

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, електротехнічний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Електричні та електронні апарати

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка
дипломного проекту (роботи)
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему
**Модернізація системи електропостачання механічного цеху металургійного
заводу із застосуванням фотоелектричної системи**

Виконав: студент(ка) IV курсу, групи Е- 411спа

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Електричні та електронні апарати

Керівник

Рецензент

ТРЕМБІЧЕВ В.В.
(прізвище та ініціали)

Немикіна О.В.
(прізвище та ініціали)

Сахно О.А.
(прізвище та ініціали)

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет: Фізико – технічний, електротехнічний

Кафедра: Електричні та електронні апарати

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Електричні та електронні апарати

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Андрієнко П.Д.
« _____ » _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТРЕМБІЧЕВУ Владиславу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Модернізація системи електропостачання механічного цеху металургійного заводу із застосуванням фотоелектричної системи.

керівник проекту (роботи) Немикіна Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 23 квітня » 2024 року № 160

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 30 квітня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): план розташування електрообладнання механічного цеху, джерело живлення механічного цеху

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Типи фотоелектричних сонячних станцій. 2 Аналіз технологічного процесу проєктованого об'єкта. 3 Розрахунок електричних навантажень. 3 Вибір напруги внутрішньцехового розподілу електроенергії. 5 Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів. 6 Вибір варіанта схеми внутрішньцехового розподілу електроенергії. 7 Розрахунок струмів КЗ. Вибір електричних апаратів внутрішньозаводської мережі електропостачання 8 Аналіз режиму електроспоживання механічного цеху металургійного заводу. 9 Оцінка виробництва електроенергії фотоелектричної станції. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 Генплан механічного цеху металургійного заводу. Лист 2 Схема принципова електрична. Лист 3 Типи сонячних електростанцій. Лист 4 Розрахунок генерації сонячної фотоелектростанції на даху приміщення цеху

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

7. Дата видачі завдання «20» березня 2024 року.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	
1	1 Типи фотоелектричних сонячних станцій	20.02.2024-11.03.2024	
2	Аналіз технологічного процесу проєктованого об'єкта	12.03.2024-22.03.2024	
3	Вибір напруги внутрішньцехового розподілу електроенергії, кількості та потужності цехових трансформаторів	25.03.2024-12.04.2024	
4	Розрахунок струмів КЗ. Вибір електричних апаратів внутрішньозаводської мережі електропостачання	15.04.2024-26.04.2024	
5	Аналіз режиму електроспоживання механічного цеху металургійного заводу. Оцінка виробництва електроенергії фотоелектричної станції	25.04.2024-05.04.2024	
6	Оформлення ПЗ та графічного матеріалу	22.04.2024-30.04.2024	
7	Аналіз результатів та висновки	25.04.2023-30.04.2024	

Студент(ка)

_____ (підпис)

ТРЕМБІЧЕВ В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

НЕМИКІНА О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Вихідні дані до проекту

Виконати проект електропостачання механічного цеху, схематичний план якого наведений на рисунку 4.1. Цех складається з 4-х прольотів шириною по 12 м і довжиною 72 м з докладним плануванням прольоту А-В. До цеху пристроюється службово-побутове приміщення по ряду А13-Ж13 розміром у плані 6х36 м і висотою у два поверхи. Джерело живлення цеху – РП, розташоване у 65 м від цеху, напруга 10 кВ. Струми короткого замикання на шинах РП дорівнюють:

$$I''=15,6 \text{ кА}; \quad I_{\infty}=12,2 \text{ кА}.$$

Висота цеху 7,5 м. Матеріал колон – залізобетон, ферм і підкранових балок – метал.

Характеристика приміщення цеху за ПУЕ – нормальне середовище. Завантаження змін – 1:0,8:0,3.

Встановлена потужність електроприймачів цеху:

- По прольоту А-В: Верстати металорізальні – 14,16/28;
15,17,18/22; 3,6,7,8,12/17;
9,13,19,20,21/14; 1,2,5,10/7; 4/4 кВт.
Зварювальні машини крапкові з ТВ=20% –
11,12/75 кВА.
Кран Q=5 т., 1х20,7 кВт, ТВ - 25%, з
двигунами 11+7,5+2,2 кВт.
- По прольоту В-Д: Верстати – 6х22; 5х14; 7х10; 10х4,5 кВт.
Зварювальні машини шовні 3х50 кВА,
ТВ=25%
крапкові 5х100 кВА, ТВ=25%
Кран Q=5 т., 1х20,7 кВт, ТВ - 25%, з
двигунами 11+7,5+2,2 кВт.
- По прольоту Д-Ж: Верстати – 10х14; 12х10; 5х7 кВт.
Вентилятори – 3х20; 2х10 кВт.
Насоси – 3х7 кВт.
Кран Q=5 т., 1х20,7 кВт, ТВ - 25%, з
двигунами 11+7,5+2,2 кВт.
- По прольоту Ж-И: Верстати – 2х28; 4х20; 7х14; 6х4 кВт.
Електропечі неавтоматизовані – 2х60; 3х30
кВт.
Вентилятори – 3х20 кВт.
Кран Q=5 т., 1х20,7 кВт, ТВ - 25%, з
двигунами 11+7,5+2,2 кВт.

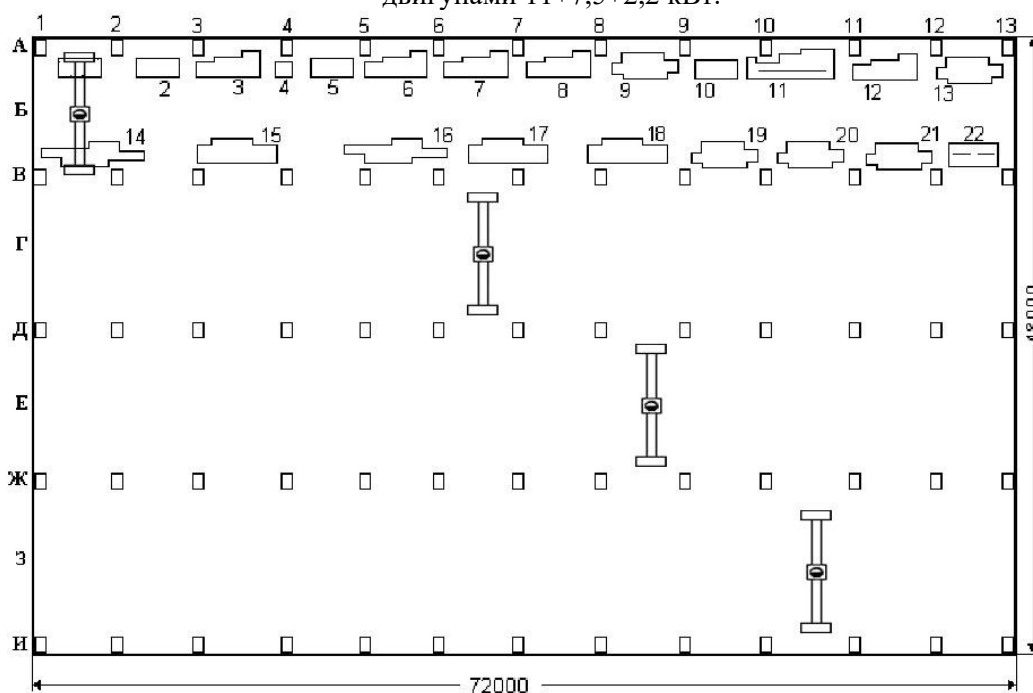


Рисунок 4.1 - Схематичний план механічного цеху металургійного заводу.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту на тему: " Модернізація системи електропостачання механічного цеху металургійного заводу із застосуванням фотоелектричної системи" містить 67 ст., 5 табл., 14 рис., 14 використаних джерел.

У дипломному проекті розроблені наступні питання:

- типи фотоелектричних сонячних станцій;
- характеристика технологічного процесу й споживачів;
- розрахунок силового й освітлювального навантажень;
- визначення кількості й потужності трансформаторів; КТП з урахуванням КП на стороні 0,4 кВ на підставі ТЕР;
- вибір електричних апаратів і перетину КЛ у мережі $U > 1000$ В;
- розрахунок цехової мережі;
- розрахунок струмів КЗ у мережі до 1000 В;
- основні заходи щодо техніки безпеки;
- оцінка виробництва електроенергії фотоелектричної станції.

Метою дипломного проекту є проектування надійної та економічної системи електропостачання цеху з урахуванням потужності сонячної електростанції.

КАТЕГОРІЯ НАДІЙНОСТІ, КОЕФІЦІЄНТ МАКСИМУМУ, КОЕФІЦІЄНТ ПОПИТУ, РОЗРАХУНКОВЕ МАКСИМАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, КОМПЛЕКТНА ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, КОМПЕНСУЮЧІ ПРИСТРОЇ.

ЗМІСТ

Завдання.....	2
Реферат.....	4
Зміст.....	5
Перелік умовних позначень.....	6
Вступ.....	7
1 Фотоелектричні сонячні станції.....	7
2 Характеристики технологічного процесу й споживачів.....	8
3 Розрахунок електричних навантажень.....	16
3.1 Розрахунок освітлювального навантаження.....	16
3.2 Розрахунок силового навантаження.....	18
4 Вибір кількості і потужності трансформаторів КТП з урахуванням компенсації реактивної потужності.....	32
5 Вибір електричних апаратів і провідників живильної мережі.....	44
6 Розрахунок цехової мережі.....	47
6.1 Вибір схеми й конструктивного виконання цехової мережі.....	47
6.2 Вибір уставок захисних апаратів і провідників цехової мережі.....	50
6.3 Вибір тролейних ліній.....	57
7 Розрахунок струмів КЗ у мережі напругою менше 1000 В.....	51
8 Основні заходи щодо техніки безпеки.....	53
9 Аналіз режиму електроспоживання механічного цеху металургійного заводу.....	54
10 Оцінка виробництва електроенергії фотоелектричної станції.....	55
11 Вибір параметрів захисних апаратів та кабельних ліній напругою 0,4 кВ для фотовольтаїчної системи.....	63
Висновок.....	65
Перелік посилань.....	66

ВСТУП

У зв'язку зі швидким розвитком та ростом промислових електричних мереж з'являється необхідність проектування та спорудження нових, більш надійних з точки зору електропостачання споживачів та економічних електричних мереж промислових підприємств. Систему електропостачання промислового підприємства можна умовно розділити на внутрішньозаводське та цехове електропостачання. Цехове електропостачання являє собою живильну й розподільну мережу з напругою до 1000 В, а також комплектні трансформаторні підстанції (КТП).

Основною умовою проектування ефективної системи електропостачання є надійність, економічність і якість електроенергії в мережі.

При проектуванні внутрішньоцехової мережі необхідно враховувати ряд вимог:

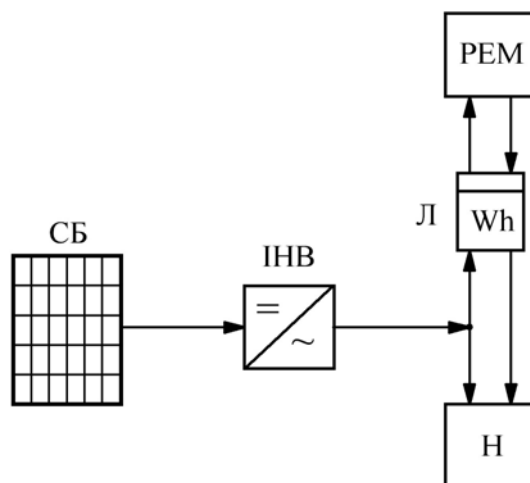
- характерне розміщення навантаження на території цеху;
- наявність власного джерела живлення (фотоелектричної станції);
- урахування перспективи розвитку та розширення;
- забезпечення відновлення живлення споживачів у після аварійному режимі;
- забезпечення регіональних та експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми без відключення сусідніх приєднань;
- електрична мережа має забезпечувати СЕ якісною електроенергією.

1.ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СОНЯЧНІ СТАНЦІЇ

Сонячна енергетика в Україні — це відносно нова галузь електроенергетики, яка стрімко розвивається. Ця галузь використовує методи фотовольтаїки та геліотермального перетворення. Фотовольтаїка як чиста та зелена енергетична технологія відіграє життєво важливу роль у задоволенні дефіциту електроенергії в країні.

Україна має вражаючий потенціал сонячної енергії, який перевищує запаси традиційних ресурсів, таких як нафта, газ та вугілля. Це сприяє стійкому зростанню сонячних фотоелектростанцій, які вже забезпечують около 6% від загального обсягу виробленої в країні електроенергії. Україна має потенціал стати лідером у використанні сонячної енергії, особливо в регіонах, таких як степова Україна [1].

Сонячні електростанції (СЕС) - це системи, які використовують сонячну енергію для генерації електричної енергії безпосередньо з сонячного випромінювання. Узагальнена функціональна схема СЕС, яка працює паралельно з електромережею, показана на рис. 1.1.



СБ – сонячна батарея; ІНВ –інвертор; Л –лічильник активної електроенергії(двонаправлений);
РЕМ – розподільна електрична мережа напругою 380В.
Н – електричне навантаження цеху підприємства 380В.

Рис. 1.1. - Функціональна схема СЕС, що працює паралельно з електричною мережею

Існують наступні види сонячних фотоелектричних станцій: автономні, гібридні та мережеві.

Автономна сонячна електростанція (АСЕ) не пов'язана фізично із загальною електромережею, і як випливає з назви, призначена для забезпечення електроенергією як житлових, так і комерційних об'єктів у яких відсутня загальна електромережа. Основна перевага АСЕ полягає в незалежності від загальної мережі електропостачання. Блок схему АСЕ показано на рис. 1.2. Електрообладнання АСЕ: фотобатарея, акумуляторна батарея, інвертор та контролер заряду-розряду.. Навантаження АСЕ - споживачі електроенергії.

