

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В
СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЕ-216
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»,
освітня програма «Електропостачання та
енергозбереження»

Холод А. І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ

Шулле Ю. А.

« 09 » червня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Сікорська О. В.

« 09 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н., професор Бурбело М. Й.

« 16 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань – 14 Електрична інженерія

Освітній ступінь – бакалавр

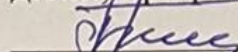
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма – Електропостачання та енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.



«20» 03 2025р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Холоду Артему Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оцінка ефективності використання сонячних панелей в системі електропостачання

керівник роботи Шулле Юлія Андріївна к.т.н., доцент каф. ЕСЕМ

затверджені наказом по ВНТУ від 20.03.2025 року, №97

2. Термін подання студентом роботи 09.06.2025 року

3. Вихідні дані до роботи: генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів; відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення; відомості про перспективу розвитку підприємства (Додаток А).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Вступ

1 Загальні відомості про підприємство

1.1 Короткий опис технологічного процесу

1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

2 Проектування системи електропостачання підприємства

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

2.2 Вибір та розміщення підстанцій

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

2.2.3 Вибір трансформатора ГПП

2.2.4 Вибір цехових ТП та їх розміщення

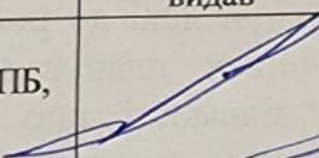
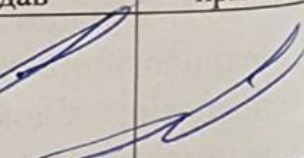
2.3 Розрахунок електропостачання підприємства

2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

- 2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі
- 2.3.3 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів
- 2.4 Розрахунок електропостачання цеху
- 2.4.1 Вибір схеми цехової мережі
- 2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі
- 2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В
- 3 Ефективність використання сонячних панелей
- 3.1 Аналіз сучасних сонячних фотоелектричних систем
- 3.2 Аналіз можливостей використання сонячної енергії на підприємстві
- 4 Охорона праці
- Висновок
- Список використаних джерел
- Додатки
- 5. Перелік графічного матеріалу

План підприємства із силовими розподільчими та живильними мережами. Однолінійна схема електропостачання підприємства. План електропостачання цеху. Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху. Науково-дослідна робота.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання «28» 04 2025 року

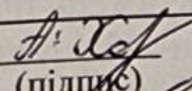
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

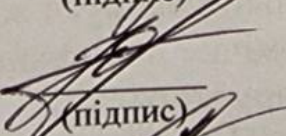
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про підприємство	28.04.2025	Виконано
2	Проектування системи електропостачання підприємства	16.05.2025	Виконано
3	Ефективність використання сонячних панелей	23.05.2025	Виконано
4	Охорона праці	28.05.2025	Виконано
5	Графічна частина роботи	01.06.2025	Виконано

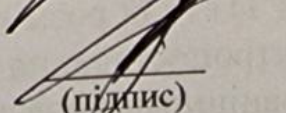
Студент

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Нормоконтроль


(підпис)


(підпис)


(підпис)

Холод А. І.
(прізвище та ініціали)

Шулле Ю. А.
(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Холод Артем Ігорович. Оцінка ефективності використання сонячних панелей в системі електропостачання. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Кафедра ЕСЕЕМ. Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025. 74 с.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі досліджено можливість інтеграції сонячних панелей у систему електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод». Проведено аналіз сучасних фотоелектричних систем, зокрема монокристалічних, полікристалічних та аморфних панелей, їх конструктивних особливостей і ефективності. Розроблено проєкт мережевої сонячної електростанції потужністю 500 кВт із використанням 1080 монокристалічних панелей Ja Solar JAM72S30-545/MR та п'яти трифазних інверторів Huawei SUN2000-100KTL-M2. Виконано розрахунок електричних навантажень підприємства, включаючи цехові мережі та загальні навантаження заводу, з урахуванням режимів роботи електроприймачів. Особливу увагу приділено проєктуванню системи електропостачання, де здійснено вибір оптимальної напруги живлення, техніко-економічне порівняння класів напруги, вибір трансформаторів ГПП та цехових підстанцій. Проведено розрахунки струмів короткого замикання, перевірку комутаційно-захисної апаратури та оцінку втрат напруги в мережах до 1000 В. Досліджено вплив сонячних панелей на якість електроенергії та запропоновано заходи для її покращення. Виконано техніко-економічний аналіз, який підтвердив доцільність впровадження сонячної електростанції. Результати роботи можуть бути застосовані для модернізації систем електропостачання промислових об'єктів.

ABSTRACT

Kholod Artem Ihorovych. Evaluation of the efficiency of using solar panels in the power supply system. Specialty 141 – Electric power, electrical engineering and electromechanics. Department of ESEEM. Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025. 74p.

The bachelor's qualification work investigated the possibility of integrating solar panels into the power supply system of the Vinnytsia Instrument Plant LLC. An analysis of modern photovoltaic systems, in particular monocrystalline, polycrystalline and amorphous panels, their design features and efficiency was carried out. A project for a 500 kW network solar power plant was developed using 1080 monocrystalline Ja Solar JAM72S30-545/MR panels and five three-phase Huawei SUN2000-100KTL-M2 inverters. The electrical loads of the enterprise were calculated, including shop networks and general plant loads, taking into account the operating modes of electrical receivers. Special attention was paid to the design of the power supply system, where the optimal supply voltage was selected, a technical and economic comparison of voltage classes was made, and the selection of GPP transformers and shop substations was carried out. Calculations of short-circuit currents, testing of switching and protective equipment and assessment of voltage losses in networks up to 1000 V were carried out. The impact of solar panels on the quality of electricity was studied and measures for its improvement were proposed. A feasibility study was performed, which confirmed the feasibility of implementing a solar power plant. The results of the work can be used to modernize power supply systems of industrial facilities.

Figures – 21

Table – 20

Bibliography – 36

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	7
1.1 Короткий опис технологічного процесу	7
1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства	9
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	12
2.1 Розрахунок електричних навантажень	12
2.1.1 Розрахунок навантажень цехової мережі	12
2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства.....	16
2.2 Вибір та розміщення підстанцій	19
2.3 Розрахунок електропостачання підприємства.....	23
2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання	23
2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	24
2.3.3 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів	26
2.4 Розрахунок електропостачання цеху	29
2.4.1 Вибір схеми цехової мережі	29
2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі.....	30
2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В.....	34
3 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	38
3.1 Аналіз сучасних сонячних фотоелектричних систем.....	41
3.2 Аналіз можливостей використання сонячної енергії на підприємстві	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта.....	54
4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць.....	54
4.1.2 Електробезпека	56
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	57
4.2.1 Мікроклімат	57
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	57
4.2.3 Виробниче освітлення.....	58
4.2.4 Виробничий шум.....	59
4.3 Пожежна безпека	60

	4
ВИСНОВОК.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	69
ДОДАТОК А	70
ДОДАТОК Б	72
ДОДАТОК В.....	73
ДОДАТОК Г	74
ДОДАТОК Д.....	75
ДОДАТОК Е.....	76
ДОДАТОК Ж.....	76

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах глобальної енергетичної трансформації та зростання екологічних вимог до промислових підприємств використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей, набуває стратегічного значення. Сонячна енергетика дозволяє зменшити залежність від традиційних енергоносіїв, знизити витрати на електроенергію та скоротити викиди парникових газів, що відповідає сучасним викликам сталого розвитку. Для промислових об'єктів, інтеграція сонячних панелей у систему електропостачання є актуальним рішенням для підвищення енергоефективності, забезпечення енергетичної незалежності та зниження впливу на довкілля. Враховуючи сприятливі кліматичні умови України, зокрема значну кількість сонячних годин, а також державну підтримку розвитку відновлюваної енергетики, дослідження ефективності використання сонячних панелей у системах електропостачання промислових підприємств є вкрай актуальним.

Мета роботи. Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка та оцінка ефективності використання сонячних панелей у системі електропостачання промислового підприємства ТОВ «Вінницький інструментальний завод» для забезпечення економії електроенергії, підвищення енергетичної незалежності та зниження екологічного впливу. Робота передбачає аналіз техніко-економічних показників, проектування сонячної електростанції потужністю 500 кВт та оцінку її впливу на систему електропостачання підприємства.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні типи сонячних фотоелектричних систем та їх придатність для використання на промислових підприємствах.
2. Оцінити енергоспоживання підприємства ТОВ «Вінницький інструментальний завод» та визначити потенціал інтеграції сонячних панелей у систему електропостачання.

3. Розробити проєкт сонячної електростанції потужністю 500 кВт, включаючи вибір обладнання та схеми підключення.
4. Провести техніко-економічний аналіз доцільності впровадження сонячної електростанції, включаючи розрахунок економії коштів та терміну окупності.
5. Оцінити вплив сонячних панелей на якість електроенергії в системі електропостачання підприємства.
6. Визначити екологічні переваги та ризики, пов'язані з використанням сонячної енергії на підприємстві.
7. Надати рекомендації щодо впровадження заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності на основі використання сонячних панелей.

Об'єкт дослідження. Система електропостачання промислового підприємства ТОВ «Вінницький інструментальний завод», яке спеціалізується на метало-різальному інструменті: фрез кінцевого і дискового типу, розверток і зінківки, із фокусом на інтеграцію сонячних панелей для забезпечення частини енергетичних потреб.

Предмет дослідження. Технічні, економічні та екологічні аспекти використання сонячних панелей у системі електропостачання промислового підприємства, включаючи вибір типу сонячних панелей, схем підключення, розрахунок електричних параметрів та оцінку ефективності їх впровадження.

Методи досліджень. Для виконання роботи, а також досягнення мети поставленої у роботі були використані сучасні оптимальні методи розрахунки які широко застосовуються при проектуванні нових електричних мереж.

Таким чином, дана бакалаврська кваліфікаційна робота має на меті створення **практичних рекомендацій** для впровадження сонячних панелей у систему електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод», що сприятиме підвищенню енергоефективності, економії ресурсів та екологічній стійкості підприємства, а також може бути використано як основа для модернізації інших промислових об'єктів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

Вінницький завод інструментів засновано 06.08.1946 року як державне підприємство. У 1966 році здійснено його модернізацію, а в 1986 році на основі допоміжного інструментального цеху створено мале підприємство «Інструмент-обладнання». У 1996 році на базі цеху товарів народного вжитку з'явилося мале підприємство «Госптовари» з аналогічною спеціалізацією (припинило діяльність у 1998 році). У квітні 1999 року на основі заводської котельні й житлово-комунальної ділянки створено ДП «Добробут» ВАТ «ВІЗ». 05.10.1999 року МП «Інструмент-обладнання» реорганізовано в ДП «Інструмент-обладнання» (зареєстровано управлінням економіки Вінницького міськвиконкому, розпорядження №567-Р) – усі з юридичним статусом. У 1996 році в процесі приватизації державне підприємство ВАТ «ВІЗ» трансформовано у відкрите акціонерне товариство. На сьогодні завод володіє трьома цехами, п'ятьма ділянками основного виробництва, шістьма ділянками допоміжного виробництва, а також магазином і їдальнею.

