	96304	0.868
July	182.2	80.03	21.54	183.2	179.0	96556	94497	0.860
August	151.7	72.65	20.64	165.7	162.2	87635	86001	0.865
September	102.9	53.16	14.33	127.8	125.3	70209	68650	0.898
October	61.1	36.47	8.33	85.4	83.7	48187	47330	0.924
November	25.9	17.75	3.20	39.0	38.3	22318	21891	0.936
December	19.3	13.07	-1.17	34.4	33.8	20438	20084	0.974
Year	1182.6	556.85	9.07	1378.2	1350.3	755551	740684	0.896

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Рисунок 3.4-Таблиця генерації

Project summary				
Geographical Site Kyiv Ukraine	Situation		Project settings	
	Latitude	50.45 °N	Albedo	0.20
	Longitude	30.52 °E		
	Altitude	194 m		
	Time zone	UTC+2		
Meteo data Kyiv Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Synthetic				
System summary				
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation		Near Shadings		User's needs
Fixed plane		No Shadings		Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth		35 / -15 °		
System Information				
PV Array		Inverters		
Nb. of modules		1200 units	Nb. of units	6 units
Pnom total		600 kWp	Pnom total	600 kWac
			Pnom ratio	1.000
Results summary				
Produced Energy	740684 kWh/year	Specific production	1234 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 89.57 %
Table of contents				
Project and results summary				2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses				3
Main results				4
Loss diagram				5
Prefef. graphs				6
Single-line diagram				7

3.3 Вибір інвертора



Рисунок 3.1-Мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M2

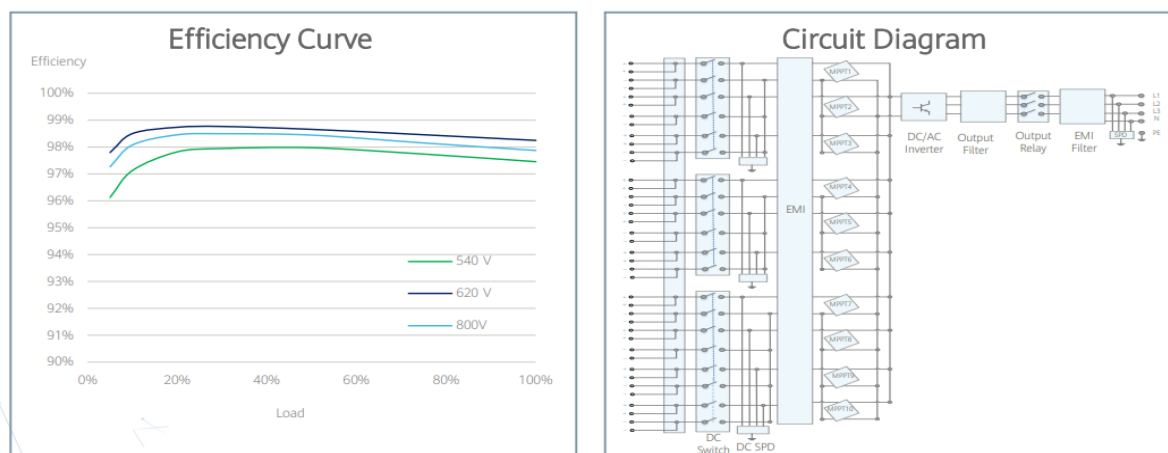


Рисунок 3.5 ККД інвертора

Таблиця 3.5 -характеристики інвертора [Huawei SUN2000-100KTL-M2](#)

Бренд:	HUAWEI
Тип:	Мережевий сонячний інвертор (on-grid)
Номінальна потужність, кВт:	100
Кількість фаз:	трифазний
Мінімальна входна напруга PV-поля, В:	200
Максимальна входна напруга PV-поля, В:	1000
Вихідна напруга, В:	400
Вихідна частота струму, Гц:	50/60
Форма вихідного сигналу:	чиста синусоїда
ККД при повному навантаженні, %:	98,4
Клас захисту IP:	IP66
Тип контролера:	MPPT
Кількість трекерів MPPT/PWM, шт:	10
Функціональні особливості	
Інтерфейси керування:	RS485/USB
Активне охолодження (вентилятори):	є
Загальне	
Індикація:	LCD дисплей
Висота, мм:	1 035

Ширина, мм:	700
Глибина, мм:	365
Вага, кг:	93
Країна реєстрації бренду:	Китай
Додатково:	Захист від короткого замикання, надто високого/низького напруження, перегріву.

Продовження таблиці 3.5 –характеристики інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M2

3.4 Розміщення та вибір сонячних модулів на території підприємства та цеху



Рисунок 3.6 Розміщення сонячних панелей на фасаді цеху.



Рисунок 3.7 Розміщення сонячних панелей на території цеху

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА. СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

4.1 Загальна характеристика об'єкта

Об'єктом дослідження передбачено встановлення наземної фотоелектричної сонячної електростанції (СЕС) загальною встановленою потужністю 600 кВт. Система орієнтована на автономне або гібридне енергопостачання промислового об'єкта.