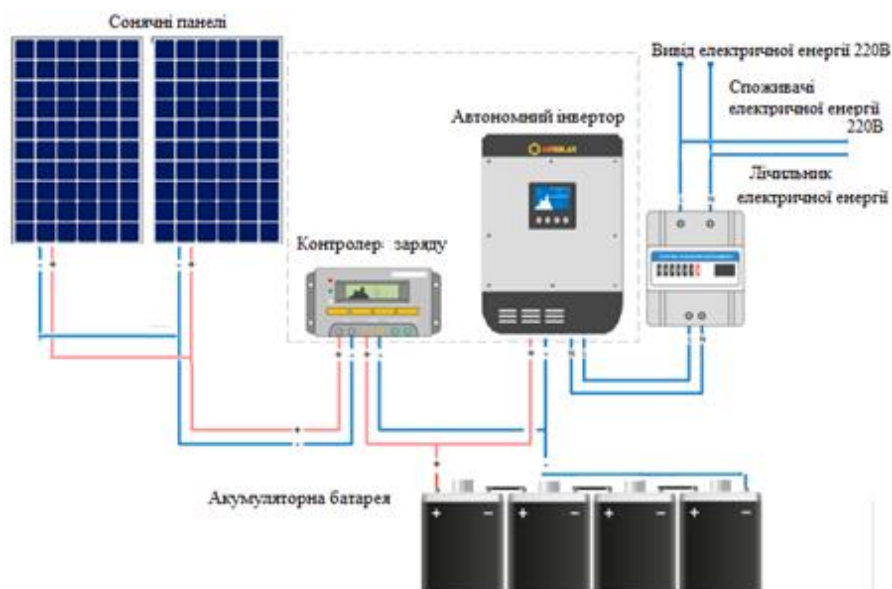


Рисунок 1.2.- Блок схема автономної сонячної електростанції

В АСЕ присутні накопичувачі електроенергії – як правило акумуляторні батареї (АКБ), які використовуються для акумулювання електричної енергії в нічний час або дизель - генераторі установки, які забезпечують безперебійну роботу АСЕ.

Електроенергія, що генерується від сонячних панелей, розташованих на даху будинку або на наземній конструкції, надходить до контролеру заряду, який управляє режимами заряду АКБ і виключає перезаряд АКБ та сприяє збільшенню вироблення енергії сонячними панелям (MPPT- контролер).

Режими заряду-розряду налаштовуються під певний тип АКБ автоматично або вручну. Струм сонячних панелей є постійним. Для його перетворення в змінний струм, необхідний для роботи більшості електроприладів, використовується інвертор. Інвертор підбирається так, щоб його потужності вистачило для одночасної роботи часто використовуваних приладів. Варто відзначити, що зараз на ринку існують велика кількість інверторів з вбудованим сонячним контролером заряду. Для захисту від короткого замикання і перенапруги система комплектується захисною автоматикою, яка розташовується в розподільних щитках. Туди входять запобіжники і обмежувачі перенапруги. Система кріплень для сонячних панелей забезпечує надійну фіксацію панелей і провітрювання панелей, що дуже важливо для їх ефективної роботи.

Гібридні сонячні електростанції (рис. 1.3) поєднують в собі плюси мережових і автономних сонячних електростанцій.

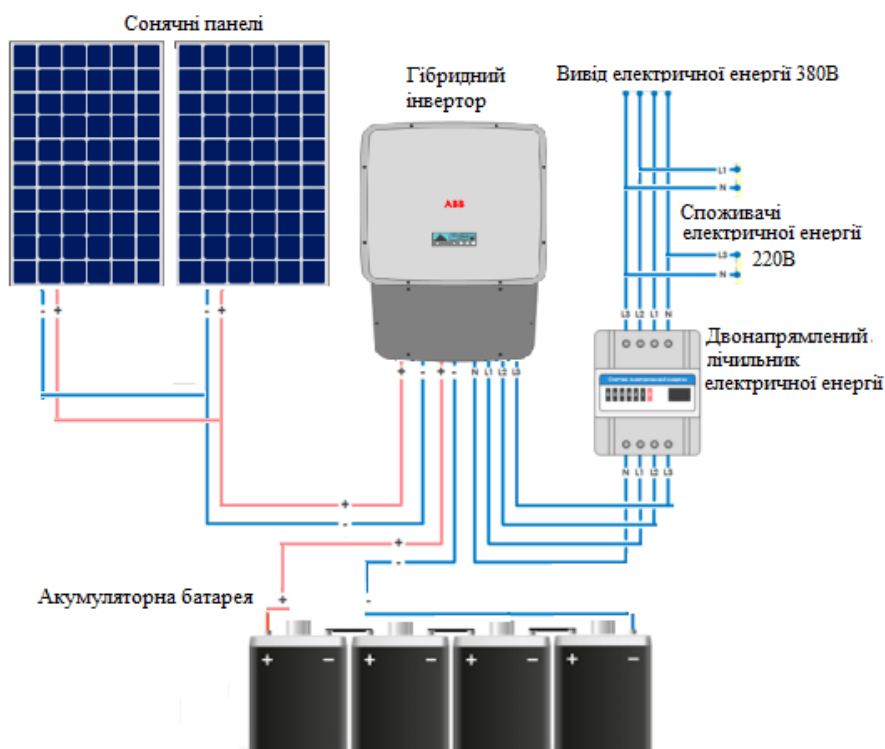


Рисунок 1.3 Блок схема гібридної сонячної електростанції

Їх можна назвати автономними сонячними електростанціями з резервним живленням від мережі або мережеві сонячні електростанції з додатковими

аккумуляторами. При використанні гібридної СЕС необхідна ємність аккумулятора набагато менше порівняно з ємністю автономною електростанцією. Гібридні СЕС генерують енергію так само, як і мережеві СЕС, але зберігають електроенергію в аккумуляторах для подальшого використання ввечері або вночі. Традиційно термін «гібридні» відноситься до двох джерел енергії, таким як вітер і сонячна енергія. Цей вид електростанції вимагає наявності мережі змінного струму, яка використовується при розряді аккумуляторів, щоб не відбувалося припинення подачі електропостачання будинку, ферми або ін. Система автоматики, дозволяє об'єкту за відсутності сонця і при повному розряді аккумуляторів, перемкнути живлення на електромережу.

Заряд АКБ від сонячних батарей у гібридній сонячній станції здійснюється за допомогою контролера заряду, він може бути як вбудованим в гібридний інвертор, так і окремим блоком.

Гібридний інвертор - це багатофункціональний прилад, який має багато налаштувань. Гібридний інвертор відслідковує потоки споживання електроенергії і віддачу (продаж) енергії у зовнішню мережу та скеровує надлишок, отриманий від сонячних панелей, на зберігання енергії в АКБ. Він може працювати в режимі мережевого інвертора (скидати вироблену панелями електроенергію у зовнішню мережу) або в режимі автономного інвертора (скидати вироблену панелями електроенергію у внутрішню будинкову мережу).

Останні моделі гібридного інвертора поєднують в собі функції мережевого інвертора з вбудованим МРРТ контролером і джерела безперебійного живлення. Двонаправлений інтелектуальний лічильник використовується для збору даних та зв'язку. За його показниками контролер інвертора керує, процесом заряду/розряду аккумуляторної батареї. Двонаправлений лічильник веде 2 паралельних обліку: облік споживаної енергії і облік енергії, що йде на

продаж в загальну мережу. За свідченнями даного типу лічильника, визначається сума виплат по «зеленому» тарифу.

Мережева сонячна електростанція (рис.1.4) призначена для часткового зниження електроспоживання системи електропостачання споживачів або вироблення енергії за зеленим тарифом. Основними елементами сонячної системи є: фотопанелі і мережевий інвертор.

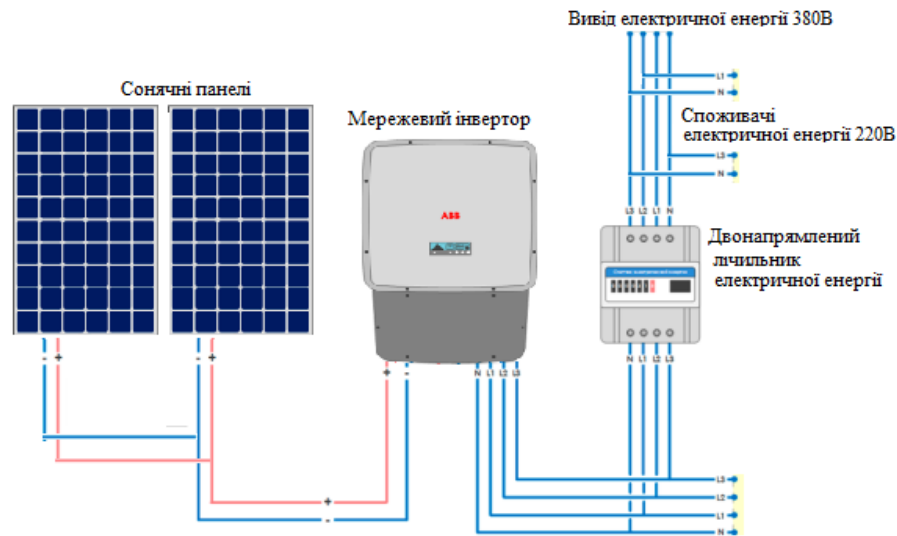


Рисунок 1.4.- Блок схема мережевої сонячної електростанції

Фотопанелі безпосередньо підключаються до інвертору, який перетворює постійний струм з фотопанелей в змінний струм для генерації електроенергії в мережу. Підключення інвертора до загальної мережі виконується через розподільчий щит.

Обов'язковою умовою генерації електроенергії в мережу є наявність напруги в мережі.

Мережеві сонячні електростанції більш економічні для підприємств, ніж для житлових будинків. Оскільки електрообладнання працює протягом дня на підприємстві і використовує сонячну енергію, що генерується сонячною електростанцією, а для комунально- побутових споживачів більшість людей працюють протягом дня і не використовують сонячну енергію, що генерується сонячною електростанцією, а ввечері все-таки використовують енергію із

зовнішнього мережі. «Електричний» день закінчується тільки о 23:00 і до цього діє максимальний тариф.

Для більшості підприємств, що працюють протягом дня, як і раніше залишається найбільш економічним вибором звичайна мережева сонячна електростанція.

Переваги мережевих сонячних електростанцій:

- станція окупується протягом 4-6 років, а далі приносить прибуток.
- надійність;
- не вимагає регулярного обслуговування, тільки технічне обслуговування (профілактичний огляд електрообладнання);
- більш низька ціна в порівнянні з автономними і гібридними станціями.

Недоліки мережевих сонячних електростанцій:

- високі початкові інвестиції;
- залежність від загальної електромережі, не працює при відсутності напруги в мережі.

Великі мережеві сонячні електростанції (більше 1 МВт) призначені для вироблення енергії в рамках промислового зеленого тарифу. Основними елементами промислової сонячної системи є: фотопанелі і стрінгові або центральні промислові мережеві інвертори. Існують панелі з інтегрованим інвертором. Їх перевагою є простота налаштування і можливість легко змінювати масштаб, шляхом простого додавання таких панелей. Такі інвертори використовуються тільки в з'єднаних з мережею енергосистемах. Підключення інвертора до загальної мережі виконується через трансформатор.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І СПОЖИВАЧІВ

Механічний цех є невід'ємною складовою частиною виробництва металургійного заводу. Механічний цех передбачає виробничі, допоміжні, службово-побутові приміщення. Він обслуговує всі цехи основного і допоміжного виробництва заводу, робить поточний і капітальний ремонт та виготовляє запасні частини до обладнання.

Електроприймачі цеху не пов'язані між собою технологічним процесом, їх робота відбувається незалежно один від одного і зупинка одного або декількох з них не викликає зупинки інших електроприймачів. В основному виробництві механізми механічного цеху служать для обробки металів.

В цеху розташовано наступне обладнання:

- Верстати – призначенні для безпосередньої роботи, пов'язаної з обробкою металевих виробів;
- Насоси – призначення для забезпечення постачання цеху необхідними рідинами;
- Електропечі неавтоматизовані - призначені для запікання обмоток деталей електричних апаратів;
- Вентилятори – забезпечують необхідний рівень вентиляції в приміщенні;
- Машини крапкового зварювання та зварювальні машини шовні – призначенні для зварювання металевих виробів;
- Мостові крани – призначенні для переміщення важких вантажів по території цеху.

Згідно з [1] електроприймачі цеху відносяться до II та III категорії по надійності електропостачання. Приміщення цеху має пильне середовище. Цех складається з 4-х польотів розміром 72 x 12 м. Висота цеху $H=7,5$ м.

До цеху прибудовано службово - побутове приміщення розміром у плані 6x36 м і висотою у два поверхи. Джерело живлення цеху – РП-10 кВ, розташоване на відстані 65 м від головної знижувальної підстанції заводу.. Струм КЗ на шинах РП-10 кВ: $I''=15,6$ кА; $I_{\infty}=12,2$ кА. Робочих змін – 3, з

нерівномірним завантаженням по змінах: 1:0,8:0,3. Матеріал колон – залізобетон, ферм і підкранових балок – метал.

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

3.1 Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок навантаження освітлювальної мережі проводиться методом коефіцієнта попиту.

Цей метод є найпростішим і зводиться до підрахунку максимального активного навантаження за формулою:.

$$P_{\text{розр}}^{\text{осв}} = P_{\text{вст.цех}} \cdot K_c \cdot K_{\text{ПРА}} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{розр}}^{\text{осв}}$ - розрахункове навантаження освітлювальної мережі, кВт;

$P_{\text{вст.цех}}$ – встановлена потужність освітлення цеха, кВт;

Розрахунок навантаження освітлювальної мережі цеху проводиться методом питомої потужності. Метод питомої потужності застосовується попереднього визначення потужності встановленої освітлювальної установки чи орієнтовної оцінки правильності виконаного розрахунку. Він ґрунтується на середніх значеннях потужності, необхідної для створення необхідної освітленості при середніх значеннях коефіцієнта використання освітлювальної установки.