1.1 Короткий опис технологічного процесу

Підприємство спеціалізується на виготовленні металорізального інструменту: фрези кінцеві й дискові, розгортки та зенківки. Починаючи з 1992 року, завод освоїв виробництво спіральних свердел і різців, загалом понад 750 типорозмірів. Окрім цього, підприємство випускає більше 20 найменувань товарів народного споживання, зокрема слюсарно-монтажний інструмент, інструмент для автомобілістів, медичні інструменти тощо. Також значну частку становлять запасні частини та вузли для цукрової промисловості й агропромислового сектору: ножові вузли для сільгосптехніки, бурякорізальні ножі тощо. За основними видами продукції обсяг виробництва розподіляється так: металорізальний інструмент для машинобудування – 60,7%, різноманітна товарна продукція – 16%, товари народного вжитку – 23,3%. Металорізальна

продукція реалізується товариством переважно за межами Вінницької області по всій Україні.

Найбільший обсяг поставок припадає на машинобудівні підприємства Дніпропетровської (Південно-Західний МПП у Дніпрі), Донецької, Харківської, Луганської (Луганський дослідно-експериментальний завод), а також «Київтрансгаз», комбінат «Криворіжсталь» і Дружківський завод газового обладнання. Значний попит мають бурякорізальні ножі, які переважно постачаються цукровим заводам Вінницької області. Для сільгосптехніки завод виготовляє деталі та вузли, що реалізуються колективним сільгосппідприємствам регіону. Основні клієнти у Вінницькій області: ВАТ «Вінницький агрегатний завод» і ВАТ «Вінницький підшипниковий завод».

Особливості виробництва:

1. Цехи мають переважно технологічну й обмежену спеціалізацію.
2. Використання спеціалізованого обладнання з обмеженим застосуванням універсального устаткування, що ускладнює інструментальне виробництво.
3. Висока матеріаломісткість продукції, яка становить 35–50% від вартості готових виробів.
4. Дрібносерійний характер виробництва.

Конкуренти: Через високий ступінь спеціалізації інструментальних заводів України, сформований десятиліттями, конкуренція в галузі незначна. Частка ВІЗа за асортиментом становить 25–30%. Основні конкуренти: ВАТ «Запорізький комбінат», «Дніпроспецсталь», ВАТ «Запорізький інструментальний завод». Ці підприємства виробляють близько 10% аналогічної продукції, але виробничий потенціал ВІЗа значно перевищує їхній. Завод повністю задовольняє попит внутрішнього ринку. Вплив на конкуренцію також має Томський інструментальний завод, який пропонує схожий асортимент.

Особливості продукції:

Металорізальний інструмент є незамінним для всіх галузей економіки, але його фізичний знос настає за кілька годин, що вимагає регулярної заміни. Для

виготовлення інструментів використовується дефіцитна й дорога швидкорізальна сталь, для виплавки якої окремі компоненти імпортуються з-за кордону.

1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

Таблиця 1.1 - Вхідні дані про електричні навантаження заводу

Назва цеху	Кількість змін	Навантаження, кВт
1. Ковально-пресовий цех	2	480
2. Термічний цех	2	720
3. Цех спецінструменту	3	—
4. Дрібно свердлильний цех	2	390
5. Цех розгортки	2	370
6. МП	3	320
7. Компресорна	2	420
8. Ремонтний цех	2	180

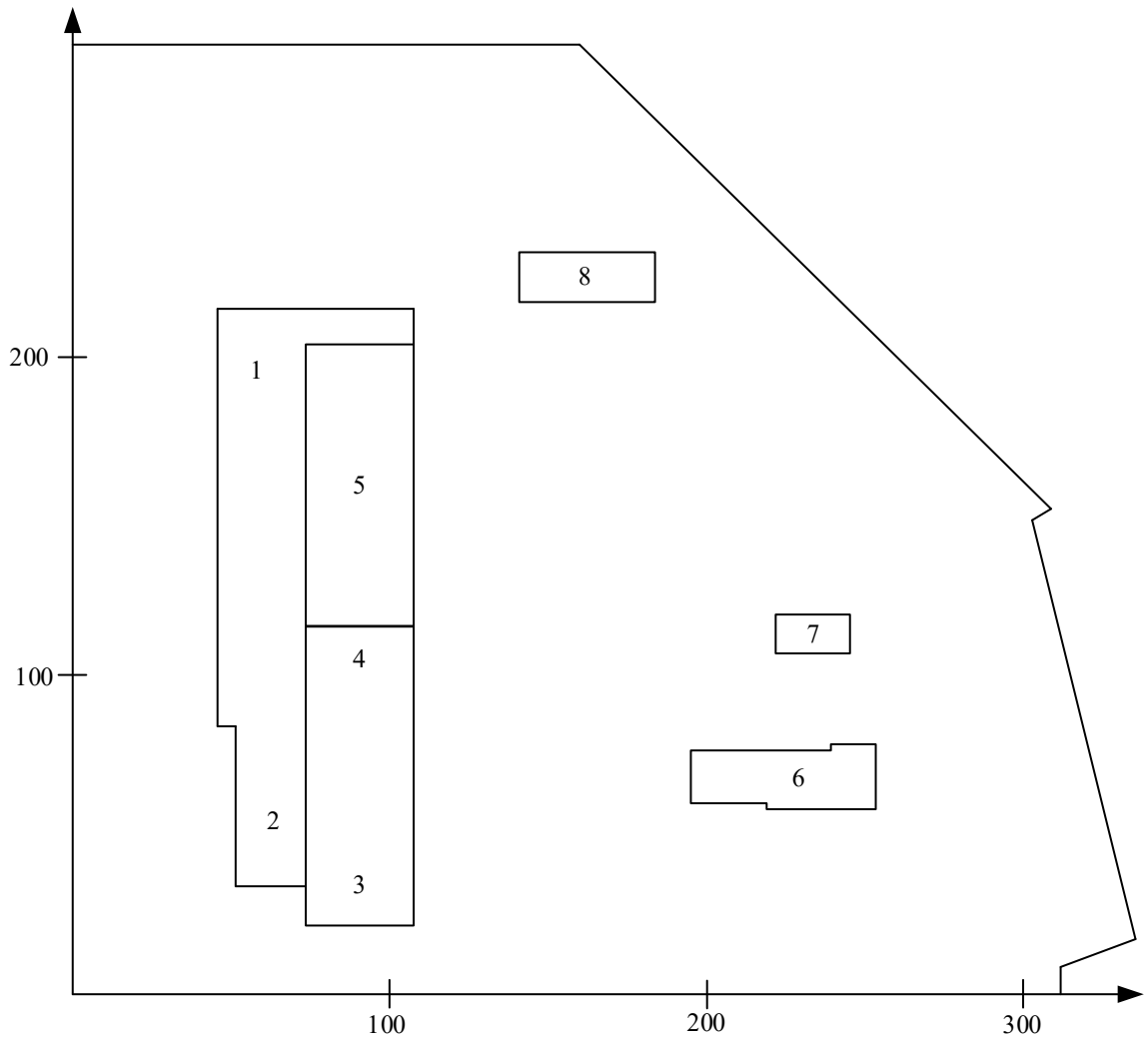


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

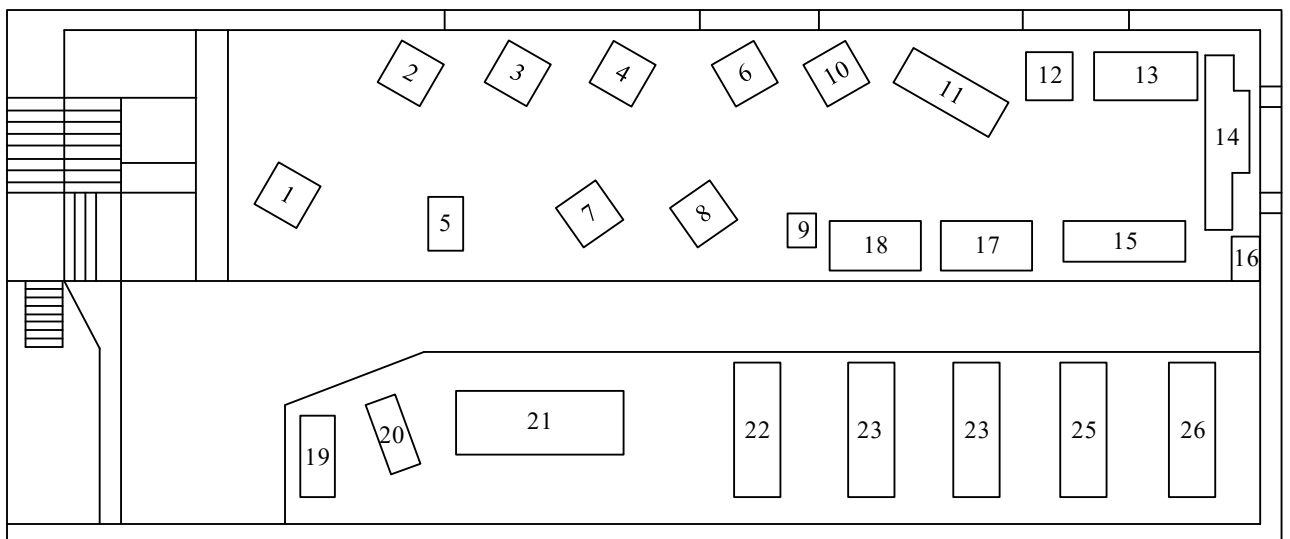


Рисунок 1.2 – План виробничого цеху

Таблиця 1.2 – Відомості про електричні навантаження цеху

№ на плані	Найменування обладнання	Потужність споживачів цеху, кВт
1–4	Вертикально фрезерний	13
5	Горизонтально-розточувальні верстати	3.8
6–8	Горизонтально-фрезерний	8.5
9	Центровий	3
10	Зубофрезерний	11.5
11	Зубодолбьожний	9
12	Плоскошліфувальний	17
13	Внутрішньошліфувальний	6
14–15	Круглошліфувальний	11
16	Заточувальний	3.5
17–18	Долбьожний	6
19	Консольно-поворотний кран	5
20	Пилка відрізна	3.7
21	Розточувальні	9
22–26	Токарно-гвинторізний	12

2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

Живлення електроприймачів (ЕП) здійснюється через два розподільчих пристрої які живляться від трансформаторної підстанції РУ-0.4 кВ ТП1 (рисунок 2.1).

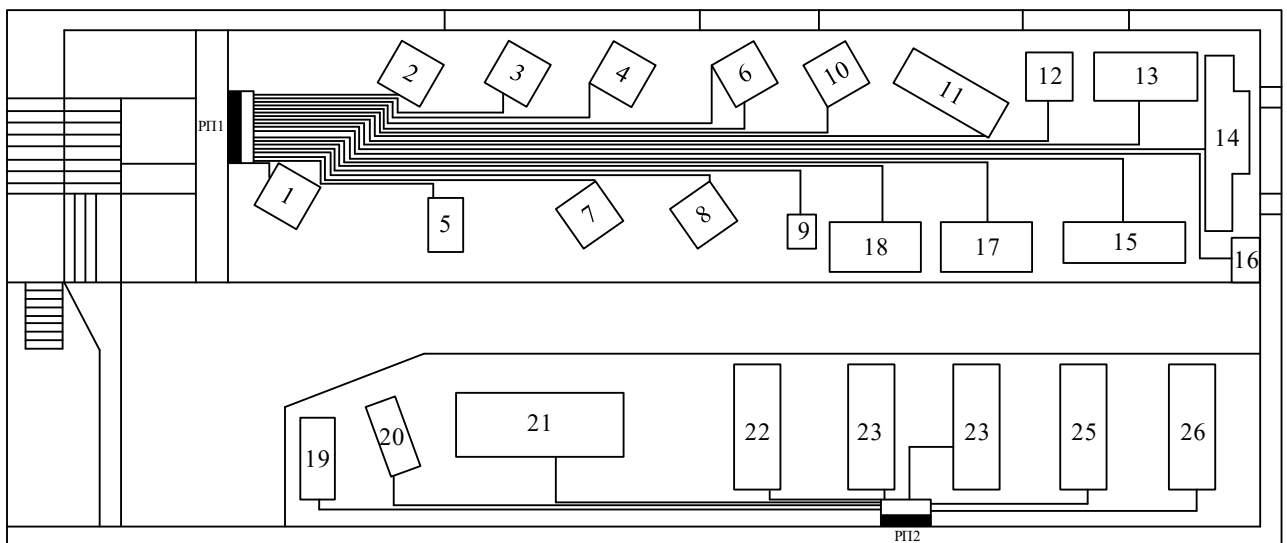


Рисунок 2.1 – План електропостачання цеху

Розрахунок проведемо у табличному вигляді (форма Ф636-92) відповідно до РТМ 36.18.32.4-92.