Характеристики об'єктів наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. – Загальна характеристика об'єктів

Найменування об'єкта	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія пожежної безпеки
Цех авіаційного заводу	Внутрішнє, в окремій будівлі	Приміщення цеху (40х35х10) м	Особливо небезпечне(зовнішні умови,висота,волога)	Категорія В, Пожежонебезпечна
Дахова сонячна електростанція (СЕС)	Зовнішня установка (на даху виробничої будівлі)	На фасаді промислового цеху(робота при висоті)	Особливо небезпечне (зовнішні умови)	Категорія В, Пожежонебезпечна

Доведення загальної характеристики об'єкту дослідження:

Категорія електроприміщення інструментального цеху: Згідно до гл. 1.1, п. 1.1.13 та ДСТУ [ІЕС](#) 60364-4-41:2022 [ПУЕ](#), приміщення відноситься до категорії "з особливо небезпечне" через наявність умов, що підвищують ризик ураження струмом: роботи на висоті(потребують спеціального страхувального екіпірування та спорядження),наявність великої кількості металевих конструкцій на фасаді будівлі,необхідність технічного обслуговування струмоведучих частин із застосуванням всіх електрозахисних засобів),встановлення електроустановки на

відкритому повітрі(фасад цеху),підключення СЕС до зовнішнього елетрощита з напругою 1000 В,де є ризик як перенапруги у мережі,так пробою ізоляції під час грози.

Категорія з пожежної безпеки: Категорія «В» (пожежонебезпечна) для обох об'єктів дослідження визначена відповідно до НАПБ Б.03.002-2007[24]через наявність горючих матеріалів: мастильно-охолоджувальних рідин у цеху, а також полімерних матеріалів(ізоляція,корпуси,кабелі) також електроліту в акумуляторах УЗЕ, що створює значне пожежне навантаження.Ці чинники вимагають комплексу заходів пожежної безпеки.

Технічні характеристики основного обладнання

У цеху експлуатується різноманітне металообробне обладнання. УЗЕ проєктується для резервного живлення споживачів першої категорії надійності (вентилятори, електричні печі) . (Таблиця 4.2)

Таблиця 4.2. – Показники технічних характеристик обладнання

Найменування обладнання і марка	Основні характеристики	Числове значення показника
Обладнання цеху		
Токарні верстати	Напруга, Потужність	380 В, 11 кВт
Вентилятори (споживачі I категорії)	Напруга, Потужність	380 В, 16 кВт
Освітлення основне (ЩО)	Тип ламп, Потужність	LED ДБО 01-120-012р-3х60-180-011 TRS, 4,8 кВт
Проектowana УЗЕ		
Установка зберігання енергії	Тип, Номінальна потужність	Li-Ion, 275 кВА
	Напруга DC / AC	~1000 В / 0,4 кВ
Живлення цеху		
Трансформатор цехової ТП	Тип, Потужність, Напруга	ТМ 100/10, 260 кВА, 10/0,4 кВ

4.2 Перелік робіт та виконавців

Під час будівництва СЕС виконуються наступні види робіт:

- Геодезичне розбиття майданчика та земляні роботи(проектування,планування);
- Монтаж металевих конструкцій під модулі.
- Установка фотоелектричних сонячних панелей.
- Прокладання кабельних ліній у лотках або ПВХ/ПЕ трубах.
- Встановлення інвертора, щитової автоматики, захистів(ізоляції), лічильників.
- Монтаж заземлення, блискавкозахисту та пожежних засобів.
- Пусконаладжувальні роботи: перевірка підключень, пробний запуск.

Виконавці:

- Електромонтажна бригада (по 3–5 осіб, II–IV група з електробезпеки);
- Монтажники металоконструкцій;
- Інженери з пусконаладження СЕС;
- Контролер охорони праці чи інженер відповідного напрямку діяльності.

4.3 Характеристика умов праці

Характеристика умов праці

На робочих місцях персоналу можливий вплив комплексу, пов'язаних як з роботою цеху, так і з експлуатацією СЕС.

Таблиця 4.3 Перелік характеристик умов праці на робочих місцях

Небезпечні і шкідливі чинники	Джерело виникнення	Можливий вплив на працівника
Електричного походження		
Підвищена напруга в мережі (змінна)	Електрощит цеху система живлення(380 В)	Ураження електричним струмом, електричні опіки
Підвищена напруга в мережі (постійна)	Фотоелектричні панелі та ланцюг до інвертора (до 1000 В)	Термічні опіки, електролітичне розкладання тканин організму
Електрична дуга	КЗ у СЕС, Комутаційні елементи	Інтенсивне світлове, теплове та ультрафіолетове випромінювання
Електромагнітні поля	Інвертори УЗЕ, силові кабелі	Шкідливий вплив на серцево-судинну також нервову системи
Неелектричного походження		
Підвищений рівень шуму та вібрації	Металообробні верстати, системи вентиляції УЗЕ	Втома, мігрень, втрата слуху
Хімічний чинник	Електроліт у батареях(під гібридну систему УЗЕ)	Подразнення дихальних шляхів, шкіри, ризик отруєння
Рухомі частини виробничого обладнання	Обертові елементи верстатів, крани, транспортери	Механічні травми (захоплення одягу, удари)
Підвищена пожежонебезпека	Горючі матеріали цеху, полімерні(кабелі)перегрів акумуляторів, короткі замикання	Виникнення вогне небезпечних ситуацій, вибухів, опіків, хімічнм отруєнням матеріалів(згоранням)