Навантаження освітлення:

$$P_{\text{вст.цех}} = P_{\text{уд}} \cdot S \quad (3.2)$$

$$P_{\text{вст.цех}} = 9,26 \cdot 3456 = 3200 \text{ Вт}$$

де $P_{\text{уд}}$ - питома потужність освітлення $P_{\text{уд}} = 9,26 \text{ Вт/м}^2$ для нормованої освітленості $E_{\text{нор}} = 300 \text{ Лк}$ при використанні ламп ДРІ;

S – загальна площа цеху $S = A \cdot B = 72 \cdot 48 = 3456 \text{ м}^2$.

Для службово-побутового приміщення встановлену потужність освітлення [3]:

$$P_{\text{уст}} = 5,1 \cdot (6 \cdot 36) = 1101,6 \text{ Вт}$$

де $P_{уд}$ - питома потужність освітлення службово-побутового приміщення, Вт/м². $P_{уд} = 5,1$ Вт/м² для нормованої освітленості $E_{нор} = 100$ Лк ;;

S - площа підлоги, м²;

Для службово-побутових приміщень прийняті люмінесцентні лампи ЛБ-40 зі світильниками ЛСП 02-2x40. Враховуючи те, що службово – побутове приміщення має два поверхи, Т.ч. встановлена потужність освітлення для службово – побутового приміщення буде складати:

$$P_{вст. поб. пр.} = P_{вст} \cdot 2$$

де 2 - кількість поверхів службово – побутового приміщення;

$$P_{вст. поб. пр.} = 1101,6 \cdot 2 = 2203,2 \text{ Вт}$$

K_c - коефіцієнт попиту, який залежить від характеру освітлювального приміщення:

$K_c = 0,95$ - для приміщень цеху;

$K_c = 0,85$ - для службово-побутових приміщень

$K_{ПРА}$ - коефіцієнт втрат потужності в пускорегулюючий апаратурі газорозрядних ламп:

$K_{ПРА} = 1,12$ - для ламп ДРЛ та ДРИ;

$K_{ПРА} = 1,3$ - для люмінесцентних ламп.

$$P_{розр ц}^{осв} = 32 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 34,05 \text{ кВт}$$

$$P_{розр поб.пр.}^{осв} = 2,2032 \cdot 0,85 \cdot 1,3 = 2,43 \text{ кВт}$$

Розрахункове навантаження за реактивною потужністю освітлення визначається:

$$Q_{розр}^{осв} = P_{розр}^{осв} \cdot \text{tg}\varphi \quad (3.2)$$

де $Q_{розр}^{осв}$ - розрахункова реактивна потужність освітлювальної мережі, кВАР;

$\text{tg}\varphi$ - коефіцієнт реактивної потужності.

$\text{Cos}\varphi = 0,95$ – для люмінісцентних ламп, $\text{Cos}\varphi = 0,85$ для ламп ДРИ та ДРЛ.

$$Q_{\text{розр ц}}^{\text{осв}} = 34,05 \cdot 0,6197 = 21,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{розр поб.пр.}}^{\text{осв}} = 2,43 \cdot 0,3289 = 0,8 \text{ кВт}$$

Повна потужність освітлення:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{(P_{\text{р ц}}^{\text{осв}} + P_{\text{поб пр}}^{\text{осв}})^2 + (Q_{\text{р ц}}^{\text{осв}} + Q_{\text{поб пр}}^{\text{осв}})^2} \quad (3.3)$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{(34,05 + 2,43)^2 + (21,1 + 0,8)^2} = 42,55 \text{ кВА}$$

3.2 Розрахунок силового навантаження

Розрахунок проводився методом упорядкованих діаграм за допомогою ЕОМ. Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунку електричних навантажень методом упорядкованих діаграм

Найменування електроприймача	$P_{\text{ном}}$, кВт	$K_{\text{и}}$	$\cos\phi$	ПВ, %	номер узла
Верстат	28	0,16	0,65	100	1
Верстат	20	0,16	0,65	100	1
Верстат	28	0,16	0,65	100	1
Верстат	20	0,16	0,65	100	1
Верстат	28	0,16	0,65	100	1
Верстат	20	0,16	0,65	100	1
Верстат	28	0,16	0,65	100	1
Верстат	20	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	17	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	17	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	17	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	17	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	17	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	22	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1

Продовження таблиці 3.1

Найменування електроприймача	Рном, кВт	Ки	Cosφ	ПВ, %	номер узла
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	10	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	14	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1

Продовження таблиці 3.1

Найменування електроприймача	$P_{ном}$, кВт	$Kи$	$\cos\varphi$	ПВ, %	номер узла
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	7	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Верстат	4,5	0,16	0,65	100	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Зварювальні машини шовні	50	0,35	0,7	25	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Зварювальні машини шовні	50	0,35	0,7	25	1
Верстат	4	0,16	0,65	100	1
Зварювальні машини шовні	50	0,35	0,7	25	1
Зварювальні машини крапкові	100	0,35	0,7	25	1
Зварювальні машини крапкові	75	0,35	0,7	20	1
Зварювальні машини крапкові	100	0,35	0,7	25	1
Зварювальні машини крапкові	75	0,35	0,7	20	1
Зварювальні машини крапкові	100	0,35	0,7	25	1
Електропечі неавтоматизовані	60	0,65	1	100	1
Зварювальні машини крапкові	100	0,35	0,7	25	1
Електропечі неавтоматизовані	60	0,65	1	100	1
Зварювальні машини крапкові	100	0,35	0,7	25	1
Електропечі неавтоматизовані	30	0,65	1	100	1
Кран Q=5т	20,7	0,1	0,6	25	1
Електропечі неавтоматизовані	30	0,65	1	100	1
Кран Q=5т	20,7	0,1	0,6	25	1
Електропечі неавтоматизовані	30	0,65	1	100	1
Вентилятори	20	0,65	0,8	100	1
Кран Q=5т	20,7	0,1	0,6	25	1
Вентилятори	20	0,65	0,8	100	1
Кран Q=5т	20,7	0,1	0,6	25	1
Вентилятори	20	0,65	0,8	100	1
Вентилятори	10	0,65	0,8	100	1
Вентилятори	20	0,65	0,8	100	1
Насос	7	0,7	0,75	100	1
Вентилятори	20	0,65	0,8	100	1
Насос	7	0,7	0,75	100	1

Вентилятори	20	0,65	0,8	100	1
Насос	7	0,7	0,75	100	1
Вентилятори	10	0,65	0,8	100	1

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електричних навантажень для вибору КТП

№ номер узла	$P_{уст},$ кВт	$P_m,$ кВт	$Q_m,$ кВАр	$S_m,$ кВа	$I_m,$ А	$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ кВАр	$S_{см},$ кВА
1	1983,5	629,0	447,3	771,8	1114,0	572,2	447,3	726,3

З урахуванням навантаження освітлення повне розрахункове навантаження КТП цеху буде становити:

$$P_{р\ КТП} = P_{розр\ ц}^{осв} + P_{розр\ поб.пр.}^{осв} + P_m \quad (3.4)$$

$$Q_{р\ КТП} = Q_{розр\ ц}^{осв} + Q_{розр\ поб.пр.}^{осв} + P_m \quad (3.5)$$

$$P_{р\ КТП} = 34,05 + 2,43 + 629 = 665,48 \text{ кВт};$$

$$Q_{р\ КТП} = 21,1 + 0,8 + 447,3 = 469,2 \text{ кВАр}.$$

4 ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ КТП З УРАХУВАННЯМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Кількість встановлюваних трансформаторів залежить від категорії ЕП за надійністю. Згідно з ПУЕ механічний цех відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання.

Для живлення цеху з ЕП II категорії, можливе застосування двотрансформаторної КТП

Визначимо розрахункову потужність трансформатора за формулою:

$$S_{p\ T} = \frac{P_{p\ КТП}}{n_T \cdot K_3^{OPT}} \quad (4.1)$$

де K_3^{OPT} - оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора. $K_3^{OPT} = 0,7$ – для двотрансформаторної КТП.

Розрахункову потужність трансформатора $S_{p\ T}$ визначаємо за активною потужністю, так як недостатня реактивна потужність може бути скомпенсована джерелами реактивної потужності - компенсуючими пристроями (КП) напругою 0,4кВ .

Втрати реактивної потужності в трансформаторах визначаємо за формулою:

$$\Delta Q_{TP} = n_T \cdot \left(\frac{I_{XX} \cdot S_{НОМ\ T}}{100} + K_3^2 \cdot \frac{U_K \cdot S_{НОМ\ T}}{100} \right) \quad (4.2)$$

де I_K – струм холостого ходу обраного трансформатора, %;

U_K – напруга короткого замикання трансформатора, %;

$S_{НОМ\ T}$ – номінальна потужність обраного трансформатора, кВА.

n_T – кількість встановлених трансформаторів.

Пропускна здатність трансформатора за реактивною потужністю визначається за формулою:

$$Q_{\text{тр}} = \sqrt{(K_3^{\text{опт}} \cdot n_{\text{T}} \cdot S_{\text{ном Т}})^2 - P_{\text{р КТП}}^2} \quad (4.3)$$

Визначимо розрахункову потужність компенсуючих пристроїв на стороні НН за допомогою формули:

$$Q_{\text{нКУ}} = Q_{\text{р КТП}} + \Delta Q_{\text{тр}} - Q_{\text{тр}} \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{р КТП}}$ - розрахункова реактивна потужність, кВАр.

Перевірка коефіцієнту завантаження трансформатора проводиться за формулою:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_{\text{р КТП}}^2 + (Q_{\text{р КТП}} + \Delta Q_{\text{тр}} - Q_{\text{нКУ}})^2}}{n_{\text{T}} \cdot S_{\text{ном Т}}} \quad (4.5)$$

Необхідність установки компенсуючих пристроїв на стороні ВН визначається за формулою:

$$Q_{\text{ВКУ}} = Q_{\text{р КТП}} + \Delta Q_{\text{тр}} - Q_{\text{нКУ}}^{\text{ст}} - Q_{\text{е}} \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{е}} = P_{\text{роз}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{д}} \quad (4.7)$$

За формулами (4.1) – (4.7) проведемо розрахунки КТП.

Розрахункова потужність двотрансформаторної КТП.

$$S_{pT} \geq \frac{665,48}{0,7 \cdot 2} = 475,34 \text{ кВА};$$

Обираємо найближче більше стандартне значення потужності трансформатора 630 кВА, тобто трансформатор ТМЗ-630/10. Відповідно, можна встановити комплектну трансформаторну підстанцію КТП-2х630/10/0,4. Трансформатор має наступні параметри: $S_{номT} = 630$ кВА, $U_{вн} = 10$ кВ, $U_{нн} = 0,4$ кВ, $U_k = 5,5 \%$, $I_{xx} = 1,8 \%$, $\Delta P_k = 7,6$ кВт, $\Delta P_{xx} = 1,31$ кВт.

$$\Delta Q_{тр} = 2 \cdot \left(\frac{1,8 \cdot 630}{100} + 0,7^2 \cdot \frac{5,5 \cdot 630}{100} \right) = 56,64 \text{ кВАр};$$

$$Q_{тр} = \sqrt{(630 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 665,48^2} = 578,84 \text{ кВАр}$$

$$Q_{нкв} = 469,2 + 56,64 - 578,84 = - 53 \text{ кВАр}$$

Розрахунок показав, що установка КП на стороні НН є недоцільною.

$$K_3 = \frac{\sqrt{665,48^2 + (469,2 + 56,64 - 0)^2}}{2 \cdot 630} = 0,673$$

$$Q_e = 665,48 \cdot 0,33 = 219,61 \text{ кВАр}$$

$$Q_{вкв} = 469,2 + 56,64 - 0 - 219,61 = 306,23 \text{ кВАр}$$

Обираємо для встановлення на стороні 10кВ два конденсаторних пристрій (КП) типу УКЛ(П)Н – 56 – 10,5 – 150 – У3.

Конденсаторний пристрій типу УКЛ-56М-10,5-150 У3 (з роз'єднувачем, розміщення осередку введення – ліворуч) призначен для підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств та розподільчих мереж напругою 10 кВ частоти 50 Гц. Цей пристрій призначен для експлуатації у закритих приміщеннях (категорія 3) у таких умовах:

- інтервал температур від мінус 40 до плюс 40°C;
- відносна вологість повітря до 80% при температурі 20°C;
- висота над рівнем моря трохи більше 1000 м;

- навколишнє середовище невибухонебезпечне, що не містить струмопровідного пилю, агресивних газів і пар у концентраціях, що руйнують метали та ізоляцію.

Конструкція трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ типу ТМ-630/10 кВ.

Трансформаторна підстанція 630/10/0,4 призначена для електропостачання цеха. За надійністю забезпечення електроенергією підстанція задовольняє вимоги електроприймачів другої категорії надійності. Двотрансформаторна підстанція КТП-2×630\10 трансформаторами ТМ-630/10 кВ, дорожче однострансформаторної, але в після аварійному режимі при відключенні одного з трансформаторів втрачає живлення не весь цех. ТП служить для електропостачання споживачів з амплітудними значеннями наскрізного струму короткого замикання до 15 кА і прохідної потужності 11000 кВ·А при 10 кВ.

Трансформаторна підстанція розміщується в окремій будівлі, розрахована на встановлення двох трансформаторів потужністю 630 кВ·А та пристрій до чотирьох кабельних вводів 10 кВ з використанням камер комплектного розподільчого пристрою серії КМ1Ф, рис 4.1.

На напрузі 0,4 кВ прийнято одинарну, секційовану на дві секції систему збірних шин. Живлення секцій шин здійснюється від силових трансформаторів, що підключені до розподільного пункту (РП) напругою 0,4 кВ через автомати типу ВА.