Навантаження для окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, що забезпечують живлення двох чи трьох ЕП (І рівень), встановлюються на рівні номінальних значень:

$$P_p = P_n, \quad Q_p = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n. \quad (2.1)$$

де P_n – номінальна активна потужність ЕП, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ – номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Номінальні величини визначають за паспортними даними

електроприймачів. У разі відсутності паспортних даних, приймають $\operatorname{tg}\varphi_H = 0.75$ - для електроприймачів тривалого режиму роботи і $\operatorname{tg}\varphi_H = 0.87$ - для електроприймачів повторно-короткочасного.

Для електроприймачів повторно-короткочасного режиму номінальна потужність приводиться до тривалого режиму роботи:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{T_{\text{ПВ.паса}}} ; \quad (2.2)$$

де $P_{\text{пасп}}$ – паспортні номінальна потужність, кВт ;

$T_{\text{ПВ.паса}}$ – відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, с.

Розрахункові навантаження для живильних мереж напругою до 1 кВ обчислюють за такими формулами:

$$P_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} . \quad (2.3)$$

$$Q_P = \begin{cases} 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg}\varphi_{Ci}, & \text{при } n_e \leq 10 ; \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg}\varphi_{Ci}, & \text{при } n_e > 10 . \end{cases} \quad (2.4)$$

Для магістральних шинопроводів:

$$\begin{aligned} P_P &= K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} ; \\ Q_P &= K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \operatorname{tg}\varphi_{Ci} . \end{aligned} \quad (2.5)$$

де K_P – коефіцієнт розрахункового максимуму активної потужності;

n_e – ефективне число ЕП;

$\operatorname{tg}\varphi_C$ – усереднені значення для даного типу ЕП.

Значення K_P можна визначити із [6, таблиці 1, 2].

Середні величини, активна та реактивні потужності:

$$P_C = K_B \cdot P_H ; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi . \quad (2.6)$$

Груповий коефіцієнт використання в ефективне число електроприймачів:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} ; \quad (2.7)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2} . \quad (2.8)$$

Розрахункове значення n_e округляється до цілого меншого числа.

За [6] таблицею 1 визначаємо коефіцієнт максимуму $K_p = f(K_B; n_e)$.

Розрахуємо значення повної потужності:

$$S_p = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} . \quad (2.9)$$

Знаходимо розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H} . \quad (2.10)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

Розрахунок силового навантаження для першого РП:

$$P_C = 7.28 + 0.46 + 3.32 + \dots + 12.21 + 1.40 + 1.20 = 35.82 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 14.05 + 0.79 + 6.06 + \dots + 16.28 + 2.49 + 1.40 = 54.68 \text{ (кВар)};$$

$$K_B = \frac{35.82}{176.3} = 0.20;$$

$$n_e = \frac{176.3^2}{1901.69} \approx 16 \text{ (шт.)}.$$

Із [1, таблиця 1.1] визначаємо $K_p = 1.230$ звідси:

$$P_p = 35.82 \cdot 1.230 = 44.054 \text{ (кВт)};$$

$$Q_p = 1.1 \cdot 44.054 = 48.459 \text{ (кВар)};$$

$$S_p = \sqrt{44.054^2 + 48.459^2} = 65.491 \text{ (кВА)};$$

$$I_p = \frac{65.491}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 99.62 \text{ (А)}.$$

Усі розрахунки електричних навантажень мережі заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень цеху

№	Назва	Силове навантаження														Іном, А	
		n	P _н , кВт	P _{нр} , кВт	КВ	cosφ	tgφ	n×K _в ×P _н	n×KB×Q _н	n×P _н ²	пє	КР	P _р , кВт	Q _р , квар	Sp, ква		
1-4	Вертикально фрезерний	4	13	52	0.14	0.46	1.93	7.28	14.05	676.00							
5	Горизонтально-розточувальні верстати	1	3.8	3.8	0.12	0.5	1.73	0.46	0.79	14.44							
6-8	Горизонтально-фрезерний	3	8.5	25.5	0.13	0.48	1.83	3.32	6.06	216.75							
9	Центровий	1	3	3	0.3	0.6	1.33	0.90	1.20	9.00							
10	Зубофрезерний	1	11.5	11.5	0.17	0.65	1.17	1.96	2.29	132.25							
11	Зубодобільний	1	9	9	0.16	0.8	0.75	1.44	1.08	81.00							
12	Плоскошліфувальний	1	17	17	0.22	0.5	1.73	3.74	6.48	289.00							
13	Внутрішньошліфувальний	1	6	6	0.32	0.6	1.33	1.92	2.56	36.00							
14-15	Круглошліфувальний	3	11	33	0.37	0.6	1.33	12.21	16.28	363.00							
16	Заточувальний	1	3.5	3.5	0.4	0.49	1.78	1.40	2.49	12.25							
17-18	Добільний	2	6	12	0.1	0.65	1.17	1.20	1.40	72.00							
	РП1	19	92.3	176.3	0.20	-	16.09	35.82	54.68	1901.69	16	1.230	44.054	48.459	65.491	99.62	
19	Консольно-поворотний кран	1	5	5	0.05	0.5	1.73	0.25	0.43	25.00							
20	Пилка відрізна	2	3.7	7.4	0.2	0.44	2.04	1.48	3.02	27.38							
21	Розточувальні	1	9	9	0.14	0.43	2.10	1.26	2.65	81.00							
22-26	Токарно-гвинторізний	5	12	60	0.13	0.51	1.69	7.80	13.16	720.00							
	РП2	9	29.7	81.4	0.13	-	7.56	10.79	19.25	853.38	8	2.02	21.796	23.975	32.402	49.29	
	Всього по цеху	28	122	257.7	0.18	-	-	46.61	73.93	2755.07	24	1.34	62.452	68.697	92.842	141.23	
											T0=2.5год		0.75	34.955	38.450	51.964	79.04

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

Навантаження підприємства загалом формується з навантажень окремих цехів. Виконаємо розрахунок силового навантаження для ковально-пресового цеху.

$$P_p = K_{\Pi} \cdot P_{уст}; \quad (2.11)$$

$$P_p = 0.4 \cdot 480 = 192 \text{ (кВт)}.$$

де K_{Π} – коефіцієнт попиту;

$P_{уст}$ – установлена сумарна потужність корпусу, (кВт).

Розрахункова потужність електроосвітлення обчислюється на основі питомої густини освітлювального навантаження на 1 м² корисної площі виробничих приміщень [1]. Залежно від типу приміщення, виду робіт і висоти стелі застосовуються люмінесцентні лампи, ДРЛ або світлодіодні лампи (ЛЕД).

Для освітлення термічної ділянки обираємо ЛЕД:

$$P_{мо} = P_{пит.о} \cdot K_{пра} \cdot K_{по} \cdot F; \quad (2.12)$$

$$P_{мо} = 5290 \cdot 0.01600 \cdot 1.2 \cdot 0.85 = 86.33 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{мо} = P_{мо} \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.13)$$

$$Q_{мо} = 86.33 \cdot 0.1 = 8.63 \text{ (кВАр)}.$$

де $P_{мо}$ – розрахункова потужність, яка необхідна для освітлення ділянки, кВт;

$P_{мо}$ – розрахункова потужність, яка необхідна для освітлення ділянки, кВт;

$P_{пит.о}$ – питома густина освітлювального навантаження, кВт / м² [2];

$Q_{мо}$ – розрахункова реактивна потужність, необхідна для освітлення ділянки, кВАр;

F – площа цеху, яка визначається по генплану, м².

$K_{по}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження [1];

$K_{пра}$ – коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі [1];

Повна розрахункова потужність розраховується за формулою:

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}. \quad (2.14)$$

де P_{ps} – сумарна розрахункова активна потужність цеху, кВт;

$$P_{\text{м}} = P_{\text{мс}} + P_{\text{мо}}; \quad (2.15)$$

$$P_{\text{м}} = 192 + 86.33 = 278.33 \text{ (кВт)}.$$

Q_{ps} – сумарна розрахункова реактивна потужність цеху, кВАр.

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{мс}} + Q_{\text{мо}}; \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{м}} = 144.00 + 8.63 = 152.63 \text{ (кВАр)};$$

$$S_{\text{м}} = \sqrt{278.33^2 + 152.63^2} = 317.44 \text{ (кВА)}.$$

Для решти цехів розрахунки проводимо аналогічно та заносимо дані до таблиці 2.2.

Загальну розрахункову активну потужність підприємства визначаємо за формулою:

$$P_{\text{мсум}} = K_0 \cdot (P_{\text{м1}} + P_{\text{м2}} + \dots + P_{\text{мп}}); \quad (2.17)$$

$$P_{\text{мсум}} = 0.95 \cdot (278.33 + 687.54 + \dots + 94.99) = 1962.99 \text{ (кВт)}.$$

де $P_{\text{мсум}}$ – активна потужність заводу, кВт;

K_0 – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження, вибираємо рівним 0.95, при кількості приєднань на стороні 10 кВ $n=2$ та коефіцієнті використання в межах $0.3 \leq K_{\text{в}} < 0.5$ [1];

Загальну розрахункову реактивну потужність підприємства обчислюємо за формулою [2]:

$$Q_{\text{мсум}} = K_0 \cdot (Q_{\text{м1}} + Q_{\text{м2}} + \dots + Q_{\text{мп}}); \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{мсум}} = 0.95 \cdot (152.63 + 386.84 + \dots + 267.95 + 105.72) = 1504.96 \text{ (кВАр)}.$$

де $Q_{\text{мз}}$ – реактивна потужність освітлення на заводі, кВАр;

$Q_{\text{мк}}$ – реактивна потужність заводу, кВАр.