4.4. Технічні та організаційні заходи з безпеки праці

Для мінімізації виробничих ризиків розроблено комплекс заходів безпеки, наведений у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис та характеристики
Технічні заходи		
Захисне заземлення	Заземлення металевих конструкцій СЕС, інвертора, щита змінного струму, ТП	Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом для мережі 0,4 кВ
Захисні огороження	Загородження струмоведучих частин обладнань: щит, інвертор та захист від падіння з покрівлі(додаткові кранштейни)	Монтаж бар'єрів та попереджувальних знаків, тимчасових перил по периметру монтажної зони СЕС.
Вентиляція	Організація вентиляції(природної) в зоні	Забезпечення оптимального

	інвертора або встановлення примусової(при УЗЕ)	температурного режиму, видалення газів та тепла при експлуатації в приміщенні.
Блокувальні пристрої	Установка автоматизованих пристроїв(при перенапрузі , струмі КЗ, обриві повітряних ліній)	Забезпечення відключення навантаження у разі аварійних ситуацій[25].
Організаційні заходи		
Допуск до робіт	Проведення інструктажу перед початком роботи, та отримання допуску робіт на висоті.	Визначення місця та змісту робіт, отримання групи чи наявності посвідчення з групи з електробезпеки.
Навчання та інструктажі	Проведення періодичних інструктажів з охорони праці та пожежної безпеки, спеціалізованого навчання для роботи з СЕС.	Періодичні інструктажі, та тренінги для персоналу у сфері обізнаності охорони праці.
Використання знаків безпеки	Розміщення попереджувальних, заборонних та вказівних знаків безпеки у відповідних зонах	«Стій! Напруга», «Небезпека ураження струмом», «Вогнєнебезпечно», «Працювати тут!»

Продовження таблиці 4.4 Технічні і організаційні заходи

4.5. Вибір засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Для захисту персоналу від дії передбачається використання ЗІЗ, що відповідають ідентифікованим ризикам.

Таблиця 4.5 Перелік засобів індивідуального захисту

Найменування ЗІЗ	Призначення ЗІЗ
Респіратор з фільтрувальними елементами.	Захист від сажі, пилу, дрібнодисперсних частинок та ймовірного витоку електроліту(УЗЕ)
Спецвзуття (черевики)	Уникнення травм ніг у разі роботи на висоті та на землі.
Рукавички	Захист рук від порізів, вібрації (комбіновані); від хімічних речовин (нітрилові, неопренові)
Спецодяг (електрозахисний костюм)	Захист від механічних ушкоджень, загальних забруднень та ураження електричною дугою
Захист органів дихання	Захист від пилу та аерозолів МОР (респіратори); на випадок аварії УЗЕ (фільтрувальні протигази)
Захист органів слуху	Навушники та беруші для роботи біля обладнання з підвищеним рівнем шуму

Продовження таблиці 4.5 перелік засобів індивідуального захисту

Таблиця 4.6 Перелік електрозахисних засобів (ЕЗЗ)

Вид ЕЗЗ	Найменування	Призначення
Основні ЕЗЗ	Електроізолюючі штанги (до 10кВ), показчики напруги (до 1кВ В та понад 1кВ), діелектричні рукавички (до 1 кВ)	Забезпечення додаткової безпеки при можливому контакті з небезпечними потенціалами та напругою кроку.
Додаткові ЕЗЗ	Діелектричні боти та килимки, діелектричні рукавички (як додатковий засіб при напрузі понад 1кВ), переносні заземлення	Забезпечення додаткової безпеки при можливому контакті з небезпечною напругою

4.5.1 Заходи пожежної безпеки

Система пожежної безпеки розроблена з урахуванням специфіки виробничого цеху та підвищених ризиків, пов'язаних з УЗЕ.

Таблиця 4.7 Перелік заходів і засобів з пожежної безпеки

Група заходів	Засіб/Захід та його характеристики	Критерії вибору та місце встановлення
Для цеху		
Первинні засоби пожежогасіння	Вогнегасники порошкові ВП9,ВП-5,вуглекислотні ВВК-5,лопати та протипожежні щити,відра.	Пожежогасіння клас:А, В, С, Е. Розміщуються на пожежних щитах у легкодоступних місцях згідно з нормами.
Автоматична пожежна сигналізація	Звукові та світлові оповіщувачі.	Забезпечення раннього виявлення ознак пожежі (дим, підвищення температури) та оповіщення персоналу.
Для УЗЕ (контейнера)		
Автоматична система пожежогасіння	Газоаналізатори,температурні датчики,тепловізійне обладнання	Для раннього виявлення перегріву температур,або внутрішнього займання акумуляторних батарей..
Система раннього виявлення аварій	Газоаналізатори для виявлення випарів електроліту, система тепловізійного контролю температури акумуляторних модулів	Виявлення передаварійних станів (початок термічного розгону) та запобігання розвитку пожежі.
План евакуації	Розроблені, затверджені та розміщені на видних місцях схеми евакуації персоналу	Для організації безпечного та швидкого виведення людей із

		приміщень у разі пожежі.
Інструктажі та навчання	Проведення тренінгів та інструктажів з охорони праці та всіх робочих процесів	Обізнаність персоналу.