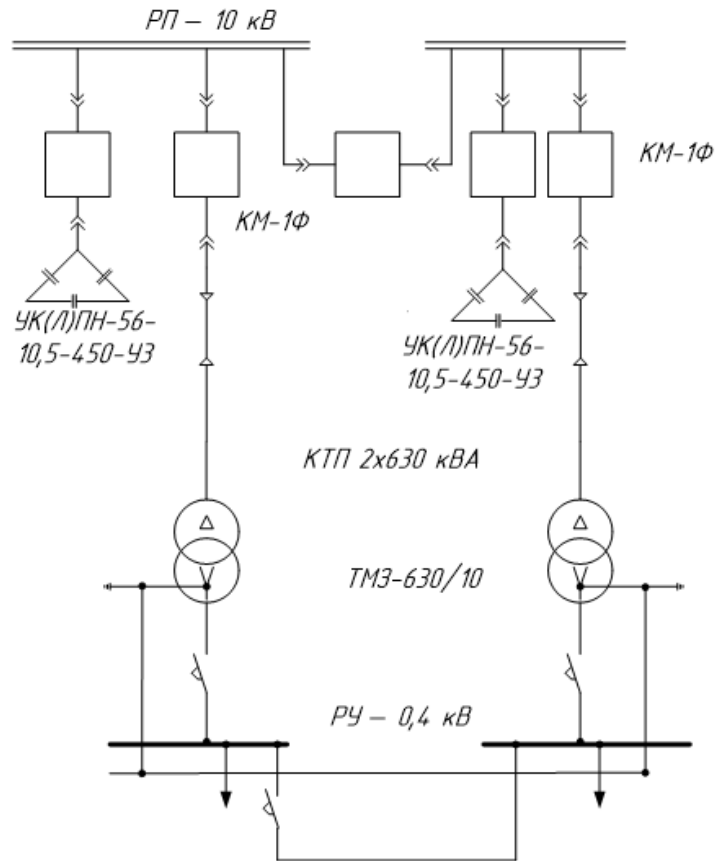


Рисунок 4.1 – Графічне зображення КТП 10/0,4кВ

У КТП потужністю 630 кВА передбачається встановлення наступних вимірювальних приладів:

- вольтметрів на секціях шин напругою 0,4 кВ;
- амперметрів на сторонах напругою 0,4 кВ силових трансформаторів;
- амперметрів на шинах напругою 0,4 кВ, що відходять;
- лічильників на сторонах напругою 0,4 кВ силових трансформаторів.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ І ПРОВІДНИКІВ МЕРЕЖІ 10кВ

Високовольтний осередок КМ-1Ф - комплектний розподільний пристрій призначений для прийому та розподілу електричної енергії трифазного змінного струму промислової частоти в мережах із ізольованою нейтраллю.

КРП КМ-1Ф застосовуються в закритих розподільних пристроях (РП) та електроустановках з частими комутаційними операціями. Умови обслуговування шаф КМ-1Ф – двостороннє. Корпус шафи є збірною металоконструкцією, розділеною металевими та ізоляційними перегородками на відсіки: висувного елемента; лінійних шин; збірних шин; вихлопу; шафи низьковольтної апаратури, на якій передбачений короб для прокладання низьковольтних кабелів. Шафи КРУ забезпечують управління, захисту та блокування відповідно до замовлення

Для РП-10кВ вибираємо осередок КРП типу КМ-1Ф з вакуумним вимикачем типу ВВ/TEL-10-20/2000 УЗ.

Максимальний струм на стороні ВН:

$$I_{p_макс} = \frac{S_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} \quad (5.1)$$

$$I_{p_макс} = \frac{\sqrt{665,48^2 + 469,2^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 47 \text{ А,}$$

Умови вибору й перевірки осередку КРП:

Вимикачі вибирають за номінальними значеннями напруги та струму, родом установки, умовами роботи та конструктивним виконанням. Вибрані вимикачі перевіряють на вимикальну здатність та на електродинамічну та термічну стійкість при наскрізних струмах короткого замикання.

$$U_{ном} \geq U_c \quad (5.2)$$

$$10,5 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{p_макс} \quad (5.3)$$

$$1000 \text{ A} \geq 47 \text{ A}$$

$$I_{\text{откл}} \geq I'' \quad (5.4)$$

$$20 \text{ кА} \geq 15,6 \text{ кА}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (5.5)$$

$$51 \text{ кА} \geq 39,7 \text{ кА}$$

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_{\infty}^2 \cdot t \quad (5.6)$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 92,16 \text{ кА}^2\text{с}$$

де $i_{\text{дин}}$ – відповідно миттєве значення струму електродинамічної стійкості;

I_{∞} – усталене значення струму короткого замикання;

I_T, t_T – відповідно струм термічної стійкості та час його протікання.

В осередку КРП встановлюємо трансформатори струму ТЛК-10-1У3.

Площа перерізу КЛ-10кВ вибирається за наступними умовами:

- економічної густини струму;
- довгострокового припустимого нагрівання при ПАР;
- термічної стійкості до струму короткого замикання .

Вибір перерізу за економічною густиною струму проводиться по формулі:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{розр}}}{j_{\text{ек}}} \quad (5.7)$$

де $j_{\text{ек}}$ - економічна густина струму, $j_{\text{ек}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ для КЛ з алюмінієвими жилами.

$$F_{\text{ек}} = \frac{23,5}{1,4} = 16,79 \text{ мм}^2.$$

З довідникових даних вибираємо найближчий стандартний переріз кабелю $S_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2$.

Вибір перерізу за довгостроковим припустимим нагріванням при ПАР проводиться по формулі:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_{p \text{ max}}}{K_{\text{поп}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{сер}}} \quad (5.8)$$

де $K_{\text{поп}}$ – поправочний коефіцієнт, $K_{\text{поп}} = 1,25$;

$K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, що враховує умови прокладки, $K_{\text{пр}} = 0,8$;

$K_{\text{сер}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища, $K_{\text{сер}} = 1$.

$$I_{\text{доп}} = \frac{47}{1,25 \cdot 1 \cdot 0,8} = 47 \text{ А}$$

З довідникових даних вибираємо найближчий переріз кабелю за умови:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р max}} \quad (5.9)$$

$$S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2.$$

Вибір перерізу за термічної стійкістю до струмів КЗ проводиться по формулі:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \quad (5.10)$$

де $I_{\infty} = 12,2 \text{ кА}$ - значення струму 3-х фазного КЗ на

$C=95$ - коефіцієнт для КЛ ААШв при прокладці у траншеї;

t_n - наведений час дії к.з.

$$t_n = t_{\text{пп}} + t_{\text{на}} \quad (5.11)$$

$$t_n = 0,8$$

де $t_{\text{пп}}$ та $t_{\text{на}}$ – відповідно періодична й аперіодична складові струму t_n .

$$F_{\text{min}} = \frac{12200 \cdot \sqrt{0,8}}{94} = 116,08 \text{ мм}^2$$

Цей метод веде до завищення, тому обираємо найближчий менший стандартний перетин, тобто 95 мм^2 .

Обираємо КЛ марки ААШв (3х95). Силовий кабель із алюмінієвими жилами (А), з паперовою просоченою ізоляцією, в алюмінієвій оболонці (А) із захисним шлангом із ПВХ-пластику (Шв). Застосовується передачі електроенергії в стаціонарних установках напругою 10кВ частотою 50Гц. Обрана КЛ має переріз – 95 мм^2 .

Кабель прокладено у траншеї.

6. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

6.1 Вибір схеми й конструктивного виконання цехової мережі

Для цехової мережі обрана змішана схема із застосуванням радіальних шинопроводів ШРА73-УЗ, укомплектованих запобіжниками, приєднаних до РП-0,4 кВ КТП цеха.

Розташування КТП у цеху неможливо, тому КТП виконується прибудованого типу з боку зовнішнього джерела живлення. КТП містить у собі два силових трансформатора ТМЗ-630/10, дві шафи вводу ШНВ-2УЗ та секційну шафу ШНС-3УЗ, укомплектованих автоматичними вимикачами серії ВА.

Живильна мережа цеху 0,4 кВ виконана кабельними лініями марки АВВГ, із прокладкою кабелів по стінах на конструкціях.

Розподільна мережа 0,4 кВ виконана проводом марки АПВ. ЕП цеху підключаються через спуски проводу АПВ від ШРА, які прокладаються у металевих рукавах.

Таблиця 6.1 – Вибір апаратів захисту шаф КТП

№ приєднання	Назва вузла	Розрахунковий струм вузла, I_p , А	Тип шафи	Тип автоматичного вимикача	Струм АВ, $I_{ном}$, А
1	ввідний АВ	557	ШНВ-2УЗ	ВА55-43	1600
2	ШРА 1	125,8		ВА51-39	630
3	ШРА 2	175,1		ВА51-39	630
4	секційний АВ	1114,0	ШНС-3УЗ	ВА55-43	1600
5	ШРА 3	500,9		ВА51-39	630
6	ЩО	25,1		ВА51-35	250
7	ШРА 4	196,5	ШНВ-2УЗ	ВА51-35	250
8	ШРА 5	312,6		ВА51-39	630
9	ввідний АВ	557		ВА55-43	1600

Вибір шинопроводів проводимо за наступною умовою:

$$I_{ном} \geq I_p \quad (6.1)$$

Згідно умови (6.1) обираємо шинопроводи марки ШРА73-УЗ

$$400\text{A} \geq 125,8\text{ A}$$

Перевіряємо обрані шинопроводи за втратами напруги (нормоване значення 5%):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot I_p \cdot l \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_{\text{ш}} \cdot \text{Cos}\varphi + x_{\text{ш}} \cdot \text{Sin}\varphi) \quad (6.2)$$

де I_p – розрахунковий струм шинопровода, А;

l – довжина шинопроводу, км;

$r_{\text{ш}}, x_{\text{ш}}$ – питомі активний та індуктивний опори ШРА, відповідно, Ом/км

$$\Delta U_{\text{ШРА1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 125,8 \cdot 0,072 \cdot 100}{380} \cdot (0,15 \cdot 0,8 + 0,17 \cdot 0,6) = 0,46 \%$$

$$\Delta U_{\text{ШРА2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 175,1 \cdot 0,072 \cdot 100}{380} \cdot (0,15 \cdot 0,8 + 0,17 \cdot 0,6) = 0,64 \%$$

6.2 Розрахунок живильної мережі

Живильна мережа - це ділянка цехової мережі від РП-0,4 кВ до ШРА і ЩО. Для даної мережі проведемо вибір уставок автоматичних вимикачів та вибір перерізу кабельної лінії.

Уставки автоматичних вимикачів вибираються за наступними умовами:

$$U_{\text{ном а}} \geq U_{\text{мер}} \quad (6.3)$$

$$I_{\text{ном а}} \geq I_p \quad (6.4)$$

$$I_{\text{теп роз}} \geq I_p \quad (6.5)$$

$$I_{\text{ел маг роз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пік}} \quad (6.6)$$

де $U_{\text{ном а}}$ – номінальна напруга АВ, В;

$U_{\text{мер}}$ – номінальна напруга мережі, В;

$I_{\text{ном а}}$ – номінальний струм АВ, А;

$I_{\text{теп роз}}$ – номінальний струм теплового розчеплювача АВ, А;

$I_{\text{ел маг роз}}$ – струм електромагнітного розчеплювача АВ, А;

I_p – розрахунковий струм лінії, А;

$I_{\text{пік}}$ – піковий струм лінії, А.

$$I_{\text{пік}} = I_p + (K_{\text{п}} - 1) \cdot I_{\text{ном max}} \quad (6.7)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнту пуску.

Переріз КЛ проводиться за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{поп}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{сер}}} \quad (6.8)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустимий тривалий струм для провідників з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері (вказано у таблицях ПУЕ [1]), згідно яких й обирається переріз провідників, А;

$K_{\text{поп}}$ – поправочний коефіцієнт, $K_{\text{поп}} = 0,92$;

$K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, що враховує умови прокладки, $K_{\text{пр}} = 0,9$;

$K_{\text{сер}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища, $K_{\text{сер}} = 1$.

Обрані КЛ перевіряються за умовами:

$$I_{\text{доп КЛ}} \geq I_p \text{ ШРА} \quad (6.9)$$

$$I_{\text{доп КЛ}} \geq I_{\text{ном теп роз}} \quad (6.10)$$

Проведемо вибір уставок АВ та перерізу КЛ для лінії від РП-0,4кВ до ШРА1. Для встановлення в шафі КТП обираємо автоматичний вимикач типу ВА.

$$400 \text{ А} \geq 380 \text{ А}$$

$$250 \text{ А} \geq 125,8 \text{ А}$$

$$250 \text{ A} \geq 141,09 \text{ A}$$

$$I_{\text{пик}} = 125,8 + (5,5 - 1) \cdot 80,3 = 346,25 \text{ A}$$

$$2500 \geq 346,25$$

Переріз КЛ проводиться за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{125,8}{0,9 \cdot 1 \cdot 0,92}$$

$$I_{\text{доп}} \geq 151,9 \text{ A}$$

Вибираємо кабель АВВГ 2х [3х95 + 1х50] $I_{\text{доп}} = 2 \times 170 = 340 \text{ A}$.

Перевіримо виконання умов (6.9) та (6.10):

$$170 \text{ A} \geq 125,8 \text{ A}$$

$$340 \text{ A} \geq 250 \text{ A}$$

Розрахунок для останніх приєднань проводиться аналогічно. Результати вибору уставок та перерізу КЛ наведено в зведеній таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Вибір уставок АВ та перерізів КЛ для живильної мережі

Найменування приєднання	I_p , А	Тип АВ	$I_{\text{ном АВ}}$, А	$I_{\text{теп.рас АВ}}$, А	$I_{\text{сл.маг.рас АВ}}$, А	Переріз кабелю АВВГ	$I_{\text{доп КЛ}}$, А
Ввод	1114,0	ВА55-43	1600	1280	3200	-	-
ШРА 1	125,8	ВА51-39	630	250	2500	2х [3х95 + 1х50]	2 х 170=340
ШРА 2	175,1	ВА51-39	630	400	2500	2х [3х120+1х70]	2 х 200=400
секційний АВ	1114,0	ВА55-43	1600	1280	3200	-	-
ШРА3	500,9	ВА51-39	630	630	2500	2х[3х185+1х120]	2х270 =540
ШРА4	196,5	ВА51-35	250	400	2500	2х [3х120+1х70]	2 х 200=400
ШРА5	312,6	ВА51-39	630	400	2500	2х [3х120+1х70]	2 х 200=400

Для розподільчої мережі вибираємо провід АПВ. Шинопроводи комплектуються запобіжниками типу ПН.