Сумарне повне навантаження заводу обчислюється за формулою:

$$S_{\text{p}\Sigma} = \sqrt{1962.99^2 + 1504.96^2} = 2473.51 \text{ (кВА)}.$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень заводу

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження				
		Р _н , кВт	К _п	cosj	tgj	Р _с , кВт	Q _с , квар	F, м ²	Р _{плт.о} , кВт/м ²	K _{освітл}	K _{пра}	Р _{освітл} , кВт	Q _о , кВт	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	S _{плт.} , кВА/м ²
1	Ковально-пресовий цех	480	0.4	0.8	0.75	192	144.00	5290	0.01600	1.2	0.85	86.33	8.63	278.33	152.63	317.44	0.0600
2	Термічний цех	720	0.85	0.85	0.62	612	379.28	5290	0.01400	1.2	0.85	75.54	7.55	687.54	386.84	788.90	0.1491
3	Цех спецінструменту	—	—	—	—	34.955	38.45	3156	0.01700	1.2	0.85	54.73	5.47	89.68	43.92	99.86	0.0316
4	Дрібно свердильний цех	390	0.5	0.85	0.62	46.61	73.93	3156	0.01600	1.2	0.85	51.51	5.15	98.11	79.08	126.02	0.0399
5	Цех розгортки	370	0.35	0.5	1.73	129.5	224.30	2965	0.01400	1.2	0.85	42.34	4.23	171.84	228.53	285.93	0.0964
6	МП	320	0.85	0.65	1.17	272	318.00	1037	0.01400	1.2	0.85	14.81	1.48	286.81	319.48	429.34	0.4140
7	Компресорна	420	0.85	0.8	0.75	357	267.75	151	0.01300	1.2	0.85	2.00	0.20	359.00	267.95	447.97	2.9667
8	Ремонтний цех	180	0.5	0.65	1.17	90	105.22	408	0.01200	1.2	0.85	4.99	0.50	94.99	105.72	142.13	0.3484
					Всього	1734.06	1550.94	21453					33.22	1962.99	1504.96	2473.51	0.1153

2.2 Вибір та розміщення підстанцій

Розрахуємо сумарну повну розрахункову потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 0.4 кВ [1]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (2.27)$$

де S_i – повна розрахункова потужність підприємства, кВА.

$$S_{\Sigma} = \sqrt{1962.99^2 + 1504.96^2} = 2473.51 \text{ (кВА)}.$$

Розрахуємо загальну площу всіх цехів:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i. \quad (2.28)$$

де F_i – площа цеха, м².

$$F_{\Sigma} = 21453 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Розрахуємо економічний ступінь потужності трансформаторів у залежності від густини навантаження:

$$S_{num} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}; \quad (2.29)$$

$$S_{num} = \frac{2473.51}{21453} = 0.1153 \text{ (кВА/м}^2\text{)}.$$

В [3] джерелі пропонується при такій питомій потужності використовувати трансформатори потужністю до 1000 кВА.

Визначаємо економічне число підстанцій [1]:

$$N_{ек} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{ном.ТР} \cdot K_3}, \quad (2.30)$$

де $k_3 = 0.75 \div 0.8$ - коефіцієнт завантаження трансформаторів дво-рної підстанції за переважання споживачів II та III категорій надійності електрозабезпечення визначається з урахуванням можливості резервного живлення та допустимого навантаження, зазвичай становлячи 0,7–0,8 від номінальної потужності в нормальному режимі.

Варіант №1: $S_{ек} = S_{ном.ТП} = 630 \text{ кВА}$.

$$N_{ек} = \frac{2473.51}{2 \cdot 630 \cdot (0.75 \div 0.8)} = 2.62 \div 2.45 \text{ (шт.)}$$

Отже, необхідно встановити три трансформаторні підстанції.

Варіант №2: $S_{ек} = S_{ном.ТП} = 1000 \text{ кВА}$.

$$N_{ек} = \frac{2473.51}{2 \cdot 1000 \cdot (0.75 \div 0.8)} = 1.65 \div 1.55 \text{ (шт.)}$$

Отже, необхідно встановити дві трансформаторні підстанції.

Розподілимо трансформаторні підстанції між цехами і визначимо їх фактичний коефіцієнт завантаження.

Результати розрахунку приведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

№ТП	Варіант 1				Варіант 2			
	№ на генплані	Sp, кВА	$S_{номТП} = 630 \text{ кВА}$		№ на генплані	Sp, кВА	$S_{номТП} = 1000 \text{ кВА}$	
			N, шт	k_3			N, шт	k_3
1	2	788.9	2	0.63	1,2,4,5	1498.3	2	0.75
2	1,3,4,5	813.1	2	0.65	3,6,7,8	1110.4	2	0.56
3	6,7,8	1014.5	2	0.81				

У цьому випадку, порівнявши обидва варіанти, обираємо варіант №2, оскільки він є економічно вигіднішим.

Для визначення місця розташування ТП та ГПП створюємо картограму навантажень і встановлюємо центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень розробляємо на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного цеху зображаємо колом, площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності [2]:

$$P_p = m_p \cdot \pi \cdot r^2. \quad (2.31)$$

де m_p – масштаб побудови, зазвичай вибирають кратним 1,2,5.

Обираємо масштаб для створення картограми навантажень: задаємо радіус кола навантаження 11,87 м для першого цеху, після чого масштаб побудови розраховуємо так:

$$m_p = \frac{P_p}{\pi \cdot r^2} \cdot \quad (2.32)$$

де r – радіус круга навантаження, м;

P_p – розрахункова активна потужність цеха, кВт.

Визначаємо масштаб побудови для ковально-пресового цеху:

$$m_p = \frac{278.33}{3.14 \cdot 18.83^2} = 0.25 \text{ (кВт/м}^2\text{)}.$$

Приймаємо $m_p = 0,25$ кВт/м².

Встановимо радіус кола для заданого масштабу:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p1}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.33)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{278.33}{3.14 \cdot 0.25}} = 18.83 \text{ (м)}.$$

Сектор освітлювального навантаження для цеху «Термічна дільниця І» складає [1]:

$$\alpha_1 = \frac{360^0 \cdot P_{mo}}{P_{p1}}; \quad (2.34)$$

$$\alpha_1 = \frac{360^0 \cdot 86.33}{278.33} = 111.66^0.$$

Результати аналогічних обчислень для інших цехів узагальнюємо в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Дані для побудови картограми навантажень

№ п.п	Споживачі	Координати		Рм, кВт	Рмо, кВт	rk, мм	αk
		Xk, мм	Yk, мм				
1	Ковально-пресовий цех	76.17	124.235	278.33	86.33	18.83	111.66
2	Термічний цех	46.17	124.235	687.54	75.54	29.59	39.55
3	Цех спецінструменту	90.63	68.18	89.68	54.73	10.69	219.68
4	Дрібно свердлильний цех	90.63	68.18	98.11	51.51	11.18	188.99
5	Цех розгортки	90.63	159.35	171.84	42.34	14.80	88.70
6	МП	224.03	67.77	286.81	14.81	19.11	18.59
7	Компресорна	231.73	113.38	359.00	2.00	21.39	2.01
8	Ремонтний цех	158.03	226.43	94.99	4.99	11.00	18.93

Визначаємо координати центру навантажень [1]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p.i}}; \quad (2.35)$$

$$X = \frac{278.33 \cdot 76.17 + \dots + 94.99 \cdot 158.03}{278.33 + \dots + 94.99} = 120.018 \text{ (мм)}.$$

де $P_{p.i}$ – розрахункова активна потужність i -го цеха, кВт;

X_i – координати абсциси i -го цеха, м.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p.i}}; \quad (2.36)$$

$$Y = \frac{278.33 \cdot 152.63 + \dots + 94.99 \cdot 226.43}{278.33 + \dots + 94.99} = 117.036 \text{ (м)}.$$

де $P_{p.i}$ – розрахункова активна потужність i -го цеха, кВт;

X_i – координати абсциси i -го цеха, м.

Розташувати ГПП безпосередньо в центрі навантажень неможливо. Встановлення ГПП передбачено на території підприємства з боку лінії електроживлення. Розташування ГПП зображено на рисунку 2.2.

2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Конструктивно заводські мережі підприємства прокладені кабелями в траншеях.

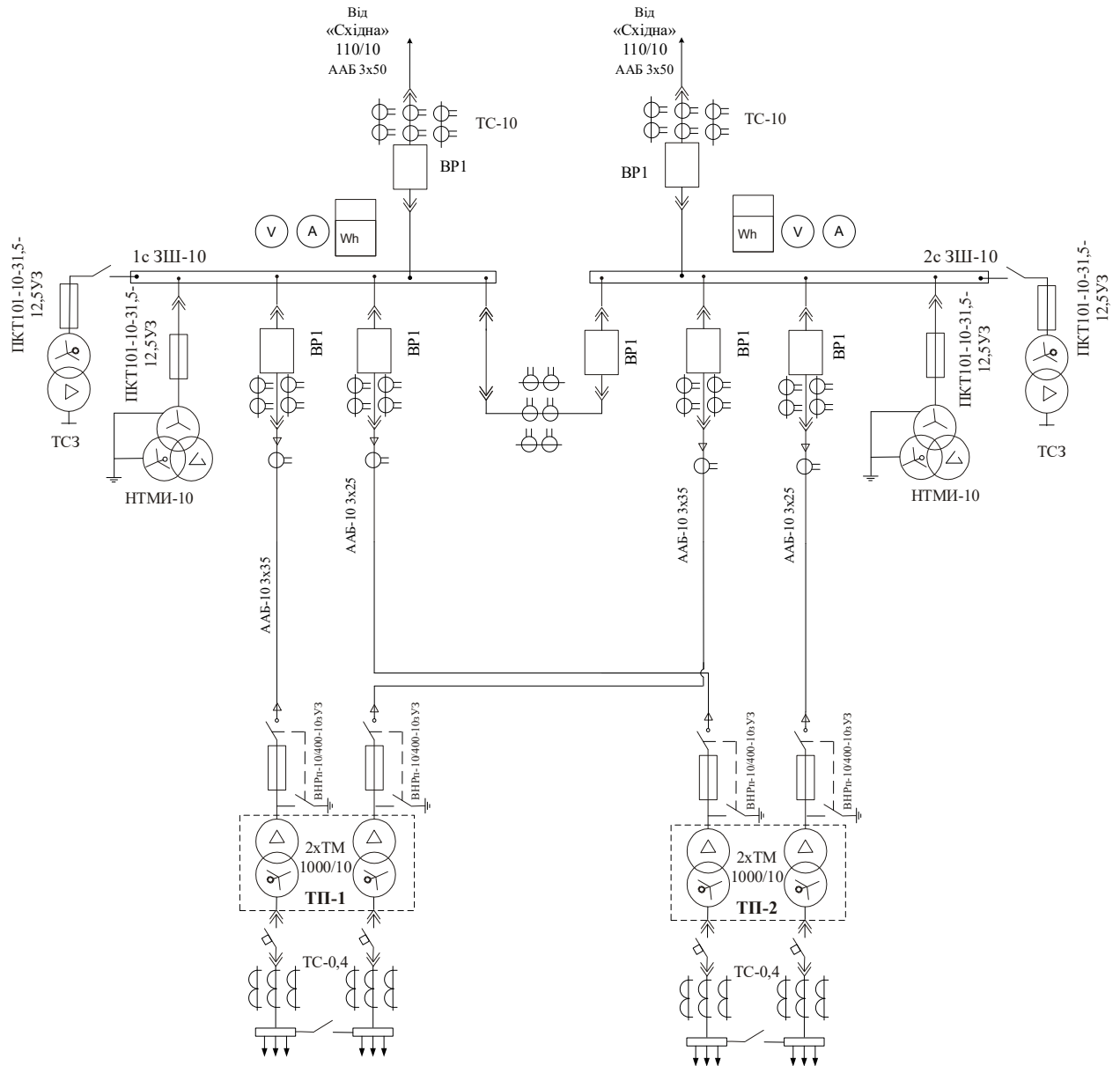


Рисунок 2.3 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

Для електропостачання підприємства обираємо кабельні ЛЕП, виконані кабелем ААБ. Вибір перерізу жил кабелю здійснюємо за трьома критеріями: допустимий тривалий струм, допустимий струм КЗ та економічність.