Продовження таблиці 4.7 -Перелік заходів і засобів з пожежної безпеки

4.6. Розрахункове завдання: Розрахунок захисного заземлення

У проєкті вже виконано розрахунки навантажень, струмів короткого замикання та релейного захисту. Для розділу з охорони праці виконаємо розрахунок, що безпосередньо стосується безпеки персоналу.

Обране завдання: Розрахунок спільного захисного заземлення для цехової ТП та контейнера УЗЕ.

Обґрунтування: Надійне захисне заземлення є ключовим технічним заходом для захисту людей від ураження електричним струмом при непрямому дотику (появі напруги на корпусах обладнання внаслідок пошкодження ізоляції). Необхідно розрахувати параметри єдиного контуру заземлення для трансформаторної підстанції та нової установки зберігання енергії, щоб забезпечити нормативний опір розтіканню струму ($R \leq 4$ Ом для мережі 0,4 кВ з глухозаземленою Метя: Розрахувати параметри штучного заземлювального пристрою (кількість та розміри електродів), який забезпечить опір розтіканню струму не більше 4 Ом.

- Об'єкт: Цехова ТП 10/0,4 кВ .
- Нормований опір: $R_{\text{доп}} = 3$ Ом.
- Ґрунт: Суглинок. Питомий опір за табличними даними $\rho_{\text{табл}} = 60$ Ом · м.
- Кліматична зона: 1(північна Україна), середня вологість.
- Конструкція заземлювачів:
- Вертикальні електроди: сталевий кутник 40х20х5 мм, довжиною $l_v=3$ м.
- Горизонтальний з'єднувальний електрод: сталева смуга 40х4 мм.

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		100

– Глибина закладання: Верхній край вертикальних електродів та горизонтальний електрод закладаються на глибину $=0,6$ м.

Розрахунок виконаємо за методом коефіцієнта використання згідно з методичними рекомендаціями [6].

1. Розрахунковий питомий опір ґрунту Для суглинку та середньої вологості приймаємо коефіцієнт сезонності $\psi = 1,3$

$$\rho_{\text{роз}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi = 60 \cdot 1,3 = 78 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.1)$$

2. Опір розтіканню струму одного вертикального заземлювача
Розрахункова глибина занурення електрода:

$$3. t = t_0 + \frac{l_B}{2} = 0,6 + \frac{3}{2} = 2,1 \text{ м.} \quad (4.2)$$

4. Еквівалентний діаметр для кутника 40x20 мм:

$$5. d_{\text{екв}} \approx 0,95 + b = 0,95 \cdot 0,03 = 0,02 \text{ м.} \quad (4.3)$$

6. Опір одного вертикального електрода:

$$R_{B1} = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2\pi l_B} \left(\ln \frac{2l_B}{d_{\text{екв}}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_B}{4t - l_B} \right) = \frac{78}{2\pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,02} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1 \cdot 2,1 + 3}{4 \cdot 1 \cdot 2,1 - 3} \right) = 25,1 \text{ Ом}$$

7. Визначення необхідної кількості заземлювачів

Попередньо приймаємо коефіцієнт використання (екранування) $\eta_B \approx 0,7$.

Попередня кількість електродів:

$$n_{\text{поп}} = \frac{R_{B1}}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_B} = \frac{25,1}{3 \cdot 0,7} = 12 \text{ електродів} \quad (4.4)$$

Приймаємо 12 електродів та розміщуємо їх по контуру з кроком $a = 2$ м (співвідношення $\frac{a}{l_B} = 1$).

Уточнюємо коефіцієнт використання η_B для 12 електродів у контурі шляхом інтерполяції табличних значень [6]:

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		101

$$\eta_B \approx 0,7.$$

Перевіряємо опір системи вертикальних електродів:

$$R_B = \frac{R_{B1}}{n \cdot \eta_B} = \frac{25,1}{12 \cdot 0,7} = 2,99 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

Отримане значення $2,99 \text{ Ом} > 4 \text{ Ом}$, тому кількість електродів достатня.

Це значення дуже близьке до норми.

Розрахунок сумарного опору заземлювального пристрою

Приймаємо $n = 23$ вертикальних електроди, розташованих по контуру з кроком $a=2 \text{ м}$.

Коефіцієнт використання для вертикальних електродів: $\eta_B \approx 0,7$.

Довжина з'єднувального горизонтального електрода (сталева смуга):

$$l_r = n \cdot a = 12 \cdot 2 = 24 \text{ м} \quad (4.6)$$

Розрахуємо опір горизонтального електрода:

$$R_r = \frac{\rho_{роз}}{2\pi l_r} \ln \frac{l_r^2}{d_{екв} \cdot t_0} = \frac{24^2}{0,035 \cdot 0,6} = 3,92 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

(де еквівалентний діаметр смуги $d_{екв} \approx 0,6 \cdot \text{ширина} = 0,035 \text{ м}$).

Коефіцієнт використання для горизонтального електрода (з таблиці [6]):
 $\eta_r \approx 0,26$.

Розраховуємо сумарний опір складного заземлювача:

$$R_{зп} = \frac{R_{B1} \cdot R_r}{R_{B1} \cdot \eta_r + R_r \cdot n \cdot \eta_B} = \frac{41,3 \cdot 4,41}{41,3 \cdot 0,26 + 4,41 \cdot 23 \cdot 0,46} = 3,17 \text{ Ом}.$$

Результат: Розрахунковий опір заземлювального пристрою становить 3,17 Ом.