Номінальний струм плавкої вставки запобіжника вибирається за умовами:

$$U_{\text{ном зап}} \geq U_{\text{мер}} \quad (6.11)$$

$$I_{\text{ном пл вст}} \geq I_{\text{ном}} \quad (6.12)$$

$$I_{\text{ном пл вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha} \quad (6.13)$$

де $I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм ЕП, А;

Пусковий струм одного ЕП визначається за формулою:

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}},$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм електроприймача, А;

$k_{\text{пуск}}$ - коефіцієнт пуску, який приймається 5 – для асинхронних двигунів с коротко замкнутим ротором й для синхронних двигунів, 2,5 – для двигунів постійного струму та асинхронних двигунів з фазним ротором, 3 – для зварювальних та пічних трансформаторів, машин контактного зварювання при максимальній вторинній напрузі.

α – значення . $\alpha = 2,5$ легкий пуск; $\alpha = 1,6$ важкий пуск.

$I_{\text{ном}}$ – номінальний струм електроприймача, А;

$$I_{\text{ном}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta} \quad (6.14)$$

Перетин проводів АПВ вибирається за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ном}} \quad (6.15)$$

Також необхідно перерізи перевірити за умовою відповідності до захисного апарату:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зах}} \cdot I_{\text{зах}}, \quad (6.15)$$

де $K_{зах}$ – нормована кратність допустимого струмового навантаження на провідники щодо параметрів апаратів захисту, визначається ПУЕ [1] залежно від призначення прийнятого виду захисту, вимог до захисту електричної мережі, ізоляції провідників і вимог до їх прокладки;

$I_{зах}$ – струм уставок апаратів захисту, А.

У проекті для живильної цехової мережі $K_{зах}$ дорівнює 1, для розподільної – 0,33. Струм уставок апаратів захисту для живильної мережі це струм уставки теплового розчеплювача ($I_{т розч}$), а для розподільної – номінальний струм плавкої вставки ($I_{номвст}$).

Проведемо вибір запобіжників та перерізу проводу АПВ для верстату.

$$I_{ном} = \frac{28}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 57,8 \text{ А}$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot 57,8 = 289,35 \text{ А}$$

Для встановлення обираємо запобіжники ПН-2-250-200. Перевіримо їх по умовам (6.11) – (6.13):

$$380 \text{ В} \geq 380 \text{ В}$$

$$200 \text{ А} \geq 57,8 \text{ А}$$

$$200 \text{ А} \geq \frac{289,35}{2,5} \text{ А або } 200 \text{ А} \geq 115,74 \text{ А}$$

За умовою (6.15) оберемо переріз проводу АПВ:

$$85 \text{ А} \geq 57,8 \text{ А}$$

$$85 \text{ А} \geq 0,33 \cdot 200 \text{ А або } 85 \text{ А} \geq 66 \text{ А}$$

Вибираємо провід АПВ 3(1x35) + 1x16 з $I_{доп}=85 \text{ А}$.

Розрахунки для інших ЕП виконані аналогічно. Результати розрахунку наведено в зведеній таблиці 6.3

Таблиця 6.3 – Вибір уставок запобіжників та перерізів проводів розподільної мережі

№ ЕП за планом	Найменування ЕП	$I_{\text{ном}}$, А	$\frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha}$, А	Тип	$I_{\text{ном з}}$, А	$I_{\text{ном пл вст}}$, А	Переріз проводу АПВ	$I_{\text{доп}}$, А
14; 16; 111; 112.	Верстати Р=28 кВт	57,8	115,7	ПН2-250	250	200	3(1x35)+1x16	85
113-116.	Верстати Р=20 кВт	50,8	101,6	ПН2-250	250	120	3(1x16)+1x8	55
15;17;18; 35-40.	Верстати Р=22 кВт	55,9	111,8	ПН2-250	250	120	3(1x25)+1x10	70
3; 6; 7; 8;12.	Верстати Р=17 кВт	43,2	86,4	ПН2-100	100	100	3(1x16)+1x8	55
9;13;19-21; 23-27; 59-65; 70-74; 96-102	Верстати Р=14 кВт	35,6	71,1	ПН2-100	100	80	3(1x10)+1x6	39
28-34; 84-95.	Верстати Р=10 кВт	25,4	50,8	ПН2-100	100	60	3(1x5)+1x2,5	27
1;2;5;10; 78-82.	Верстати Р=7 кВт	17,8	35,6	ПН2-60	60	40	3(1x2,5)+1x2,5	19
41-50.	Верстати Р=4,5 кВт	11,43	25,4	ПН2-60	60	30	3(1x2,5)+1x2,5	19
4;103-105;107.	Верстати Р=4 кВт	10,2	17,8	ПН2-100	60	25	3(1x2,5)+1x2,5	19
51-53.	Зварювальні машини шовні S=50 кВА ПВ=25%	59	147,5	ПН2-250	250	150	3(1x25)+1x10	70
54-58.	Зварювальні машини шовні S=100 кВА ПВ=25%	117,8	235,6	ПН2-250	250	250	3(1x50)+1x25	120
11-12.	Зварювальні машини крапкові S=75 кВА ПВ=20%	79,1	158,2	ПН2-250	250	200	3(1x35)+1x16	85
118; 119.	Електропечі неавтоматизовані Р=60 кВт	99,1	198,2	ПН2-250	250	200	3(1x50)+1x25	120
120;121;	Електропечі неавтоматизовані Р=30 кВт	49,6	99,2	ПН2-100	100	100	3(1x16)+1x8	55
66;68;69; 106;110; 119.	Вентилятори Р=20 кВт	40,8	81,6	ПН2-100	100	100	3(1x16)+1x8	55
75;76.	Вентилятори Р=10 кВт	20,4	40,8	ПН2-60	60	60	3(1x3)+1x2,5	21
13, 18	Насоси Р=7 кВт	15,4	30,8	ПН2-60	60	40	3(1x2,5)+1x2,5	19

6.3 Розрахунок тролейних ліній

Для підключення кранових установок застосовані тролейні лінії, які підключенні через силові ящики ЯРП11-31, укомплектовані рубильниками Р11-326 і запобіжником ПН-2.

Кран у пролеті: ТВ=25% – 1х20,7кВт з двигунами 11+7,5+2,2.

Номінальний та пусковий струми для двигуна максимальної потужності (двигун підйому):

$$I_{ном.мах} = \frac{P_{ном.мах}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}} \quad (6.16)$$

де $\cos \varphi_{ном} = 0,85$ - номінальний коефіцієнт потужності.

$\eta_{ном} = 0,9$ - номінальний ККД.

$$I_{ном.мах} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 21,87 A$$

$$I_{пуск} = I_{ном.мах} \cdot k_{пуск} \quad (6.17)$$

$$I_{пуск} = 2,5 \cdot 21,87 = 54,68 A$$

$k_{пуск} = 2,5$ для двигуна підйому

Споживана потужність кранової установки:

$$P_{потр} = \frac{P_{уст} \cdot \sqrt{ТВ}}{\eta} \quad (6.18)$$

$$P_{потр} = \frac{20,7 \cdot \sqrt{0,25}}{0,9} = 11,5 кВт$$

Розрахунковий струм кранової установки:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_{потр} \cdot k_c)^2 + (P_{потр} \cdot k_c \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (6.19)$$

де $k_c = 0,4$ - для 1 крану у прольоті;
 $k_c = 0,3 \div 0,35$ - для 2 та більше кранів у прольоті;
 $tg\varphi$ - приймається з умови споживання реактивної потужності при
 $\cos\varphi = 0,5 \div 0,6$.

$$I_p = \frac{\sqrt{(11,5 \cdot 0,4)^2 + (11,5 \cdot 0,4 \cdot 1,73)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 11,7 \text{ A}$$

Для троллеї приймаємо кутову сталь 50x50x5

$$I_{доп} = 345 \text{ A} \geq I_p = 11,7 \text{ A}$$

При живленні (ЯРП) від середини, розрахункова довжина тролей:

$$L_{mp} = \frac{A - 2 \cdot l_{мз}}{2} \quad (6.20)$$

де A - довжина прольоту, м;

$l_{мз} = 1 \div 1,5 \text{ м}$ - довжина мертвої зони.

$$L_{mp} = \frac{75 - 2 \cdot 1,5}{2} = 36 \text{ м}$$

Втрати напруги у троллях:

$$\Delta U_T = \frac{\Delta l \cdot L_{тр} \cdot I_{пуск}}{10000}, \quad (6.18)$$

де Δl - питома втрата напруги на 100 А- пікового струму та 100 м довжини тролей, В/А·м;

$$\Delta U_T = \frac{8,7 \cdot 35 \cdot 54,68}{10000} = 1,66 \text{ В.}$$

Відхилення від номінальної напруги у троллях у % для прольоту

$$\Delta U_T' = \frac{\Delta U_T \cdot 100}{U_{\text{НОМ}}}, \quad (6.24)$$

$$\Delta U_T' = \frac{1,66 \cdot 100}{380} = 0,44 \%,$$

Витрати напруги у тролєї не перевищують 5 %, що допустимо.

Плавка вставка запобіжника ПН-2, що встановлений у ЯРП:

$$I_{\text{НОМ.ПЛ.ВСТ}} \geq \frac{I_{\text{ПУСК}}}{1,6} \quad (6.19)$$

$$\frac{I_{\text{ПУСК}}}{1,6} = \frac{109,4}{1,6} = 58,71 \text{ А}$$

$$100 \geq 58,71$$

Приймаємо $I_{\text{НОМ.ПЛ.ВСТ.}} = 100 \text{ А}$

7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ У МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ МЕНШЕ 1000 В

Розрахунок струмів кз виконуємо для найбільш віддаленого ЕП підключеного до ШРА1.

Розрахунок виконується методом іменованих одиниць. Розрахункова схема й схема заміщення наведені на Рис.7.1 наприкінці розділу.

Розрахуємо індуктивні та активні опори прямої послідовності елементів схеми.

Визначимо опір системи за формулою:

$$X_c = \frac{U_{HH}^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I'' \cdot U_{BH}} \quad (7.1)$$

де I'' - надперехідний струм КЗ, $I''=15,6$ кА за завданням;

U_{BH} - номінальна напруга на високій стороні, $U_{BH} = 10$ кВ;

U_{HH} - номінальна напруга на низькій стороні, $U_{HH} = 0,4$ кВ.

$$X_c = \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 15,6 \cdot 10} = 0,59 \text{ МОм}$$

Визначимо опір для кабельної лінії:

$$R_{кл} = R_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 \quad (7.2)$$

$$X_{кл} = X_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 \quad (7.3)$$

де R_0, X_0 - питомі активний та індуктивний опори відповідно, Ом/км.

l - довжина кабельної лінії, $l = 65$ м.

$$R_{кл} = 0,329 \cdot 65 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,034 \text{ МОм}$$

$$X_{кл} = 0,083 \cdot 65 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,0086 \text{ МОм}$$

Визначимо активний опір трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{HH}^2}{S_{ном.Т}^2} \quad (7.4)$$

$$R_T = \frac{0,4^2 \cdot 10^3 \cdot 7,6}{630^2} = 3,06 \text{ мОм}$$

Визначимо повний опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{ном.Т}} \quad (7.5)$$

де U_k - напруга КЗ, %;

$S_{ном.Т}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Для трансформатора ТМЗ 630/10/0,4 $U_k = 5,5\%$.

$$Z_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^3 = 13,97$$

Визначимо реактивний опір трансформатора:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (7.6)$$

$$\tilde{O}_T = \sqrt{13,97^2 - 3,06^2} = 13,63 \text{ іт}$$

Визначимо опір для кабельної лінії РП-0,4 кВ – ШРА1.

Кабель АВВГ(3x95 +1x50).

Опір фазної жили складає:

$$R_{кф} = R_0 \cdot l \quad (7.7)$$

$$X_{K\Phi} = X_0 \cdot l \quad (7.8)$$

де R_0, X_0 - питомі активний та індуктивний опори відповідно, Ом/км.

l - довжина кабельної лінії, $l = 54$ м.

$$R_{K\Phi} = 0,329 \cdot 54 = 17,77 \text{ Ом}$$

$$X_{K\Phi} = 0,083 \cdot 54 = 4,482 \text{ Ом}$$

За формулами (7.7) та (7.8) знайдемо опори нульової жили кабелю:

$$R_{0\Phi} = 0,625 \cdot 54 = 33,75 \text{ Ом}$$

$$X_{0\Phi} = 0,09 \cdot 54 = 4,86 \text{ Ом}$$

Опір петі фаза – нуль для кабелю АВВГ складає:

$$R_{\Pi\Phi-0} = R_{K\Phi} + R_{K0} \quad (7.9)$$

$$X_{\Pi\Phi-0} = X_{K\Phi} + X_{K0} \quad (7.10)$$

$$R_{\Pi\Phi-0} = 17,77 + 33,75 = 51,52 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi\Phi-0} = 4,482 + 4,86 = 9,342 \text{ Ом}$$

За формулами (7.7) та (7.8) знайдемо опори фазної та нульової жили проводу АПВ:

$$R_{\Pi\Phi} = 7,4 \cdot 2 = 14,8 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi\Phi} = 0,104 \cdot 2 = 0,208 \text{ Ом}$$

$$R_{\Pi 0} = 7,4 \cdot 2 = 14,8 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi 0} = 0,104 \cdot 2 = 0,208 \text{ Ом}$$

Опір петлі фаза – нуль проводу АПВ 3(1x10)+1x10:

$$R_{\Pi \text{ пф-0}} = 14,8 + 14,8 = 29,6 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi \text{ пф-0}} = 0,146 + 0,146 = 0,292 \text{ Ом}$$

Результуючий опір системи для точки К1 складає:

$$R_{\text{рез1}} = R_{\text{кл}} + R_{\text{T}} + R_{\text{пер1}} \quad (7.11)$$

$$X_{\text{рез1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{кл}} + X_{\text{T}} \quad (7.12)$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{R_{\text{рез1}}^2 + X_{\text{рез1}}^2} \quad (7.13)$$

$$R_{\text{рез1}} = 0,034 + 3,06 + 15 = 18,09 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез1}} = 0,59 + 0,0086 + 13,63 = 14,23 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{18,09^2 + 14,23^2} = 23,02 \text{ мОм}$$

Трифазний струм КЗ визначимо за формулою:

$$I_{\text{К1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{H}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез1}}} \quad (7.7)$$

$$I_{\text{К1}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,2} = 9,95 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається за формулою:

$$i_{\text{y}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{y}} \cdot I_{\text{К1}}^{(3)} \quad (7.8)$$

де K_{y} – ударний коефіцієнт. $K_{\text{y}} = 1,1$;

$$i_{\text{yК1}} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 9,95 = 15,47 \text{ кА}$$

Знайдемо значення струму однофазного КЗ для точки К1.