Виконаємо розрахунок струму для живлячої лінії:

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (3.1)$$

$$I_M = \frac{2473.51}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 20.43 \text{ (A)};$$

$$I_{ма} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.37)$$

$$I_{ма} = \frac{2473.51}{\sqrt{3} \cdot 35} = 40.85 \text{ (A)}.$$

Відповідно до заданої умови дозволяється використовувати провід із перерізом 10 мм².

Високовольтні вимикачі підбираємо за номінальною напругою й розрахунковим струмом, ураховуючи режими після аварій та ймовірні нерівномірності розподілу струмів між лініями й секціями шин [2].

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.мережі}; \quad (2.39)$$

$$I_{ном.в} \geq I_{м.ав}. \quad (2.40)$$

Для встановлення на стороні 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі ВР1. Номінальний струм вимикачів $I_{ном.в} = 630 \text{ А} > I_{м.ав}$. Власний час відключення вимикача 0.04 с.

ГПП-ЦТП-1:

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.41)$$

$$I_M = \frac{1498.27}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 43.30 \text{ (A)};$$

$$I_{на} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.42)$$

$$I_{на} = \frac{1498.27}{\sqrt{3} \cdot 10} = 43.30 \text{ (A)}.$$

Обираємо вакуумний вимикач ВР1. Номінальний струм вимикача $I_{ном.в} = 630 \text{ А} > I_{м.ав}$. Власний час спрацьовування вимикача становить 0,04 с. Для решти приєднань вимикачі добираємо подібним чином й заносимо до таблиці

2.8.

Вибір кабелів 10 кВ здійснюємо за дозволеним струмом [6].

Встановлюємо переріз провідників [1].

$$I_{na} \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{дон} \quad (2.43)$$

$$86.61 \text{ (A)} \leq 0.87 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 125 = 94.61 \text{ (A)}$$

де k_1 - поправочний коефіцієнт при температурі зовнішнього середовища ;
 k_3 - поправочний коефіцієнт в залежності від прокладених поруч кабелів ;
 k_2 - поправочний коефіцієнт в залежності від теплового опору ґрунту.

Для решти приєднань кабелі підбираємо аналогічно та вносимо дані до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір вимикачів та кабелів 10 кВ

Лінія	Ім, А	Іпа, А	Вимикач	Іном, А	Провідник	S, мм ²	Ідоп, А
ЦТП1	43.30	86.61	ВР1	630	ААБ	3×50	140
ЦТП2	32.09	64.18	ВР1	630	ААБ	3×50	140

2.3.3 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів

У системах електропостачання можуть відбуватися різні типи КЗ, що характеризуються стрімким зростанням струму. Усе електрообладнання, застосоване в електричних установках, мусить витримувати струми короткого замикання й підбирається з урахуванням цих величин. Головними причинами появи струмів КЗ у мережі є: ушкодження ізоляції окремих елементів установок, помилкові дії персоналу, а також перекриття струмопровідних частин.

Розрахунок струмів короткого замикання здійснюється з метою перевірки вибраних вимикачів та кабелів. Тому необхідно визначити: періодичну складову струму трифазного КЗ у початковий момент часу $I_{ПО}$, періодичну та аперіодичну складові у момент розходження контактів, ударний струм КЗ та тепловий імпульс B_K .

Складаємо схему заміщення (див. рисунок 2.4).

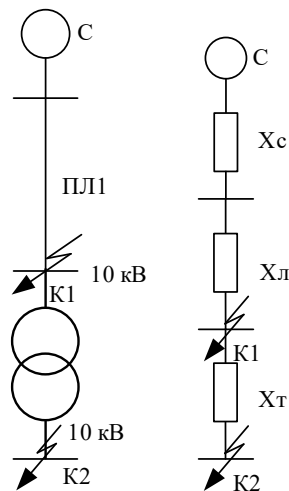


Рисунок 2.4 – Схема заміщення системи електропостачання

Обчислимо опори елементів, що зведені до базисних умов:

$$S_{\bar{6}} = 1000; \quad S_{\text{кз}} = 5000.$$

$$X_c = \frac{S_{\bar{6}}}{S_k} = \frac{1000}{5000} = 0.2; \quad (2.44)$$

$$X_{\text{ПЛ}} = X_{\text{ном}} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\text{сер}}^2}; \quad (2.45)$$

$$X_{\text{ПЛ}} = 0.446 \cdot 1.8 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 7.282;$$

$$X_T = \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{6}}}{S_{\text{ном}}}; \quad (2.46)$$

$$X_T = \frac{6.5}{100} \cdot \frac{1000}{1.6} = 40.625.$$

Знаходимо результуючі опори:

$$X_{\text{сум2}} = X_c + X_{\text{ПЛ35}}; \quad (2.47)$$

$$X_{\text{сум2}} = 0.2 + 7.282 = 7.482;$$

$$X_{\text{сум3}} = X_{\text{сум2}} + X_T; \quad (2.48)$$

$$X_{\text{сум3}} = 7.482 + 40.625 = 48.107.$$

Початкове діюче значення струму КЗ в точці К:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}; \quad (2.49)$$

$$I_{610} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 \text{ (кА)};$$

$$I_{\Pi 0} = \frac{1}{X_{\text{сум}}} \cdot I_6; \quad (2.50)$$

$$I_{\Pi 0_2} = \frac{1}{7.482} \cdot 54.986 = 7.349 \text{ (кА)};$$

$$I_{\Pi 0_3} = \frac{1}{48.107} \cdot 54.986 = 1.143 \text{ (кА)}.$$

Ударний струм:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi 0} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right); \quad (2.51)$$

$$i_{\text{уд}2} = \sqrt{2} \cdot 7.349 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{0.03}} \right) = 17.841 \text{ (кА)};$$

$$i_{\text{уд}3} = \sqrt{2} \cdot 1.143 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{0.03}} \right) = 2.775 \text{ (кА)}.$$

Аперіодичний струм при $t=0.065$ с:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi 0} \cdot e^{\left(\frac{t}{T_a} \right)}; \quad (2.52)$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot 7.349 \cdot e^{\frac{-0.065}{0.03}} = 1.191 \text{ (кА)};$$

$$i_{a3} = \sqrt{2} \cdot 1.143 \cdot e^{\frac{-0.065}{0.03}} = 0.185 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_K = I_{\Pi 0}^2 \cdot (t_{\text{від}} + T_{\text{асх}}); \quad (2.53)$$

$$B_{K2} = 7.349^2 \cdot (0.065 + 0.3) = 19.715 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)};$$

$$B_{K3} = 1.143^2 \cdot (0.065 + 0.3) = 0.477 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}.$$

Перевіримо живлячу лінію за умовою термічної стійкості:

$$S_{\text{ек}} \geq S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C_{\text{T}}}; \quad (2.54)$$

де $C_{\text{T}} = 90 \cdot A \cdot C^{0.5} / \text{мм}^2$ – для алюмінієвих кабелів

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{19.715}}{90} \cdot 10^3 = 49.335 (\text{мм}^2).$$

$$50 (\text{мм}^2) > 49.335 (\text{мм}^2).$$

Умова виконується, отже живлячий кабель ААБ-10 3х50 обрано вірно.

Відповідно до ДСТУ 687 - 78 високовольтні вимикачі повинні бути перевірені на комутаційну здатність, на динамічну стійкість, а також на термічну стійкість до дії струмів КЗ.

Перевірку вибраних вимикачів і провідників покажемо на прикладі вибраного вимикача ВР1-10. Дані занесені у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Перевірка вимикача ВРС-10

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{\text{н.відк}} \geq I_{\text{пт}}$	$I_{\text{н.відк}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пт}} = I_{\text{пт.с}} = 0.185 \text{ кА}$
$\sqrt{2} I_{\text{н.відкл}} \geq \sqrt{2} I_{\text{пт.с}} + i_{\text{ат.с}}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.відкл}} = \sqrt{2} \cdot 20 = 28.3 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 0.185 = 0.262 (\text{кА})$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = i_{\text{уд.с}} = 0.185 (\text{кА})$
$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{по}}$	$I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} = I_{\text{по.с}} = 1.143 (\text{кА})$
$B_{\kappa} = I_{\text{по}}^2 t_{\text{по}}$	$I_{\text{м}}^2 t_{\text{м}} = 10^2 \cdot 4 = 400 (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$	$B_{\kappa} = 19.715 (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$

Даний вимикач задовольняє усім умовам перевірки.

2.4 Розрахунок електропостачання цеху

2.4.1 Вибір схеми цехової мережі

Оскільки радіальні схеми гарантують високу надійність електропостачання, обираємо радіальну схему для цехової мережі, як зображено

на рисунку 2.1.

На лініях установлюємо автоматичні вимикачі від виробника ЕТІ типу ЕВ та ЕВ2 із напівпровідниковими чи тепловими й електромагнітними розчіплювачами.

Згідно з вимогами ПУЕ застосовуємо такі способи прокладання кабельних ліній:

Від ТП до РП кабелем із алюмінієвими жилами марки АВВГ, прокладеним у землі;

Від ТП до РП кабелем із алюмінієвими жилами марки АВВГ, прокладеним відкрито в лотках та коробах.

2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

При виборі автоматичних вимикачів мають виконуватись наступні умови:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p; \quad (2.55)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_{п}. \quad (2.56)$$

$$I_{н.ВІДК} \geq I_{К.мах}^{(3)}. \quad (2.57)$$

де $I_{с.в}$ - струм спрацювання відсічки ;

$I_{н.розч}$ - номінальний струм розчіплювача ;

$K_{відс}$ - коефіцієнт відстроювання, визначається на основі умов забезпечення надійності налаштування захисту від перевантажень, а також його стійкості до неспрацювання (повернення) під час або після пуску чи самозапуску.

K_n - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

I_m - розрахунковий струм окремого електроприймача;

$I_{п}$ - піковий (пусковий) струм.

Виберемо автоматичний вимикач для захисту ЕП-4.

Розрахунковий струм ЕП-4:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{ном}}; \quad (2.58)$$

$$I_p = \frac{42.99}{\sqrt{3} \cdot 0.46 \cdot 0.38} = 42.99 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм установимо приблизно, залежно від виду приводу:

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p - \text{для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2.5 \cdot I_p - \text{для АД з ФР;} \\ 3 \cdot I_p - \text{для ДПС та зварювальних Т – рів;} \end{cases} \quad (2.59)$$

$$I_{II} = K_{пуск} \cdot I_p = 5 \cdot 42.99 = 214.94 \text{ (A)}.$$

Для захисту ЕП-4 підбираємо автоматичний вимикач із комбінованим розчіплювачем. Визначимо номінальний струм розчіплювача й струм спрацьовування відсічки для ЕП-4:

$$I_{н.розчип} \geq I_p; \quad (2.60)$$

$$I_{с.відс} \geq 214.94 \cdot 2.1 = 451.38 \text{ (A)}.$$

За отриманими значеннями струмів обираємо автоматичний вимикач ЕВ 100/3L 50А 3р із номінальним струмом вимикача 50 А, номінальним струмом розчіплювача 50 А та струмом спрацьовування відсічки 500 А.

Подібним чином здійснюємо підбір автоматичних вимикачів для решти споживачів цеху.

Захисні апарати, що забезпечують захист РП, монтуються в розподільчому пристрої низької напруги трансформаторної підстанції.