Конструктивне виконання та графічна частина

Заземлювальний пристрій виконується у вигляді замкненого контуру навколо цехової ТП та СЕС.

- Кількість вертикальних заземлювачів: 12 шт.
- Матеріал: сталевий кутник 40х20х5 мм, довжина 3 м.
- Крок між заземлювачами: 2 м.
- Горизонтальний заземлювач: сталева смуга 40х4 мм, загальна довжина 41,3 м.
- З'єднання: вертикальні та горизонтальні заземлювачі з'єднуються зварюванням.
- До корпусів обладнання (ТП, УЗЕ, розподільчі щити, інвертор) виконуються відводи від контуру заземлення за допомогою мідного або оцинкованого проводу.

					ОЕ-11-25 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		103

Висновки до 4 розділу

У рамках розділу з охорони праці було комплексно розглянуто питання охорони праці та пожежної безпеки під час монтажу та експлуатації дахової сонячної електростанції потужністю 50 кВт на промисловому об'єкті.

Було визначено, що категорія електроприміщення відповідає "особливо небезпечному", а категорія пожежної безпеки – "В", відповідно до діючих нормативів. Також оцінено потенційні шкідливі та небезпечні чинники, які можуть впливати на персонал при роботах на висоті, з електроустановками постійного і змінного струму, а також при використанні акумуляторних батарей.

Розроблено перелік технічних та організаційних заходів, що включають заземлення, вентиляцію, блокувальні пристрої, інструктажі, застосування ЗІЗ та ЕЗЗ. Також наведено комплекс заходів з пожежної безпеки, включаючи використання автоматичних систем пожежогасіння та евакуаційні плани.

Особливу увагу приділено розрахунку захисного заземлення, виконаному відповідно до нормативних вимог(наведених у переліку літератури)з урахуванням кліматичної зони, типу ґрунту (суглинок), глибини закладання електродів, їх кількості та схеми розміщення. Отриманий опір системи становить 3,17 Ом, що відповідає вимогам (<4 Ом).

Таким чином, виконані заходи забезпечують нормативний рівень безпеки для персоналу та обладнання, знижують імовірність ураження електричним струмом, виникнення пожеж, сприяють надійній та безпечній роботі сонячної електростанції та супутніх систем.

Висновки до дипломного проекту:

У даному дипломному проекті було здійснено всеосяжний цикл робіт з техніко-економічного обґрунтування та створення системи сонячної електростанції (СЕС) на 600 кВт, котра планується до розміщення на покрівлі інструментального цеху промислового підприємства.

В процесі дослідження було проаналізовано вигідність застосування альтернативних джерел енергії у контексті збільшення вартості електроенергії та необхідності збільшення енергоефективності виробничого процесу. Окреслено вибір дахового варіанту СЕС з приєднанням до мережі без застосування акумуляторів, що вважається найоптимальнішим варіантом за показниками витрат та ефективності.

Обладнання підбирали, спираючись на детальний розгляд технічних даних сонячних панелей, інверторів, трансформаторів та пристроїв забезпечення безпеки. Зокрема, для втілення цього задуму було обрано мережевий інвертор Huawei SUN2000-50KTL[1] та трансформатор моделі ТМ-100/10. Вони забезпечують ефективне транспортування виробленої енергії до мережі 10 кВ через спеціалізоване комутаційне устаткування.

У спроектованій схемі електропостачання реалізовано багаторівневий захист від коротких замикань, стрибків напруги, імпульсних навантажень та перевищення струму. Додатково, передбачена система заземлення та блискавкозахисту. Використана конфігурація забезпечує безперебійне, безпечне та екологічно орієнтоване функціонування сонячної станції в рамках цеху. Окремо були враховані вимоги охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки при встановленні та експлуатації СЕС відповідно до діючих українських та міжнародних стандартів (ДБН, ПУЕ[26], ДСТУ, ІЕС).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://ukrenergy.dp.ua/2020/02/04/trekeri-dlya-sonyachnoi-elektrostantsii-shho-cze-take-i-chi-varti-voni-uvagi.html>
2. <https://eds-engineering.com/ces-pod-sobstvennyie-nuzhdyi>
3. <https://ua.jingsun-power.com/info/advantages-and-disadvantages-of-installing-sol-87551141.html>
4. <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=68570>
5. <https://www.beny.com/uk/types-of-battery-energy-storage-systems/>
6. <https://electrocontrol.com.ua/ua/regulatory/regulyator-reaktivnoi-moshnosti-1-faznyi-pfc-8-rs-eti-4656906>
7. <https://www.toe.com.ua/news/65>
8. https://images.prom.ua/6468715454_setevoj-invertor-huawei.jpg
9. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/626c7fe8-d924-43b6-bbe1-ab0af140835f/content>
10. https://images.prom.ua/6468715454_setevoj-invertor-huawei.jpg
11. <https://energo-partner.com.ua/ua/p1279380799-solnechnaya-batareya-500.html?srsId=AfmBOorjBnY2vQufFEbyu7OP4-yU9WjkatfR0LI6IvC1Chgu5AyLX06L>
12. https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106579
13. https://images.prom.ua/6468715454_setevoj-invertor-huawei.jpg
14. <https://electrocontrol.com.ua/ua/regulatory/regulyator-reaktivnoi-moshnosti-1-faznyi-pfc-8-rs-eti-4656906>
15. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/626c7fe8-d924-43b6-bbe1-ab0af140835f/content>
16. https://images.prom.ua/6468715454_setevoj-invertor-huawei.jpg
17. КПП ім. Ігоря Сікорського: [Лекція 3. Розділ 2. Охорона праці \(https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/Binder2.pdf\)](https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/Binder2.pdf)
18. Методичка КПП: «Електробезпека в системах накопичення енергії», 2021, розділ 3, стор. 41–47. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/ef8ba40c-0cf3-4a35-9e5a-ab9e8112ea58/content>