Результуючий опір системи для точки К1 складає:

$$R_{\text{пф-0}} = \frac{R_T}{3} + 2 \cdot R_{\text{пер}} \quad (7.9)$$

$$X_{\text{пф-0}} = \frac{X_T}{3} \quad (7.10)$$

$$Z_{\text{пф-0}} = \sqrt{R_{\text{пф-0к1}}^2 + X_{\text{пф-0к1}}^2} \quad (7.11)$$

де R_T , X_T – значення опору силового трансформатора струму однофазного замикання на корпус, мОм;

$$R_{\text{пф-0}}^{(K1)} = \frac{36,4}{3} + 2 \cdot 15 = 42,1 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пф-0}}^{(K1)} = \frac{123}{3} = 41 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{пф-0}}^{(K1)} = \sqrt{42,1^2 + 41^2} = 58,77 \text{ мОм}$$

Струм однофазного КЗ визначаємо за формулою:

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_H}{Z_{\text{пф-0}}^{K1}} \quad (7.12)$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{220}{58,77} = 3,74 \text{ кА}$$

За отриманими значеннями струмів КЗ проведемо перевірку автоматичного вимикача QF1 за наступними умовами:

$$I_{\text{отк}} \geq I_{K1}^{(3)} \quad (7.13)$$

$$17,5 \text{ кА} \geq 9,95 \text{ кА}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (7.14)$$

$$35 \text{ кА} \geq 15,47 \text{ кА}$$

$$I_{K1}^{(1)} \geq 1,4 \cdot I_{\text{ел маг відс}} \quad (7.15)$$

$$3740 \text{ А} \geq 3325 \text{ А}$$

Знайдемо значення струму трифазного КЗ для точки К2.

Результуючий опір системи для точки К2 складає:

$$R_{\text{рез2}} = R_{\text{рез1}} + R_{\text{пер2}} + R_{\text{кф}} \quad (7.16)$$

$$X_{\text{рез2}} = X_{\text{рез1}} + X_{\text{кф}} \quad (7.17)$$

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{R_{\text{рез2}}^2 + X_{\text{рез2}}^2} \quad (7.18)$$

$$R_{\text{рез2}} = 18,09 + 5 + 29,6 = 52,69 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез2}} = 14,23 + 0,292 = 14,52 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{52,69^2 + 14,52^2} = 54,65 \text{ мОм}$$

Трифазний струм КЗ визначимо за формулою (7.7):

$$I_{\text{К2}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54,65} = 4,23 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається за формулою (7.8):

$$i_{\text{уК2}} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 4,23 = 6,58 \text{ кА}$$

Результуючий опір системи для точки К2 складає:

$$R_{\text{пф-0К2}} = R_{\text{пф-0}}^{(\text{К1})} + R_{\text{пф-0}} \quad (7.19)$$

$$X_{\text{пф-0К2}} = X_{\text{пф-0}}^{(\text{К1})} + X_{\text{пф-0}} \quad (7.20)$$

$$Z_{\text{пф-0}} = \sqrt{R_{\text{пф-0К2}}^2 + X_{\text{пф-0К2}}^2} \quad (7.21)$$

$$R_{\text{пф-0}}^{(\text{К2})} = 42,1 + 52,69 = 94,79 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пф-0}}^{(K1)} = 41 + 14,52 = 55,52 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{пф-0}}^{(K1)} = \sqrt{94,79^2 + 55,52^2} = 109,85 \text{ мОм}$$

Струм однофазного КЗ визначаємо за формулою (7.12):

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{220}{109,85} = 2,0 \text{ кА}$$

За отриманими значеннями струмів КЗ проведемо перевірку автоматичного вимикача QF2 за умовами (7.13) – (7.15):

$$17,5 \text{ кА} \geq 4,23 \text{ кА}$$

$$35 \text{ кА} \geq 6,58 \text{ кА}$$

$$2000 \text{ А} \geq 312,5 \text{ А}$$

Знайдемо значення струму трифазного КЗ для точки КЗ.

Результуючий опір системи для точки КЗ складає:

$$R_{\text{рез3}} = R_{\text{рез2}} + R_{\text{пер2}} + R_{\text{Пф}} \quad (7.23)$$

$$X_{\text{рез3}} = X_{\text{рез2}} + X_{\text{Пф}} \quad (7.24)$$

$$Z_{\text{рез3}} = \sqrt{R_{\text{рез3}}^2 + X_{\text{рез3}}^2} \quad (7.25)$$

$$R_{\text{рез3}} = 52,69 + 5 + 2,5 = 60,19 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез3}} = 14,52 + 0,1244 = 14,64 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез3}} = \sqrt{60,19^2 + 14,64^2} = 61,94 \text{ мОм}$$

Трифазний струм КЗ визначимо за формулою (7.7):

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 61,94} = 3,72 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається за формулою (7.8):

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 3,72 = 5,8 \text{ кА}$$

Результуючий опір системи для точки К3 складає:

$$R_{\text{пф-0К3}} = R_{\text{пф-0}}^{(K2)} + R_{\text{пф-0}} \quad (7.26)$$

$$X_{\text{пф-0К3}} = X_{\text{пф-0}}^{(K2)} + X_{\text{пф-0}} \quad (7.27)$$

$$Z_{\text{пф-0}} = \sqrt{R_{\text{пф-0К1}}^2 + X_{\text{пф-0К2}}^2} \quad (7.28)$$

$$R_{\text{пф-0}}^{(K3)} = 85,13 + 2,5 = 87,63 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{пф-0}}^{(K3)} = 0,2764 + 26,79 = 27,07 \text{ МОм}$$

$$Z_{\text{пф-0}}^{(K3)} = \sqrt{87,63^2 + 27,07^2} = 91,7 \text{ МОм}$$

Струм однофазного К3 визначаємо за формулою (7.12):

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{220}{91,7} = 2,4 \text{ кА}$$

Перевіримо запобіжник ПН2-100 за наступними умовами:

$$I_{\text{откл}} \geq I_{K1}^{(3)} \quad (7.29)$$

$$32 \text{ кА} \geq 5,6 \text{ кА}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (7.30)$$

$$35 \text{ кА} \geq 8 \text{ кА}$$

8 ОСНОВНІ ЗАХОЖИ ЩОДО ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Основними захисними заходами щодо ТБ у цехових мережах є занулення, що виконується шляхом з'єднання нульовим проводом заземленої нейтралі трансформатора й корпусу електроприймача. Застосування занулення дозволяє підвищити чутливість захисних апаратів до струмів однофазного КЗ. У розділі 7 захисні апарати перевірені на чутливість до струмів однофазного КЗ - вимоги до чутливості виконуються.

Також у цехових мережах застосовуються заземлення, які виконуються шляхом приєднання до заземлюючого пристрою металевих корпусів ЕП, які не перебувають під напругою. Заземлюючий пристрій складається із внутрішнього й зовнішнього контуру. Внутрішній контур заземлення виконується мідною смугою перетином 25x2 мм, прокладеної на висоті 0,4м по периметрі цеху. Внутрішній контур з'єднується із зовнішнім контуром заземлення, що виконується за допомогою заглиблених вертикальних електродів (сталевих стрижнів довжиною $l=5\text{м}$ і діаметром $d=0,0205\text{м}$) розташованих у ряд і з'єднаних горизонтальним електродом (сталева смуга $0,04\times 0,004\text{м}$)

Для спільних захистів електричних установок напругою $U > 1000\text{В}$ з ізолюваної нейтралю та з $U < 1000\text{В}$ із глухозаземленою нейтралю. Опір заземлюючого пристрою $R_{\text{з}} \leq R_{\text{норм}} = 4\text{Ом}$

Розрахунок захисного заземлення проводився за допомогою ЕОМ. Вихідними даними для розрахунку є:

- 1) Довжина цеху – $A = 72\text{ м}$;
- 2) Діаметр електрода $d = 0,0205\text{ м}$;
- 3) Довжина електроду $l = 5\text{ м}$;
- 4) Глибина з'єднання зовнішнього контуру $0,7\text{ м}$;
- 5) Регламентуємий опір заземлення $R_{\text{з}} = 4\text{ Ом}$;
- 6) Питомий опір ґрунту $\rho = 130\text{ Ом}$;
- 7) Опір природного заземлення - 0 Ом .

Згідно з проведеним розрахунком приймаємо для зовнішнього контуру заземлення 9 вертикальних електродів, що знаходяться на відстані 5 м один від одного та розташовані в ряд.

9. АНАЛІЗ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ

На основі режимних замірів електроспоживання проводиться аналіз балансу електроспоживання та будується добовий графік навантаження механічного цеху металургійного заводу.

Добові графіки показують зміну навантаження протягом доби. Вони будуються за показниками лічильників активної Wh та реактивної енергії $VArh$ в період 24 годин, кожену годину. Місячні графіки будують з метою визначення витрати електроенергії на виробничі та невиробничі потреби та оплати за електроенергію. При аналізі таких графіків можна виділити місяці, протягом яких має місце найбільший випуск продукції та найбільше споживання активної Wh та реактивної $VArh$ електроенергії.

Середньомісячне навантаження механічного цеху металургійного заводу:

$$P_{\text{ср.м}} = \frac{Wh_{\text{м}}}{T}, \quad (9.1)$$

де $Wh_{\text{м}}$ – витрата електроенергії механічного цеху за місяць,

T – тривалість місяця, (год.).

При тривалості місяцю 30 днів: $T=720$ год;

при тривалості місяцю 31 днів: $T=744$ год.

В табл. 9.1 наведено значення витрати цехом активної електроенергії $Wh_{\text{м}}$ та середньомісячне навантаження $P_{\text{ср.м}}$.

Табл. 9.1 - Електроспоживання механічного цеху активної електроенергії $Wh_{\text{м}}$ та середньомісячне навантаження $P_{\text{ср.м}}$ механічного цеху

місяц	$Wh_{\text{м}}$, кВт*год	T , год	$P_{\text{ср.м}}$, кВт
Січень	230640	744	310
Лютий	201600	672	300
Березень	208320	744	280
Квітень	192960	720	268
Травень	192696	744	259

Червень	180000	720	250
Липень	189306,7	744	254,4
Серпень	205426,7	744	276,1
Вересень	204000	720	283,3
Жовтень	220306,7	744	296,1
Листопад	224000	720	311,1
Грудень	245106,7	744	329,4

На графіку (рис. 9.1) електричних навантажень площа, обмежена ламаною лінією зміни активного навантаження $P = f(t)$ і осями координат, являє собою активну енергію Wh (Втч), що споживається приймачами цеху з мережі для перетворення на інші види. Річний графік навантаження може бути побудований аналогічно добовому графіку, тобто за середніми потужностями, які споживає механічний цех за відповідний місяць (рис. 9.2).

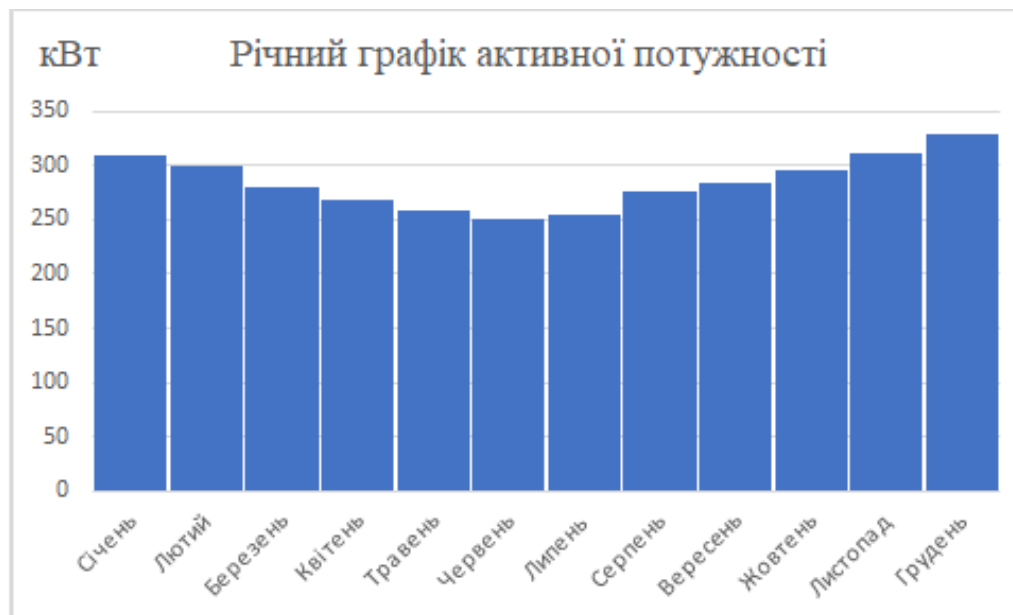


Рис. 9.1- Річний графік споживання активної потужності цеху (по місячно).

Для механічного цеху характерним є спад витрати енергії в літні місяці за рахунок зниження освітлювальних та опалювальних навантажень та підвищення витрати в зимовий сезон. Споживання активної енергії механічним цехом за рік Wh складає 2494248 кВт*год.

Проект передбачає встановлення фотоелектричної станції з метою зниження споживання електроенергії з мережі заводу.

10. ОЦІНКА ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ

Розрахунок куту нахилу та азимуту фотоелектричних (PV) панелей.