Від ТП до РП1 визначаємо переріз проводу за умовою:

$$I_{доп} \geq I_M; \quad (2.61)$$

$$114.39 \geq 99.62 \text{ (A)}.$$

Виберемо кабель АВВГ перерізом (3х35+1х16), при прокладені в землі, допустимий тривалий струм якого складає $I_{доп} = 114.39 \text{ (A)}$.

Від ТП до ЕП-4 вибираємо кабель АВВГ (3х16+1х10). Допустимий тривалий струм складає 62.31 А.

Перевіряємо даний кабель за наступними умовами:

$$I_{\text{доп}} = 62.31 \geq I_M = 42.99 \text{ (A)};$$

Перевірка

$$I_{\text{доп}} = 62.31 \geq I_{\text{н.розч}} = 50 \text{ (A)}.$$

Подібним чином підбираємо переріз інших кабелів АВВГ, а результати розрахунків вносимо до таблиці 2.10.

Обираємо автоматичний вимикач для лінії від ТП до РП.

Розраховуємо за формулою:

$$I_{\Pi} = I_p - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} \cdot \quad (2.62)$$

де $I_{\text{н.макс}}$ - номінальний струм найбільш потужного електроприймача ,

$I_{\text{п.макс}}$ - пусковий струм найбільш потужного електроприймача ,

K_B - коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача .

$$I_{\Pi} = I_M - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 99.62 - 0.2 \cdot 51.72 + 258.59 = 347.87 \text{ (A)}.$$

Для захисту лінії ТП до РП обираємо автоматичний вимикач з комбінованим розчіплювачем EB2 125/3S 100A 3p з номінальним струмом $I_{\text{ном.в}} = 100 \text{ A}$ і номінальним струмом розчіплювача $I_{\text{н.розч}} = 100 \text{ A}$ та струмом спрацювання відсічки 000 A.

$$I_{\text{н.розч}} = 100 \geq K_{\text{відс}} \cdot I_M = 99.62 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{с.в}} = 1000 \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\Pi} = 2.1 \cdot 907.64 = 730.53 \text{ (A)}.$$

Таблиця 2.10 – Розрахунок комутаційно-захисної апаратури та провідників

цеху

№	Найменування ЕП	I_p , А	I_n , А	Тип АВ	$I_{ном}$, А	$I_{розч}$, А	$I_{св}$, А	Тип ЛЖ	S , мм ²	спос. прок.	$I_{доп}$, А
1–4	Вертикально фрезерний	42.99	214.94	ЕВ 100/3L 50А 3р	50	50	500	АВВГ	16	відкрито	62.31
5	Горизонтально-розточувальні верстати	11.56	57.80	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
6–8	Горизонтально-фрезерний	26.94	134.68	ЕВ 100/3L 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
9	Центровий	7.61	38.03	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
10	Зубофрезерний	26.91	134.56	ЕВ 100/3L 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
11	Зубодолбюжний	17.11	85.56	ЕВ 100/3L 20А 3р	20	20	200	АВВГ	4	відкрито	26.97
12	Плоскошліфувальний	51.72	258.59	ЕВ 100/3L 63А 3р	63	63	630	АВВГ	25	відкрито	80.91
13	Внутрішньошліфувальний	15.21	76.06	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
14–15	Круглошліфувальний	27.89	139.44	ЕВ 100/3L 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
16	Заточувальний	10.87	54.33	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
17–18	Долбюжний	14.04	70.21	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
	РП1	99.62	347.87	ЕВ2 125/3S 100А 3р	100	100	1000	АВВГ	185	в землі	290.16
19	Консольно-поворотний кран	15.21	30.42	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
20	Пилка відрізна	12.79	63.96	ЕВ 100/3L 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
21	Розточувальні	31.84	159.19	ЕВ 100/3L 40А 3р	40	32	400	АВВГ	6	відкрито	34.41
22–26	Токарно-гвинторізний	35.79	178.96	ЕВ 100/3L 40А 3р	40	40	400	АВВГ	10	відкрито	46.5
	РП2	49.29	221.09	ЕВ2 125/3S 50А 3р	50	50	500	АВВГ	185	в землі	290.16

Таблиця 2.11 – Розрахунок втрат напруги

№	Найменування ЕП	L	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , В	ΔU , %
1–4	Вертикально фрезерний	15	2.4	0.084	5.30	1.40
5	Горизонтально-розточувальні верстати	11	15.4	0.01	4.32	1.14
6–8	Горизонтально-фрезерний	18	6.41	0.094	5.81	1.53
9	Центровий	21	15.4	0.01	4.99	1.31
10	Зубофрезерний	23	6.41	0.094	4.86	1.28
11	Зубодолбюжний	25	9.61	0.098	4.65	1.22
12	Плоскошліфувальний	27	1.54	0.072	4.68	1.23
13	Внутрішньошліфувальний	30	15.4	0.01	7.08	1.86
14–15	Круглошліфувальний	33	6.41	0.094	13.03	3.43
16	Заточувальний	37	15.4	0.01	7.71	2.03
17–18	Долбюжний	23	15.4	0.01	5.28	1.39
	РП1	35	1.1	0.068	4.37	1.15
19	Консольно-поворотний кран	25	15.4	0.01	4.41	1.16
20	Пилка відрізна	22	15.4	0.01	6.66	1.75
21	Розточувальні	19	6.41	0.094	4.82	1.27
22–26	Токарно-гвинторізний	3	3.84	0.088	4.37	1.15
	РП2	35	3.84	0.088	4.37	1.15

2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Обчислення струмів короткого замикання виконуємо для перевірки захисних апаратів за критерієм комутаційної спроможності.

Проведемо розрахунок струмів КЗ для ділянки, що забезпечує живлення ЕП-4. Складемо розрахункову схему, зображену на рисунку 2.4.

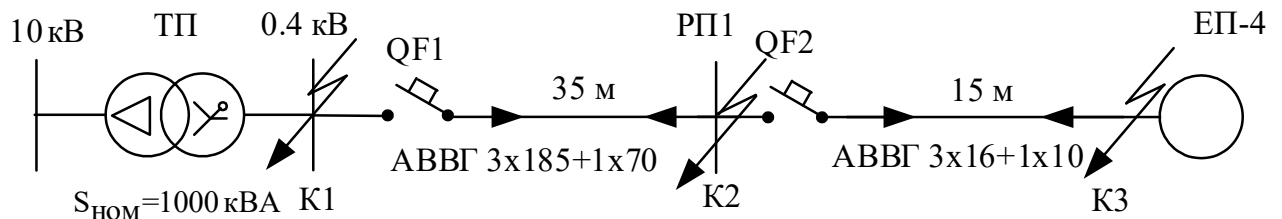


Рисунок 2.5 – Схема електропостачання ЕП-4

Розрахунок опору приведений до 0.4 кВ

Опір трансформатора:

$$R_T = 1.9 \text{ (мОм)}, \quad X_T = 8.6 \text{ (мОм)}, \quad Z_T = 26.4 \text{ (мОм)}; \quad (2.63)$$

Опори ліній Л1, Л2:

$$X = X_{\text{лн}} \cdot L; \quad (2.64)$$

$$X_1 = 0.068 \cdot 35 = 2.38 \text{ (мОм)};$$

$$X_2 = 0.084 \cdot 15 = 1.26 \text{ (мОм)};$$

$$R = R_{\text{лн}} \cdot L; \quad (2.65)$$

$$R_1 = 1.1 \cdot 35 = 38.5 \text{ (мОм)};$$

$$R_2 = 2.4 \cdot 15 = 36 \text{ (мОм)}.$$

Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості подано в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості

Ділянка кола	L, м	R, мОм	X, мОм	Zф-0, мОм
ТМ 1000/10/0.4	-	1.9	8.6	-
Л1	35	38.5	2.38	117.25
Л2	15	36	1.26	88.8

Обчислимо значення струму при трифазному металічному КЗ за формулою:

- для точки К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T^2 + X_T^2)}}; \quad (2.66)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(1.9^2 + 8.6^2)}} = 26.156 \text{ (кА)};$$

- для точки К2

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T^2 + R_L^2) + (X_T^2 + X_L^2)}}; \quad (2.67)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(1.9^2 + 38.5^2) + (8.6^2 + 2.38^2)}} = 5.502 \text{ (кА)};$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\text{фн}}}{\frac{Z_{\text{Т1}}}{3} + Z_{\text{ф01}}}; \quad (2.68)$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{26.4}{3} + 117.25} = 1.745 \text{ (кА)}.$$

- для точки К3

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{U_{\text{фн}}}{\frac{Z_{\text{Т1}}}{3} + Z_{\text{ф01}} + Z_{\text{ф02}}}; \quad (2.69)$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{26.4}{3} + 117.25 + 88.8} = 1.024 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо обрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{H.Відк} > I_{K.Мах}^{(3)}. \quad (2.70)$$

QF1: EB2 125/3S 100A 3p з $I_{cu}=36$ (кА).

$$I_{cu} = 36 \text{ (кА)} > I_{K.Мах}^{(3)} = 26.156 \text{ (кА)}.$$

Для точки K1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB2 125/3S 50A 3p з $I_{cu}=16$ (кА).

$$I_{cu} = 16 \text{ (кА)} > I_{K.Мах}^{(3)} = 5.502 \text{ (кА)}.$$

Для точки K2 умова перевірки комутаційної спроможності дотримується.

Проведемо перевірку селективності роботи захисту.

Визначимо, чи виконується умова:

$$I_{H.Розч} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}. \quad (2.71)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-РП:

$$I_{H.Розч} = 100 \text{ (А)} \leq \frac{I_{K2}^{(1)}}{3} = \frac{1745}{3} = 582 \text{ (А)}.$$

Перевіримо чутливість захисту лінії РП- ЕП-4:

$$I_{H.Розч} = 50 \text{ (А)} \leq \frac{I_{K3}^{(1)}}{3} = \frac{1024}{3} = 341 \text{ (А)}.$$

Умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів дотримані.

Здійснимо перевірку селективності роботи захисту. Селективність автоматичних вимикачів оцінюємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1.3..1.5)I_{c.B2} ; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t . \end{cases} \quad (2.72)$$

Проведемо перевірку селективності для вимикачів, що забезпечують захист ліній ТП – РП (вимикач 1) та РП – ЕП-4 (дані про вимикачі містяться в таблиці 2.12).

$$I_{c.BI} = 100 \text{ (A)} > (1.3..1.5) \cdot 40 = 65..75 \text{ (A)}.$$

Оскільки вимикачі вищого рівня підібрано селективними $t_{c.BI} = 0.1 \text{ с}$, то умови селективності за часом також виконуються.

Карта селективності захисту наведена на рисунку 2.6.