19. КПП, «Системи зберігання енергії», розд. 5.
20. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. 425 с.
21. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці та пожежна безпека» у дипломному проєкті / Укл.: Л. Третьякова. Київ: КПП ім. І. Сікорського, ІЕЕ, 2025. 76 с.
22. ПУЕ–Правила улаштування електроустановок. – Розділи 1.7, 1.8, 1.9 – заземлення, захист від ураження електричним струмом.
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758
- Чинна редакція (наказ Міненерго України, актуалізація 2021 р.). ДСТУ HD 60364-4-41:2022 Електроустановки низької напруги. Частина 4-41. Захист для безпеки. Захист від ураження електричним струмом (HD 60364-4-41:2017, IDT; IEC 60364-4-41:2005,MOD):https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104726
23. Довідник з розрахунку та проєктування заземлення електроустановок.– Автор: В.Д. Бронштейн, 2018 р.
24. Методика розрахунку опору заземлення (довідкова література КПП, 2021).
25. СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ підручник під редакцією доктора техн. наук, професора Сінчука О.М. м. Кременчук 2020 р.(с.176 преший розділ)
- 26.Стаття МАЙБУТНІЙ НАУКОВЕЦЬ – 2023 МАТЕРІАЛИ XIV всеукраїнської науково-практичної конференції 1 грудня 2023 року м. Київ. https://snu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/mnk_2023.pdf
27. ДСН 3.3.6.042-99, Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=1483
28. https://www.mnau.edu.ua/nauk-rob/ntt/visnyk/?utm_source=

29. ДСТУ EN ISO 7730, Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV I PPD і критеріїв локального теплового комфорту:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28002

30. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90178

31. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456

32. ДСТУ EN IEC 62485-2:2022 Вимоги щодо безпеки для вторинних батарей і акумуляторних установок. Частина 2. Стаціонарні батареї (EN IEC 62485-2:2018, IDT; IEC 62485-2:2010, IDT): https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106579

33. ДСТУ HD 60364-5-54:2022 Електроустановки низької напруги. Частина 5-54. Вибір і монтаж електричного обладнання. Заземлення та захисні провідники (HD 60364-5-54:2011, IDT; IEC 60364-5-54:2011, IDT): https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104628

34. ДСТУ EN 62305-3:2021 Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя (EN 62305-3:2011, IDT; IEC 62305-3:2010, MOD): https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96752

35. НАПББ.03.002-2007.

– Визначення категорій приміщень і будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою.: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48704

36. НПАОП0.00-1.28-10.

– Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=27405

37. ДСТУ ISO 50001:2020.

– Системи енергетичного менеджменту. Вимоги з настановами щодо застосування. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90178

38. ДСТУ EN 60903:2017 Робота під напругою. Рукавички з ізоляційного матеріалу (EN 60903:2003, IDT; IEC 60903:2002, MOD):

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=75635

Додаток А

PVsyst V7.3.1

VCO, Simulation date:
20/06/25 13:19
with v7.3.1

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Kyiv	Latitude 50.45 °N	Albedo 0.20
Ukraine	Longitude 30.52 °E	
	Altitude 194 m	
	Time zone UTC+2	
Meteo data		
Kyiv		
Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth 35 / -15 °		
System information		
PV Array	Inverters	
Nb. of modules 1200 units	Nb. of units 6 units	
Pnom total 600 kWp	Pnom total 600 kWac	
	Pnom ratio 1.000	

Results summary

Produced Energy 740684 kWh/year	Specific production 1234 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 89.57 %
---------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7

Додаток Б

PVsyst V7.3.1

VCO, Simulation date:
20/06/25 13:19
with v7.3.1

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		No 3D scene defined	
Fixed plane			
Tilt/Azimuth	35 / -15 °		
Horizon		Near Shadings	
Free Horizon		No Shadings	
		Models used	
		Transposition	Perez
		Diffuse	Perez, Meteonorm
		Circumsolar	separate
		User's needs	
		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Longi Solar	Manufacturer	Huawei Technologies
Model	LR5-66HPH-500M G2	Model	SUN2000-100KTL-INMD-415Vac
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	500 Wp	Unit Nom. Power	100 kWac
Number of PV modules	1200 units	Number of Inverters	6 units
Nominal (STC)	600 kWp	Total power	600 kWac
Modules	75 Strings x 16 in series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (→35°C)	110 kWac
Pmpp	550 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.00
U mpp	551 V	Power sharing within this inverter	
I mpp	997 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	600 kWp	Total power	600 kWac
Total	1200 modules	Number of Inverters	6 units
Module area	2650 m²	Pnom ratio	1.00
Cell area	2638 m²		