Точні розрахунки та інжиніринг систем енергопостачання з відновлювальними джерелами енергії є запорукою їх продуктивної та безаварійної експлуатації, істотної економії ресурсів і мінімізації зовнішнього енергоспоживання. Для правильного розрахунку таких систем енергопостачання і обліку різних параметрів, що впливають на їх продуктивність, використовуються спеціальні програми, автокалькулятори і статистичні метеодані - сонячна інсоляція, швидкість вітру, температура та інші умови. Не існує єдиного підходу до розрахунку всіх типів систем, тому виділимо основні параметри.

Кут нахилу панелей.

Монтаж сонячних панелей виконується на даху будинків або цехів. Їх монтують на спеціальній металевій конструкції у добре освітленому сонцем місці під фіксованим кутом відповідно до географічного положення. У разі попереднього обчислення рекомендовано визначати приблизний кут нахилу відносно горизонту при використанні фіксованого кріплення сонячних панелей за формулою [2]:

$$\beta = 0,76\varphi + 3,1^{\circ} \quad (10.1)$$

де β – кут нахилу геліоустановки до горизонту, °; φ – широта місцевості, де встановлюється геліоустановка.

Координати місця встановлення фотоелектростанції (ФЕС) в даному випадку обернемо з розташування підприємства - Запоріжжя. *Широта:* 47°49.3734' пн.ш. *Довгота:* 35°11.4186' сх.д.

Оптимальний кут нахилу сонячних панелей щодо поверхні землі для України в залежності від сезону року наведено на рис. 10.1.



Рис. 10.1 - Оптимальне розташування панелей щодо горизонту
Розрахунок куту нахилу та азимуту фотоелектричних (PV) панелей за допомогою калькулятора для м. Запоріжжя, Запорізька область, Україна.

<h3>Solar Panel Tilt Angle Calculator</h3> <p>Address, City, or Zip Code Запоріжжє, Запорізька область, Україна</p> <p>or Use Your Current Location</p> <p>Your optimal year-round tilt angle: 34.7° from horizontal</p> <p>Your optimal tilt angles by season:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spring: 34.7° • Summer: 19.7° • Fall: 34.7° • Winter: 49.7° <p>Your optimal tilt angles by month:</p> <ul style="list-style-type: none"> • January: 44.7° • February: 39.7° • March: 34.7° • April: 29.7° • May: 24.7° • June: 19.7° • July: 24.7° • August: 29.7° • September: 34.7° • October: 39.7° • November: 44.7° • December: 49.7° 	<h3>Solar Panel Azimuth Angle Calculator</h3> <p>Address, City, or Zip Code Запоріжжє, Запорізька область, Україна</p> <p>or Use Your Current Location</p> <p>Your optimal azimuth angle is true south, which is: 8.4° east of magnetic south</p> <p>Note: Your azimuth angle can also be expressed as 171.6° clockwise from magnetic north, or 180° clockwise from true north. Your location's current magnetic declination is 8.4°.</p>
<p>Рис. 10.2 – Результат розрахунку кута нахилу PV панелей з використанням калькулятора</p> <p>Калькулятор видає значення:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оптимальний цілорічний кут нахилу; - оптимальні кути нахилу за сезонами; - оптимальні кути нахилу по місяцях 	<p>Рис. 10.3 - Результат розрахунку азимуту кута PV панелей з використанням калькулятора</p> <p>Калькулятор видає значення: оптимальний азимутальний кут – справжній південь, який становить: 8,4° на схід від магнітного півдня</p> <p><i>Примітка.</i> Ваш азимутальний кут також можна виразити як 171,6° за годинниковою стрілкою від магнітної півночі або 180° за годинниковою стрілкою від справжньої півночі. Поточне магнітне схилення вашого місцезнаходження становить 8,4°.</p>

Оцінка виробництва електроенергії фотовольтаїчною системою за допомогою калькулятора PVWatts.

Калькулятор PVWatts® розраховує місячне та річне виробництво електроенергії фотовольтаїчною системою за допомогою погодинного моделювання протягом одного року.

Нижче наведено опис алгоритму, який PVWatts® використовує для розрахунку годинної генерації електроенергії фотоелектричної системи.

- Обчислення погодинної площі сонячного опромінення (ПСО) на основі горизонтального опромінення, широти, довготи та часу для даних сонячних ресурсів, а також на основі вхідних даних типу масиву, нахилу й азимута.

- Розрахування ефективного опромінення ПСО для врахування втрат на відбиття від поверхні модуля залежно від кута падіння сонячного світла.

- Розрахування температури комірки на основі типу масиву, опромінення ПСО, швидкості вітру та температури навколишнього середовища. Модель температури комірки передбачає висоту модуля 5 метрів над землею та встановлену номінальну робочу температуру комірки 49°C для варіанту фіксованого кріплення на даху (відповідно для приблизно 4-дюймових відстаней) і 45°C для інших параметрів масиву.

- Обчислення постійного струму на виході масиву відповідно до потужності системи постійного струму при стандартному освітленні ПСО 1000 Вт/м² і розрахованій температурі комірки, припускаючи, що еталонна температура комірки становить 25°C.

- Обчислення вихідної потужності змінного струму системи на основі обчисленого вихідного струму постійного струму та втрат системи та номінальної вхідної ефективності інвертора (96 % за замовчуванням) з коригуванням ефективності інвертора при частковому навантаженні, отриманому з емпіричних вимірювань продуктивності інвертора.

Калькулятор PVWatts складається з наступних меню :

- ДАНІ ЩОДО СОНЯЧНИХ РЕСУРСІВ;
- ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ;
- РЕЗУЛЬТАТИ.

Вводимо дані ЩОДО СОНЯЧНИХ РЕСУРСІВ.

The screenshot displays the NREL PVWatts calculator interface. At the top, the title is "Калькулятор PVWatts®" and the NREL logo is visible. The user's location is set to "Запоріжжє" (Zaporizhzhia). The interface is divided into three main sections: "ДАНІ ПРО РЕСУРСИ" (Resource Data), "ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ" (System Information), and "РЕЗУЛЬТАТИ" (Results). The "ДАНІ ПРО РЕСУРСИ" section is active and shows the following information:

- Місце, про яке існують дані щодо сонячних ресурсів** (Location with solar resource data):
- Шир., довг.: 47.810001, 35.18 (Latitude, longitude: 47.810001, 35.18)
- 1.5 mi (1.5 miles)

Below this, there is a section titled "Карта даних про ресурси" (Resource Data Map) with a description in Ukrainian explaining how to use the map to find solar resource data for a specific location. The map shows the Zaporizhzhia region with a red pin indicating the location. The map includes labels for various cities and towns, such as Солоне, Матрьоска, and Запоріжжє. The Dnieper River is also visible.

Рис 10.4- Дані ЩОДО СОНЯЧНИХ РЕСУРСІВ (м. Запоріжжя).

Після введення розташування на карті, вводяться параметри щодо PV панелей у вікні ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ, рис. 10.5.

У вікні «ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ» необхідно ввести наступні вхідні дані:

- Потужність постійного струму системи
- Тип панелі
- Тип масиву
- Системні втрати
- Кут нахилу масиву
- Кут азимута масиву

Калькулятор PVWatts®

English Español Українська

ДОПОМОГА ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК

Моя локація *Запорожжє*
» Змінити локацію

ДАНІ ПРО РЕСУРСИ ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ РЕЗУЛЬТАТИ

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ ВІДНОВИТИ НАЛАШТУВАННЯ ЗА ЗАМОВЧУВАННЯМ

Змінить наведені нижче вхідні дані, щоб запустити моделювання.

Розмір системи постійного струму (кВт): i

Тип панелі: i

Тип масиву: i

Втрати системи (%): i

Нахил (градус): i

Азимут (градус): i

[Калькулятор вартості](#)

+ Розширені параметри

Оцінка розміру даху
Натисніть знизу, щоб налаштувати свою систему на карті. (за бажанням)

Перейти до даних про ресурси

Перейти до PVWatts результати



Рис 10.5- Дані у вікні ІНФОРМАЦІЯ ПРО СИСТЕМУ та розташування сонячного масиву на даху цеху (м. Запоріжжя)

Розбивка розрахунків втрат в системі	Розширені параметри																																																																																	
<p>Змінійте зазначені нижче параметри, щоб змінити загальний відсоток втрат в системі (для вашої системи).</p> <table border="0"> <tr><td>Забруднення (%):</td><td><input type="text" value="2"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Затінення (%):</td><td><input type="text" value="3"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Сніг (%):</td><td><input type="text" value="0"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Невідповідність (%):</td><td><input type="text" value="2"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Електрична проводка (%):</td><td><input type="text" value="2"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Підключення (%):</td><td><input type="text" value="0.5"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Світлова деградація (%):</td><td><input type="text" value="1.5"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Заявлена потужність (%):</td><td><input type="text" value="1"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Вік (%):</td><td><input type="text" value="0"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Наявність (%):</td><td><input type="text" value="3"/></td><td>i</td></tr> </table> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin: 10px 0; text-align: center;"> <p>Орієнтовні втрати в системі:</p> <h2 style="color: blue;">14.08%</h2> </div> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="ДОПОМОГА"/> <input type="button" value="ПЕРЕЗАВАНТАЖИТИ"/> <input type="button" value="СКАСУВАТИ"/> <input type="button" value="ЗБЕРЕГТИ"/> </p>	Забруднення (%):	<input type="text" value="2"/>	i	Затінення (%):	<input type="text" value="3"/>	i	Сніг (%):	<input type="text" value="0"/>	i	Невідповідність (%):	<input type="text" value="2"/>	i	Електрична проводка (%):	<input type="text" value="2"/>	i	Підключення (%):	<input type="text" value="0.5"/>	i	Світлова деградація (%):	<input type="text" value="1.5"/>	i	Заявлена потужність (%):	<input type="text" value="1"/>	i	Вік (%):	<input type="text" value="0"/>	i	Наявність (%):	<input type="text" value="3"/>	i	<table border="0"> <tr><td>Коефіцієнт співвідношення постійного та змінного струму:</td><td><input type="text" value="1.2"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Ефективність інвертора (%):</td><td><input type="text" value="96"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Коефіцієнт покриття землі:</td><td><input type="text" value="0.4"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Альbedo:</td><td><input type="text" value="З файлу про погоду"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Двосторонній:</td><td><input type="text" value="Ні"/></td><td>i</td></tr> <tr><td>Щомісячна втрата випромінювання (%):</td><td>січень: <input type="text" value="0"/></td><td>i</td></tr> <tr><td></td><td>лютий: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>березень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>квітень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>травень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>червень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>липень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>серпень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>вересень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>жовтень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>листопад: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>грудень: <input type="text" value="0"/></td><td></td></tr> </table>	Коефіцієнт співвідношення постійного та змінного струму:	<input type="text" value="1.2"/>	i	Ефективність інвертора (%):	<input type="text" value="96"/>	i	Коефіцієнт покриття землі:	<input type="text" value="0.4"/>	i	Альbedo:	<input type="text" value="З файлу про погоду"/>	i	Двосторонній:	<input type="text" value="Ні"/>	i	Щомісячна втрата випромінювання (%):	січень: <input type="text" value="0"/>	i		лютий: <input type="text" value="0"/>			березень: <input type="text" value="0"/>			квітень: <input type="text" value="0"/>			травень: <input type="text" value="0"/>			червень: <input type="text" value="0"/>			липень: <input type="text" value="0"/>			серпень: <input type="text" value="0"/>			вересень: <input type="text" value="0"/>			жовтень: <input type="text" value="0"/>			листопад: <input type="text" value="0"/>			грудень: <input type="text" value="0"/>	
Забруднення (%):	<input type="text" value="2"/>	i																																																																																
Затінення (%):	<input type="text" value="3"/>	i																																																																																
Сніг (%):	<input type="text" value="0"/>	i																																																																																
Невідповідність (%):	<input type="text" value="2"/>	i																																																																																
Електрична проводка (%):	<input type="text" value="2"/>	i																																																																																
Підключення (%):	<input type="text" value="0.5"/>	i																																																																																
Світлова деградація (%):	<input type="text" value="1.5"/>	i																																																																																
Заявлена потужність (%):	<input type="text" value="1"/>	i																																																																																
Вік (%):	<input type="text" value="0"/>	i																																																																																
Наявність (%):	<input type="text" value="3"/>	i																																																																																
Коефіцієнт співвідношення постійного та змінного струму:	<input type="text" value="1.2"/>	i																																																																																
Ефективність інвертора (%):	<input type="text" value="96"/>	i																																																																																
Коефіцієнт покриття землі:	<input type="text" value="0.4"/>	i																																																																																
Альbedo:	<input type="text" value="З файлу про погоду"/>	i																																																																																
Двосторонній:	<input type="text" value="Ні"/>	i																																																																																
Щомісячна втрата випромінювання (%):	січень: <input type="text" value="0"/>	i																																																																																
	лютий: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	березень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	квітень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	травень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	червень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	липень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	серпень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	вересень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	жовтень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	листопад: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
	грудень: <input type="text" value="0"/>																																																																																	
а) Втрати системи	б) Розширені параметри																																																																																	

Рис.10.6 - Параметри вікна Втрати системи и Розширені параметри

Виробники інверторів рекомендують приєднувати до інвертора PV панелі сумарної потужності в співвідношенні 1,1-1,3 номінальної вихідної потужності інвертора для оптимальної роботи перетворювача.

Результат розрахунку наведено на рис. 10.7.