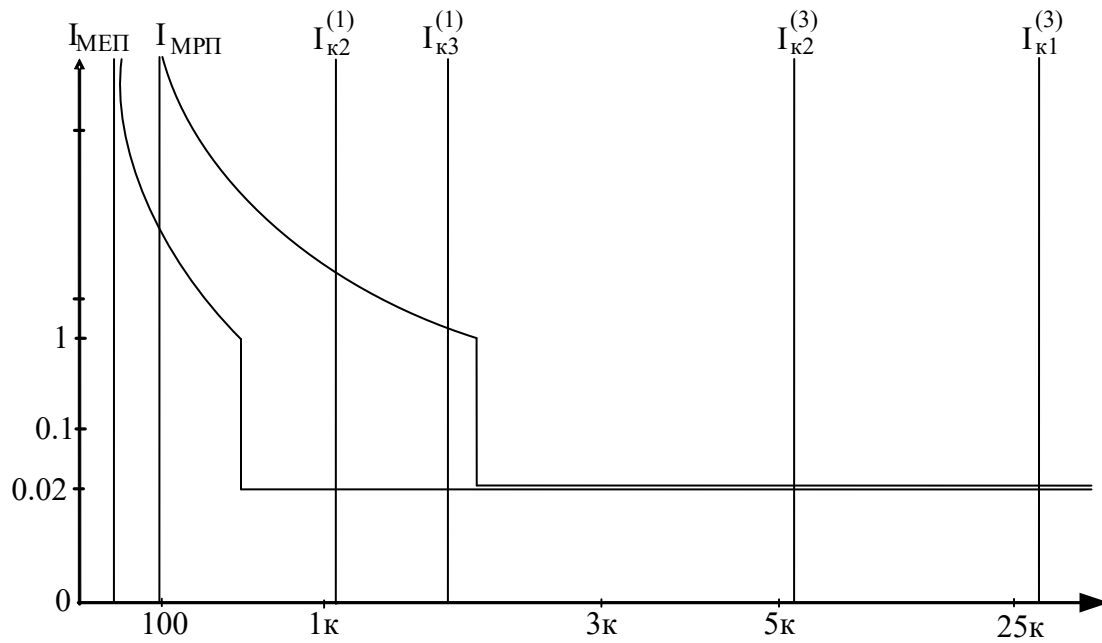


Рисунок 2.6 – Карта селективності захисту

3 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Сонячна енергетика – це невичерпний ресурс, що значно перевершує за потужністю загальні запаси викопних видів палива. Використання лише 0,0125% енергії, яка надходить від Сонця, може забезпечити сучасні світові потреби в енергії, а застосування 0,5% здатне повністю покрити нинішні й майбутні енергетичні потреби.

Переваги використання сонячної енергії:

1. Відсутність викидів парникових газів та інших небезпечних речовин. Сонячні панелі під час роботи не продукують шкідливих викидів, що робить їх екологічно безпечним джерелом енергії.

2. Немає теплового впливу. На відміну від спалювання викопного палива, сонячна енергія не сприяє підвищенню глобальних температур.

Недоліки сонячної енергії:

1. Залежність від погодних умов. Обсяг отриманої сонячної енергії залежить від кліматичних умов, часу доби та пори року.

2. Високі витрати. Монтаж сонячних електростанцій може потребувати значних фінансових вкладень.

Згідно з прогнозом Solar Power Europe (рис. 3.1), ринок сонячної енергетики стрімко зростатиме до 2027 року. Головними чинниками цього зростання є зниження вартості сонячних панелей та інверторів, а також підвищення екологічної свідомості населення й державна політика, спрямована на збереження енергоресурсів.

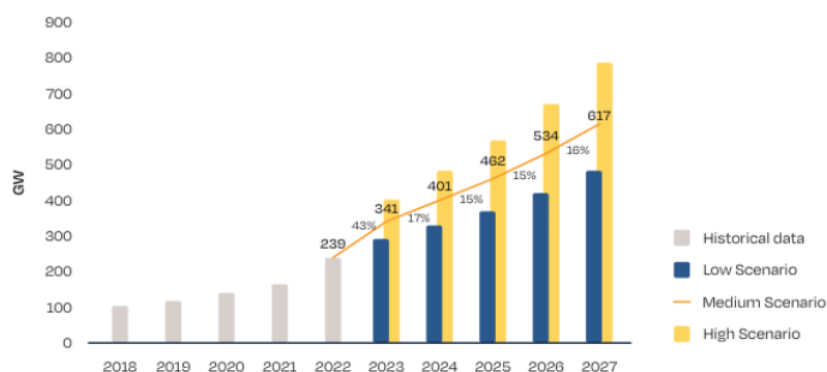


Рисунок 3.1 – Прогноз зростання ринку сонячної енергетики до 2027 р

З графіка випливає, що ринок сонячної енергетики подвоїться порівняно з його нинішнім станом.

За середнім сценарієм прогнозується, що глобальний ринок сонячної енергії сягне 400 ГВт у 2024 році. Це свідчить про зростання на 17% порівняно з 341 ГВт, зафіксованими у 2023 році. У період із 2024 по 2027 роки на три ключові ринки – Китай, США та Індію – припадатиме 51–57% світового попиту на сонячну енергію, що дещо менше за 58%, прогнозованих у 2023 році. До 2027 року ці країни, за оцінками, матимуть сумарну встановлену потужність 313 ГВт.

Останнім часом зростає кількість постачальників сонячних систем, які надають підприємствам і промисловим секторам змогу застосовувати сонячну енергію. Встановлення промислових сонячних енергосистем є ефективним рішенням для забезпечення енергетичних потреб і становить перспективну альтернативу класичним джерелам енергії. Сучасні сонячні системи активно використовуються в провідних промислових галузях. Ринок пропонує широкий вибір ресурсів і постачальників сонячної енергії, що сприяє стабільному енергозабезпеченню компаній. Порівняно з традиційними джерелами, середні тарифи на сонячну електроенергію є більш економічними. Застосування альтернативних джерел енергії сприяє зниженню витрат і надає доступ до податкових пільг.

Аналіз сучасного стану ринку сонячних енергосистем показує, що їхнє застосування сприяє не лише збереженню ресурсів, а й розвитку та дотриманню принципів екологічної ефективності для підприємств.

За останні десятиліття сонячна енергія стрімко утвердилася серед провідних джерел електроенергії, ставши важливим елементом у глобальних зусиллях із переходу до екологічно безпечного та сталого енергозабезпечення. З технічної перспективи сонячна енергія не лише пропонує вирішення енергетичних викликів, а й відіграє центральну роль у трансформації енергетичного сектору.

Ключовою особливістю сонячної енергії є її відновлюваність і стабільність. Сонячні панелі, оснащені фотовольтаїчними елементами, які

перетворюють сонячне випромінювання на електрику, здатні виробляти енергію навіть за хмарної погоди. Це забезпечує безперебійне постачання електроенергії, роблячи сонячну енергетику більш надійною порівняно з іншими джерелами, такими як гідро- чи вітроенергетика, що залежать від специфічних умов.

З технічної перспективи, фотовольтаїчні системи, засновані на фотоелектричному ефекті, суттєво вдосконалилися, підвищивши ефективність перетворення сонячної енергії в електрику. Впровадження наноматеріалів і тонкоплівкових технологій дало змогу створювати високоефективні сонячні панелі, які легко монтувати на дахи, фасади будівель або інтегрувати в електронні пристрої. Це сприяє оптимальному використанню ресурсів для генерації електроенергії.

Сонячна енергетика є не лише основним джерелом відновлюваної енергії, а й технологічно передовим і ефективним рішенням для забезпечення потреб сучасних підприємств. Удосконалення технологій виробництва електроенергії з сонячного випромінювання відкриває широкі перспективи для розвитку енергетичного сектору, сприяючи формуванню екологічно сталої та чистої енергосистеми.

Серед різноманітних альтернативних джерел енергії, придатних для промислових енергосистем, сонячна енергія виділяється як практичне, функціональне й економічно доцільне рішення.

Вибір технології відновлюваної енергії для промислових процесів залежить від кількох критеріїв:

1. Вид енергії (електрична, теплова, механічна).
2. Джерело енергії (сонце, вітер, вода).
3. Потенціал застосування.
4. Інфраструктурні можливості (наявність технічних і фізичних умов для впровадження технології).

Сонячна енергія має суттєві переваги в кожному з цих аспектів:

1. Гнучкість. Сонячну енергію можна конвертувати в різні форми, що робить її універсальною для промислових потреб.

2. Універсальна доступність. Сонячне випромінювання наявне в більшості регіонів світу.

3. Адаптивність. Сонячні системи можуть бути різного масштабу – від компактних установок на дахах до великих промислових комплексів.

4. Фінансова привабливість. За останні роки вартість сонячних технологій значно знизилася, що робить їх конкурентними порівняно з традиційними джерелами енергії.

Зважаючи на ці переваги, сонячна енергія стає все більш привабливим вибором для промислових підприємств, що прагнуть до екологічно чистого та стійкого енергопостачання.

Сонячна енергія, завдяки своїм перевагам, стає дедалі популярнішим рішенням для промислових підприємств, які прагнуть до екологічно безпечного та сталого енергозабезпечення.

Україна має в середньому 2609 сонячних годин на рік, що створює сприятливі умови для розвитку сонячної енергетики. Країна активно працює над розширенням використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у межах стратегії зменшення залежності від викопного палива. За прогнозами, до 2030 року Україна може збільшити частку ВДЕ вдесятеро та скоротити споживання природного газу на 15%. Кліматичні умови та географічне розташування України сприяють розвитку сонячних електростанцій (СЕС), причому навіть північні регіони мають значний потенціал, порівнянний із багатьма європейськими країнами.

Наразі сонячна енергетика в Україні перебуває на етапі, який Європа пройшла 7–10 років тому. Водночас країна пропонує одну з найпривабливіших в Європі інвестиційних моделей для розвитку цього сектору.

3.1 Аналіз сучасних сонячних фотоелектричних систем

Сонячні батареї складаються з модулів, виготовлених на основі кремнієвих кристалів. Залежно від сфери використання, ці модулі можуть мати різні

конструкції та вихідні потужності. Сонячні батареї застосовуються для забезпечення автономним електропостачанням промислових об'єктів або для особистих потреб.

Сонячні панелі поділяються за типом організації атомів кремнію в кристалах елементів:

- монокристалічні;
- полікристалічні;
- аморфні.

Монокристалічні панелі виготовляються з найчистішого кремнію. Такі панелі мають вигляд кремнієвих комірок, об'єднаних у єдину систему. Після очищення монокристал розрізається на тонкі пластини товщиною до 300 мікрон, які з'єднуються сіткою електродів. Через складність виробництва ці панелі дорожчі за аморфні. Їхній коефіцієнт корисної дії (ККД) становить близько 20%, що є високим показником для сонячних батарей. Зовнішній вигляд такої панелі зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Монокристалічна сонячна панель

Полікристалічні панелі виготовляються шляхом повільного охолодження полікристалічних часток до отримання діоксиду кремнію. Цей тип фотомодулів є дешевшим завдяки менш витратній технології виробництва порівняно з монокристалічними панелями. Крім того, процес вимагає менше енергії, що також знижує вартість. Однак ККД таких панелей становить до 18%, що нижче

через особливості структури полікристала, яка зменшує ефективність. Зовнішній вигляд цих сонячних панелей зображено на рисунку 3.3.

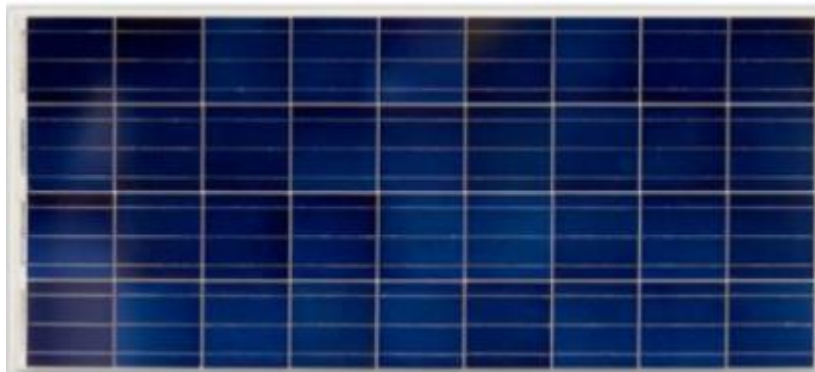


Рисунок 3.3 – Полікристалічна сонячна панель

Аморфні панелі виготовляються на основі кремнію з використанням плівкових технологій, але відрізняються від інших типів. Наразі існує три покоління аморфних сонячних панелей. ККД першого покоління становить лише 4–5%, тоді як сучасні розробки досягають 12%. Зовнішній вигляд такої панелі зображено на рисунку 3.4.