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	9.1 mΩ	Loss Fraction	-0.8 %			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC					
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s							
Module mismatch losses		Strings Mismatch loss						
Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %					
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
0°	25°	45°	60°	65°	70°	75°	80°	90°
1.000	1.000	0.995	0.962	0.936	0.903	0.851	0.754	0.000

Додаток В

PVsyst V7.3.1

VCO, Simulation date:

20/06/25 13:19

with v7.3.1

Main results

System Production

Produced Energy

740684 kWh/year

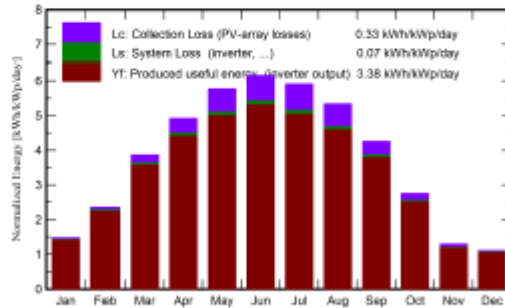
Specific production

1234 kWh/kWp/year

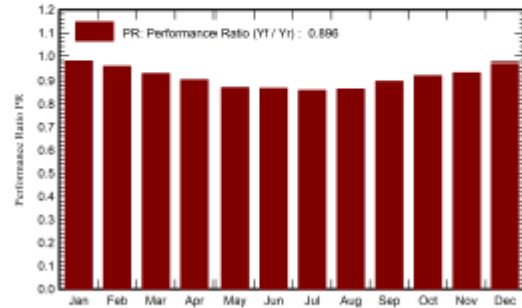
Performance Ratio PR

89.57 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	25.2	15.39	-3.55	45.6	44.8	27205	26760	0.978
February	41.6	20.80	-2.82	66.0	64.9	38845	38192	0.964
March	88.5	38.26	2.35	119.8	117.8	68310	67078	0.933
April	128.1	56.70	9.92	147.5	144.8	81639	80055	0.904
May	169.9	69.42	16.16	179.0	175.2	95637	93642	0.872
June	186.1	83.16	19.08	184.9	180.7	98372	96304	0.868
July	182.2	80.03	21.54	183.2	179.0	96556	94497	0.860
August	151.7	72.65	20.64	165.7	162.2	87835	86001	0.865
September	102.9	53.16	14.33	127.8	125.3	70209	68850	0.898
October	61.1	36.47	8.33	85.4	83.7	48187	47330	0.924
November	25.9	17.75	3.20	39.0	38.3	22318	21891	0.936
December	19.3	13.07	-1.17	34.4	33.8	20438	20084	0.974
Year	1182.6	556.85	9.07	1378.2	1350.3	755551	740684	0.896

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E_Grid Energy injected into grid