РЕЗУЛЬТАТИ		
Місяць	Сонячне випромінювання (kWh / m ² / день)	Енергія змінного струму (kWh)
Січень	1.02	2,704
Лютий	1.64	3,885
Березень	3.22	8,377
Квітень	5.74	13,610
травень	6.19	14,740
червень	6.74	15,259
липень	5.55	12,861
Серпень	7.04	16,379
Вересень	4.05	9,476
Жовтень	4.30	10,740
Листопад	1.91	4,780
Грудень	0.72	1,829
Annual	4.01	114,640

а

Місцезнаходження та ідентифікація станції						
Запит на локацію	запорож'є					
Джерело даних про погоду	Шир., довг.: 47.810001, 35.18 1.5 mi					
Широта	47.81° N					
Довгота	35.18° E					
Технічні характеристики фотовольтаїчної системи						
Потужність постійного струму системи	100.8 kW					
Тип панелі	Стандарт					
Тип масиву	Нерухома система (відкритий степаж)					
Втрати системи	14.08%					
Нахил масиву	34.7°					
Азимут масиву	180°					
Коефіцієнт співвідношення постійного та змінного струму	1.2					
Ефективність інвертора	96%					
Коефіцієнт покриття землі	0.4					
Альbedo	From weather file					
Двосторонній	No (0)					
Щомісячна втрата випромінювання	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
	0%	0%	0%	0%	0%	0%

б

Рис.10.7 – Результат розрахунку сонячної інсоляції та виробництво електроенергії PV панелями (а) та специфікація для PV системи (б)

Для ремонтно-механічного цеху було обрана потужність інвертора (100,8/1,2) 84 кВт. Характеристики PV системи наведені в таблиці 10.1.

Табл. 10.1 - Характеристики фотоелектричної системи

Параметр	Значення
Тип сонячної електростанції	Мережева під власне споживання
Номінальна потужність (інвентору), кВт	84
Потужність сонячного масиву, кВт	100,8
Напруга підключення змінного струму, В	380 ± 20%
Напрямок встановлення по азимуту	Південь
Кут встановлення сонячного масиву, град	34,7
Площа встановлення сонячного масиву, м. кв.	672
Площа даху цеха, м. кв.	3456
Тип даху	Плоский
Площа сонячного масиву відносно площі даху цеха, %	19,4 %
Втрати системи, %	14,08
Ефективність інвертора, %	96
Тип фотомодуля	Полікристал, ККД=19%

Режими роботи цеху: споживання та генерація електроенергії помісячно протягом року наведено в табл. 10.2.

$$\text{Процент генерації електроенергії відносно споживання \%} = \frac{\text{кWh}_g}{\text{кWh}_c} \cdot 100\%$$

Таблиця 10.2 – Споживання та генерація електроенергії цехом помісячно

Місяць	Споживання електроенергії, кВт·год	Генерація електроенергії, кВт·год	Процент генерації від споживання
	кВт·год	кВт·год	%
Січень	230640	2704	1,17239
Лютий	201600	3885	1,927083
Березень	208320	8377	4,021217
Квітень	192960	13610	7,053275

Травень	192696	14740	7,649354
Червень	180000	15259	8,477222
Липень	189273,6	17000	8,981707
Серпень	205418,4	16379	7,973482
Вересень	203976	12476	6,116406
Жовтень	220298,4	10740	4,875206
Листопад	223992	4780	2,134005
Грудень	245073,6	1829	0,746306
За рік	2494248	114640	4,99

Для побудови графіку активного навантаження цеху з урахуванням генерації PV системою розрахуємо середню активну потужність генерації за кожен місяць базуючись з даних таблиці 10.2.

Середньомісячна генерація фотоелектричною станцією, кВт :

$$P_{\text{ср.м.г}} = \frac{Wh_{\text{г}}}{T}, \quad (10.2)$$

де $Wh_{\text{г}}$ – генерація електроенергії фотоелектричною станцією за місяць, дані з табл. 2.9, кВт год.

t – тривалість місяцу, год.

Результат розрахунку генерації електроенергії помісячно протягом року наведено в табл. 10.3.

Таблиця 10.3 - Середня активна потужність цеху помісячно:
споживання та генерація

	Середня активна потужність $P_{\text{ср.м}}$	
	Споживання, кВт	Генерація, кВт
Січень	310	3,634409
Лютий	300	5,78125
Березень	280	11,25941
Квітень	268	18,90278
Травень	259	19,81183
Червень	250	21,19306
Липень	254,4	22,84946
Серпень	276,1	22,01478
Вересень	283,3	17,32778
Жовтень	296,1	14,43548
Листопад	311,1	6,638889
Грудень	329,4	2,458333

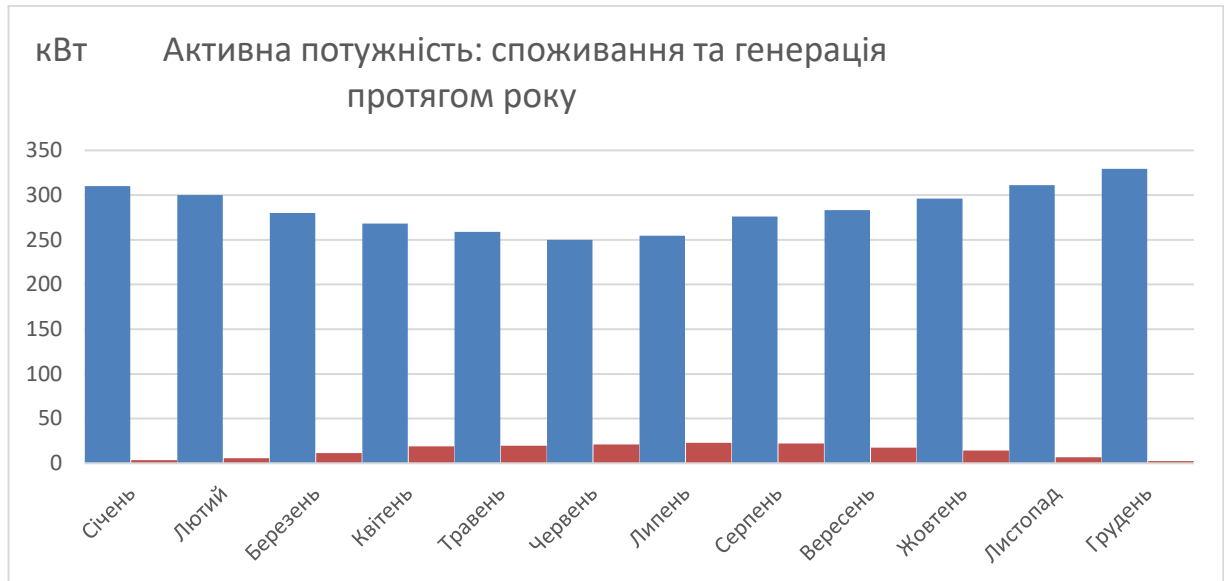


Рисунок 10.8 – Графік активного навантаження цеху з урахуванням генерації PV системою за рік

Генерація електроенергії для мережевої фотоелектричної станції під власне споживання цеху складає приблизно 5% за рік. Отже за зимовий період генерація електроенергії мінімальна, та складає 0,75-1,9% від споживання. За літний період генерація електроенергії має максимальне значення та складає 7,9-8,9% від споживання.

Аналітичний розрахунок виробництва електроенергії фотовольтаїчною системою - енергії змінного струму (Alternating current).

Спочатку розрахуємо електроенергію постійного струму - Direct current (DC) що генерується PV панелями фіксованого масиву, Вт·год:

- протягом доби:

$$W_{\text{ген_DC}} = k \cdot E \cdot P_{\text{мод\Omega}} / 1000, \quad (10.3)$$

- на протязі місяця:

$$W_{\text{ген_мес_DC}} = W_{\text{ген}} \cdot n, \quad (10.4)$$

де E – сонячна радіація, яка потрапляє на поверхню Землі для м. Запоріжжя за добу, Вт· год/м²;

k – коефіцієнт, що враховує втрату потужності PV панелей при перетворенні енергії (наприклад: Забруднення PV панелі); його величина становить близько $0,7 \div 0,85$, $k = 0,85$ втрати потужності становитиме 15% [5].

$P_{\text{мод}\Sigma}$ - сумарна потужність фотоелектричних (PV) панелей, Вт ;

n – кількість днів на місяці.

У виразі (10.3) значення сонячної радіації за вказаний період (зима, літо) ділять на 1000, так звану кількість пікогодин, тобто умовний час, протягом якого сонце світить як би з інтенсивністю 1000 Вт/м². 1000 Вт – значення стандартного потоку сонячного світла, при якій фотомодуль тестується на одному м².

Енергія змінного струму - Alternating current (AC) з урахуванням ККД інвертору

$$W_{\text{ген_мес_AC}} = W_{\text{ген_мес_DC}} \cdot \eta_i \quad (10.5)$$

де η_i – ККД інвертору у відносних одинцях, $\eta_i = 0,96$.

Для грудня- місяцу:

$E = 0,72$ к Вт· год /м²/ за добу (из PVWatts, рис.10.7 (а));

$W_{\text{ген_DC}} = 0,85 \cdot 100,8 \cdot 720 / 1000 = 61689,6$ Вт· ч = 61,69 кВт· ч (за добу);

$W_{\text{ген_мес_DC}} = 61,69 \cdot 31 = 1912,38$ кВт· ч (за місяць)

Енергія змінного струму (AC) з урахуванням ККД інвертору, вираз (3):

$W_{\text{ген_мес_AC}} = 1912,38 \cdot 0,96 = 1835,88$ к Вт· год

Чисельний розрахунок енергії змінного струму із використанням PVWatts

$W_{\text{ген_мес_PVWatts}} = 1829$ кВт· год (за місяць-грудень).

Похибка чисельного розрахунку з аналітичним розрахунком генерації енергії змінного струму для фотовольтаїчної системи складає 3%.

11 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСТНИХ АПАРАТІВ ТА КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 0,4 КВ ДЛЯ ФОТОВОЛЬТАЇЧНОЇ СИСТЕМИ

Розрахунковий струм фотовольтаїчної системи (інвертор потужністю 84 кВт):

$$I_{розр} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cos\varphi \cdot \eta} \quad (11.1)$$

$$I_{розр} = \frac{84}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95 \cdot 0,96} = 133,1 \text{ А}$$

де $\cos\varphi = 0,95$; $\eta = 0,96$

Пусковий струм фотовольтаїчної системи:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном}, \quad (11.2)$$

$$I_{пуск} = 1,2 \cdot 133,1 = 159,7 \text{ А}$$

Приймаємо кабель марки АВВГ 3х70+1х35 мм², I_{доп.пасп} = 167 А

$$167 \geq 133,1$$

Уставки автоматичного вимикача у РП 0,4кВ КТП цеху вибираються за наступними умовами:

$$U_{ном а} \geq U_{мер} \quad (11.3)$$

$$I_{теп роз} \geq I_{розр} \quad (11.4)$$

$$I_{ел маг роз} \geq 1,25 \cdot I_{пуск} \quad (11.5)$$

$$660 \geq 380$$

$$250 \geq 133,1$$

$$2500 \geq 159,7$$

Обираємо автоматичний вимикач типу ВА51-39.

Технічні характеристики ВА51-39

Параметр	Значение
Номінальний струм вимикача $I_{вим}$, А	630
Номінальний струм теплових розчіплювачів $I_{теп роз}$, А	160; 250; 320; 400; 500; 630
Номінальна напруга (змінного струму $f=50$ Гц), $U_{ном а}$ В:	до 660

ВИСНОВОК

У проекті розроблена схема електропостачання механічного цеху із застосуванням фотоелектричної системи.

Розрахункове навантаження освітлення механічного цеху визначене методом коефіцієнта попиту. Розрахунок силового навантаження проводився методом упорядкованих діаграм на ЕОМ. У проекті зроблено розрахунки електричних навантажень для вибору трансформаторів КТП (за першим етапом), розрахунки електричних навантажень для вибору цехової мережі (за другим етапом).

Було обрано КТП 2х630кВА із трансформатором ТМЗ-630\10\0,4 для електропостачання механічного цеху.

Для мережі 10 кВ обрана комірка КРП типу КМ1Ф з вимикачем ВВ/TEL-10-20\1000У3 та КЛ 10 кВ ААШв 3х95 із прокладкою у траншеї. КТП обрана прибудованого типу.

Розроблено схему цехової мережі, обрані уставки захисних апаратів і перетин проводів та КЛ. В якості вузлів навантаження було обрано чотири шино проводи марки ШРА.. На підставі розрахунків струмів КЗ у мережі U до 1кв зроблена перевірка захисних апаратів.

Розраховано потенціал економії електроспоживання підприємства шляхом встановлення мережевої фотоелектричної станції на даху механічного цеху. Площа даху цеха складає 3456 м². Площа встановлення сонячного масиву 672 м², тобто площа сонячного масиву займає 19,4 % площі даху цеха. Потужність сонячного масиву 100,8 кВт. Генерація електроенергії для мережевої фотоелектричної станції під споживання цеху складає приблизно 5% за рік. Отже за зимовий період генерація електроенергії мінімальна, та складає 0,75-1,9% від споживання. За літний період генерація електроенергії має максимальне значення та складає 7,9-8,9% від споживання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Немикіна О. В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник / О. В. Немикіна. - Запоріжжя: Видавництво НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 187 с.
<http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/6657>
2. Спрощений розрахунок сонячних панелей
<https://solarsoul.net/uk/rozrachunok-sonyachnix-panelej?sfw=pass1708278954>
3. Single Axis Trackers <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/single-axis-trackers/>
4. What is a solar tracker and is it worth the investment?
<https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>
5. СОНЯЧНІ ТРЕКЕРИ ТА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
<https://ussolar.systems/ua/dinamichni-sistemi>
6. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с..
7. Карманова Т. Є. Приймачі та споживачі електричної енергії систем електропостачання: навчальний посібник / Т.Є. Карманова.- Вінниця : САФУ, 2015. - 120 с.
8. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2007. – 280 с.
9. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України).
10. PVWatts® Calculator <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
11. Solar Panel Tilt Angle Calculator <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator>

12. Solar Panel Tilt Angle Calculator <https://footprinthero.com/solar-panel-azimuth-angle-calculator>

13. Немикіна О. В., Трембічев В., Немикіна О. С. Методика оцінки потенціалу зниження електроспоживання підприємства із застосуванням фотоелектричної системи. Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: Наукові пошуки молоді: [Електронний ресурс] : матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., 2 квітня 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2024. – 57-58 с. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>

14. Немикіна О. В., Демченко Б. С., Немикіна О. С. ОЦІНКА ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ФОТОПАНЕЛЯМИ ЗА УМОВ РІЗНИХ ТИПІВ КРІПЛЕННЯ МАСИВУ ФОТОПАНЕЛЕЙ Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9 листопада 2023 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2023. – 81-82 с. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>