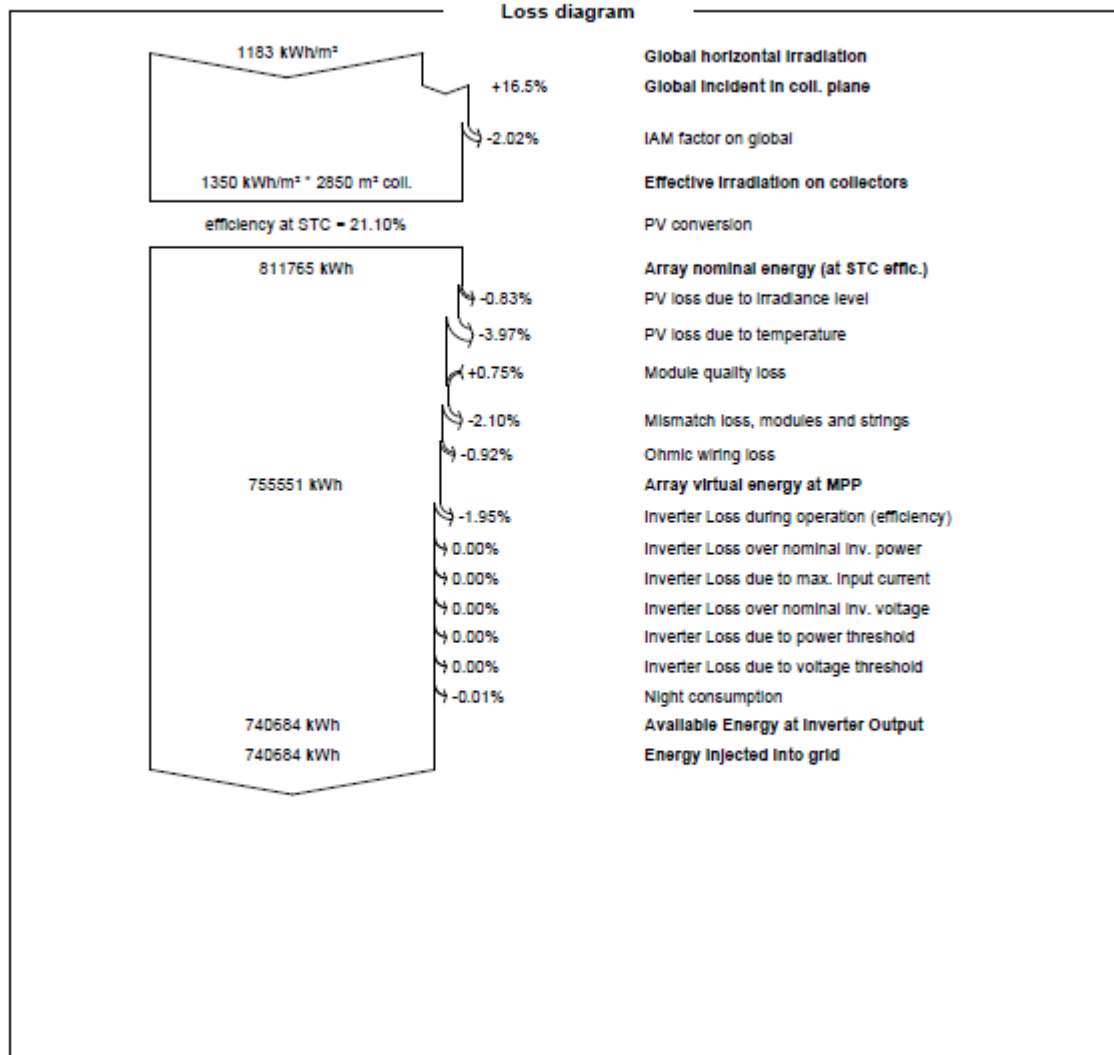
PR Performance Ratio

Додаток Г

PVsyst V7.3.1

VCO, Simulation date:
20/06/25 13:19
with v7.3.1

Loss diagram

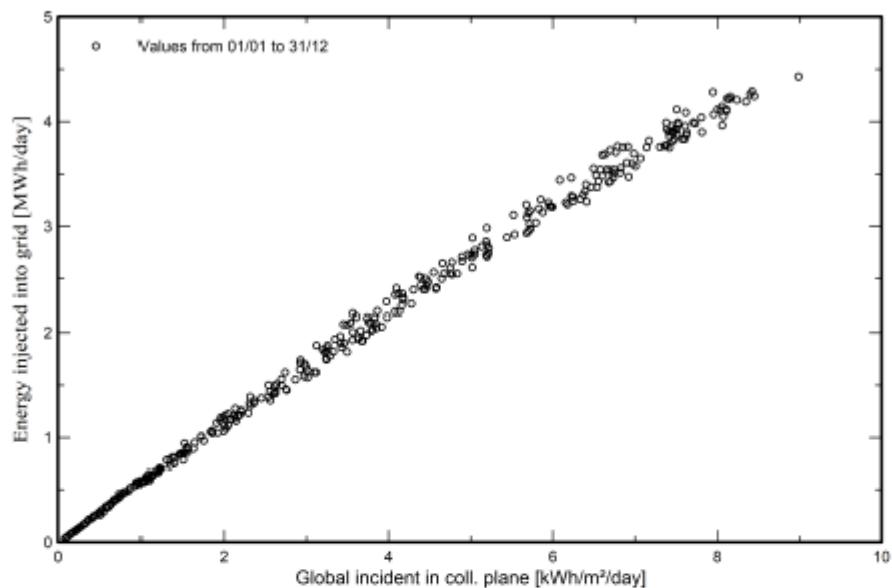


Додаток Г

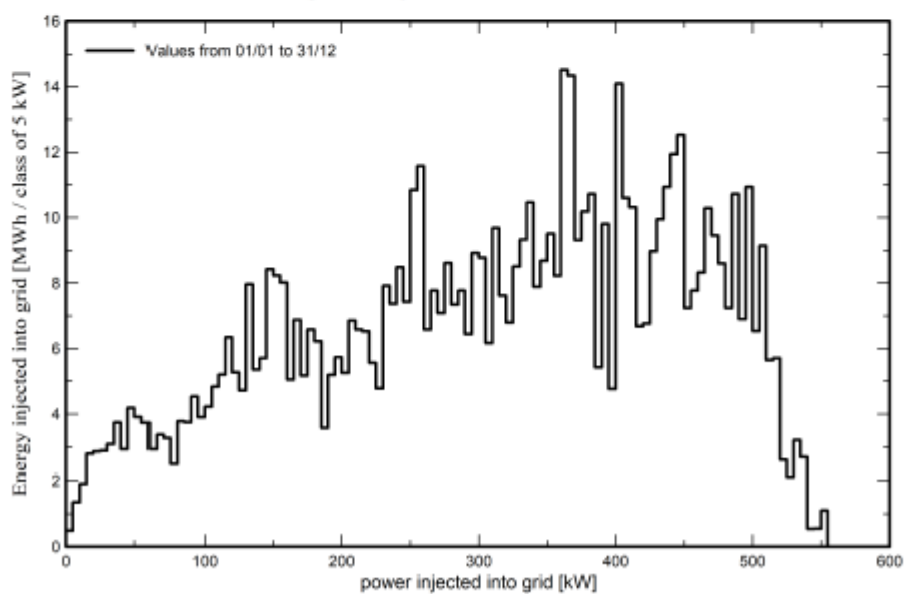
PVsyst V7.3.1
VC0, Simulation date:
20/06/25 13:19
with v7.3.1

Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ОЕ-11-25 ПЗ

Лист

113

Додаток Д