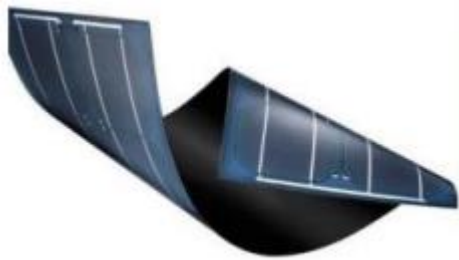


Рисунок 3.4 – Сонячна панель з аморфного кремнію

Завдяки низькому енергоспоживанню та простоті виробництва модулі з аморфного кремнію набули популярності в різноманітних сферах людської діяльності. Хоча аморфний кремній часто застосовується у виробництві калькуляторів і годинників, він не придатний для потужних систем. Фотоелектричні модулі на основі аморфного кремнію ефективно працюють за

низької освітленості та хмарної погоди, а також мають кращий захист від агресивних зовнішніх впливів.

Сонячні фотоелектричні станції класифікуються за типами:

1. Мережеві
2. Гібридні
3. Автономні

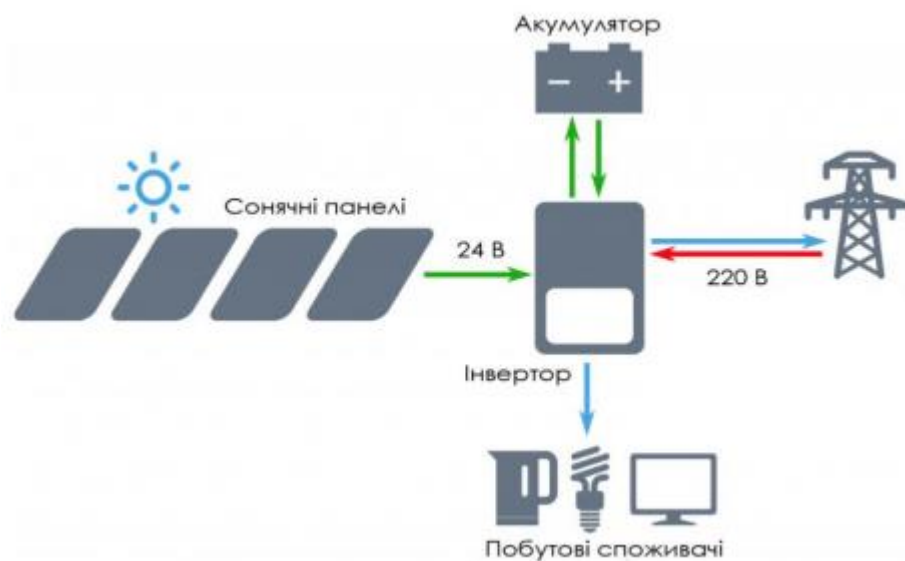
Мережеві інвертори вирізняються більшою потужністю порівняно з іншими типами. Вони під'єднані до зовнішньої електромережі, і більша частина виробленої електроенергії передається в мережу через спеціальні лічильники, тоді як власне споживання залишається мінімальним. Основний недолік мережевих сонячних електростанцій полягає в тому, що інвертори залежні від основної мережі: у разі відключення зовнішнього живлення вони припиняють роботу і не генерують енергію з фотоелектричних модулів. Схему підключення мережевої сонячної електростанції зображено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Схема підключення мережевої СЕС

Гібридний інвертор розроблений для забезпечення потреб власного електроспоживання. Він призначений для низького енергоспоживання (обмеженої кількості споживачів) і підключений до зовнішньої мережі, що дозволяє передавати надлишкову електроенергію в мережу.

Недоліком гібридної сонячної станції порівняно з мережевою є нижча потужність і вища вартість будівництва. Гібридні інвертори зазвичай менш потужні, ніж мережеві, і за однакової потужності двох інверторів гібридний коштуватиме приблизно вдвічі дорожче. Проте в умовах відключення від мережі гібридні інвертори мають перевагу, оскільки підтримують підключення акумуляторних батарей без додаткового обладнання. Спрощену схему підключення гібридної сонячної станції зображено на рисунку 3.6.



Рисунку 3.6 – Схема підключення гібридні СЕС

Автономні сонячні фотоелектричні станції – це системи, які генерують електроенергію за допомогою сонячних панелей і накопичують її в акумуляторах. На відміну від гібридних і мережевих станцій, вони не під'єднані до зовнішньої електромережі. Такі СЕС ідеально підходять для живлення окремих пристроїв або електромереж у віддалених чи важкодоступних місцях, де підключення до центральної мережі неможливе або економічно не вигідне. Схему підключення автономної сонячної станції зображено на рисунку 3.7.



Рисунку 3.7 – Схема підключення автономної СЕС

Сонячні електростанції можуть бути побудовані з використанням різних систем кріплення:

1. Дахові СЕС.
2. Наземні СЕС.
3. Трекінгові СЕС.
4. Плавучі СЕС.

Дахові кріплення застосовуються для монтажу сонячних панелей на покрівлях будівель. Вони виготовляються зі сталі, алюмінію чи інших матеріалів і адаптовані до різних типів дахів (плоских, похилих, металевих, шиферних тощо). На рисунку 3.8 зображено баластну систему кріплення СЕС для плоских дахів.



Рисунок 3.8 – Баластна система кріплення для пласких дахів

Баластна система кріплення сонячних панелей є економічним і універсальним рішенням для монтажу фотомодулів на плоских дахах. Вона не вимагає фіксації до конструкції покрівлі, що забезпечує простоту встановлення та гнучкість. Система складається з трикутних опор – баластних блоків із бетону, розміри яких підбираються з урахуванням вітрового навантаження та висоти будівлі. Оскільки система просто розміщується на даху, вона не спричиняє розгерметизації покриття.

Системи кріплення для скатних дахів призначені для встановлення сонячних панелей на похилих покрівлях. Вони монтуються за допомогою несучих профілів, притискних елементів ФЕМ і кріпильних деталей, які засвердлюються в профілі або кроквяну систему даху. На відміну від баластної системи, цей тип кріплення потребує герметизації, оскільки монтаж передбачає часткову розгерметизацію покрівлі для фіксації до каркасу. Систему кріплення для скатного даху зображено на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Система кріплення для скатного даху

Наземні сонячні електростанції (НЗ СЕС) – це системи, розташовані на відкритих земельних ділянках, незалежно від їхнього типу (сільськогосподарські угіддя, пустелі, промислові території чи інші простори). Вони можуть мати різну площу залежно від необхідної потужності та потреб споживачів.

Основні компоненти НЗ СЕС включають фотоелектричні модулі (сонячні панелі), монтажні конструкції (столи), інвертори для перетворення постійного струму на змінний, а також трансформатори та інші елементи для інтеграції з

електромережею. Такі станції придатні для масштабного розгортання, що забезпечує ефективне вироблення значних обсягів електроенергії та стабільне постачання сонячної енергії для місцевих і віддалених споживачів. Вигляд наземної сонячної електростанції зображено на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Наземна система кріплення СЕС

Трекінгові сонячні електростанції – це фотоелектричні системи, оснащені електромеханічним пристроєм, який відстежує рух сонця протягом дня та нахиляє фотоелектричну панель під оптимальним кутом. Живлення для поворотних механізмів забезпечує сама сонячна панель, що робить систему повністю автономною. Трекінгову СЕС зображено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Трекінгова СЕС

Плавучі сонячні електростанції – це тип СЕС, розташованих на поверхні водойм, таких як озера чи водосховища. Вони не займають земельні ділянки,

придатні для сільського господарства чи інших потреб, що робить їх ідеальними для густонаселених регіонів. Однак будівництво та експлуатація плавучих СЕС є значно складнішими порівняно з наземними чи даховими системами. Приклад плавучої СЕС зображено на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12 – Плаваюча сонячна електростанція

3.2 Аналіз можливостей використання сонячної енергії на підприємстві

Завданням є створення й проєктування фотоелектричної сонячної станції потужністю 500 кВт на території підприємства. Ціль розміщення такої електростанції – економія електричної енергії на підприємстві, зменшення витрат і забезпечення автономного функціонування під час відключень від основної мережі живлення. Як основне обладнання для спорудження станції використано компоненти потужністю 500 кВт. Проведено порівняння ключового обладнання для підключення станції. Списки обладнання подано в таблицях 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік обладнання для підключення СЕС

Обладнання	Найменування	Ціна за одиницю
Інвертор мережевий	Huawei SUN2000-100KTL-M2	1010 тис.грн.
Шафа для моніторингу		
Металевий щит	GT-60-60-20-(1 –шт.)	7.826 тис.грн.
Пристрій моніторингу	Huawei Smart Logger 3000a без PLC-(1 –шт.)	23.094 тис.грн.
Лічильник електроенергії	ENA33LCD-(1 –шт.)	12.600 тис.грн.
Трансформатор струму	800/5A 0.5S-(3 –шт.)	550 грн.
Комутаційна колодка	NiK КП25-(1 –шт.)	576 грн.
Розетка на DIN-рейку,	t-2P+Z Schuko P-(2 –шт.)	387,2 грн.
Автоматичний вимикач	ETIMAT 6 2p C 16A-(1 –шт.)	378,4 грн.
DIN-рейка	E.Next 100см	66,56 грн.
Загальна сума		1055939 грн.

Опис проєкту для спорудження СЕС:

1. Інвертори – SUN2000-100KTL-M2 (трифазні) – 5 одиниць.
2. Сумарна потужність – 500 кВт.
3. Тип модулів – Ja Solar JAM72S30-545/MR (монокристалічні) – 1080 одиниць.
4. Загальна пікова потужність модулів – 588,6 кВт·пik.
5. Монтажна система – дахова.
6. Підключення до електромережі через трансформаторну підстанцію.

Забезпечення безпечного й енергоефективного виробництва – ключова мета кожного підприємства. Серед способів зменшення виробничих витрат можна виявити можливості для зниження собівартості продукції шляхом впровадження заходів із енергозбереження, підвищення енергоефективності та економії електроенергії на підприємстві. Для досягнення економії електроенергії без впливу на основну діяльність необхідно застосовувати комплексні й систематичні заходи з енергозбереження. Вони можуть потребувати значних

інвестицій.

Основні заходи з енергозбереження та енергоефективності:

1. Покращення природного освітлення у приміщеннях.
2. Збільшення ефективності штучного освітлення.
3. Оптимізація використання електроенергії: впровадження суворого контролю споживання за допомогою сучасних приладів обліку (електролічильників).
4. Застосування технологій енергозбереження.
5. Використання енергоефективного технологічного обладнання.

Встановлено СЕС із піковою потужністю 588,6 кВт·пік.

За розрахунками програми PVsyst (рисунок 3.13), прогнозований річний обсяг виробництва електроенергії становить 673,09 МВт·год.

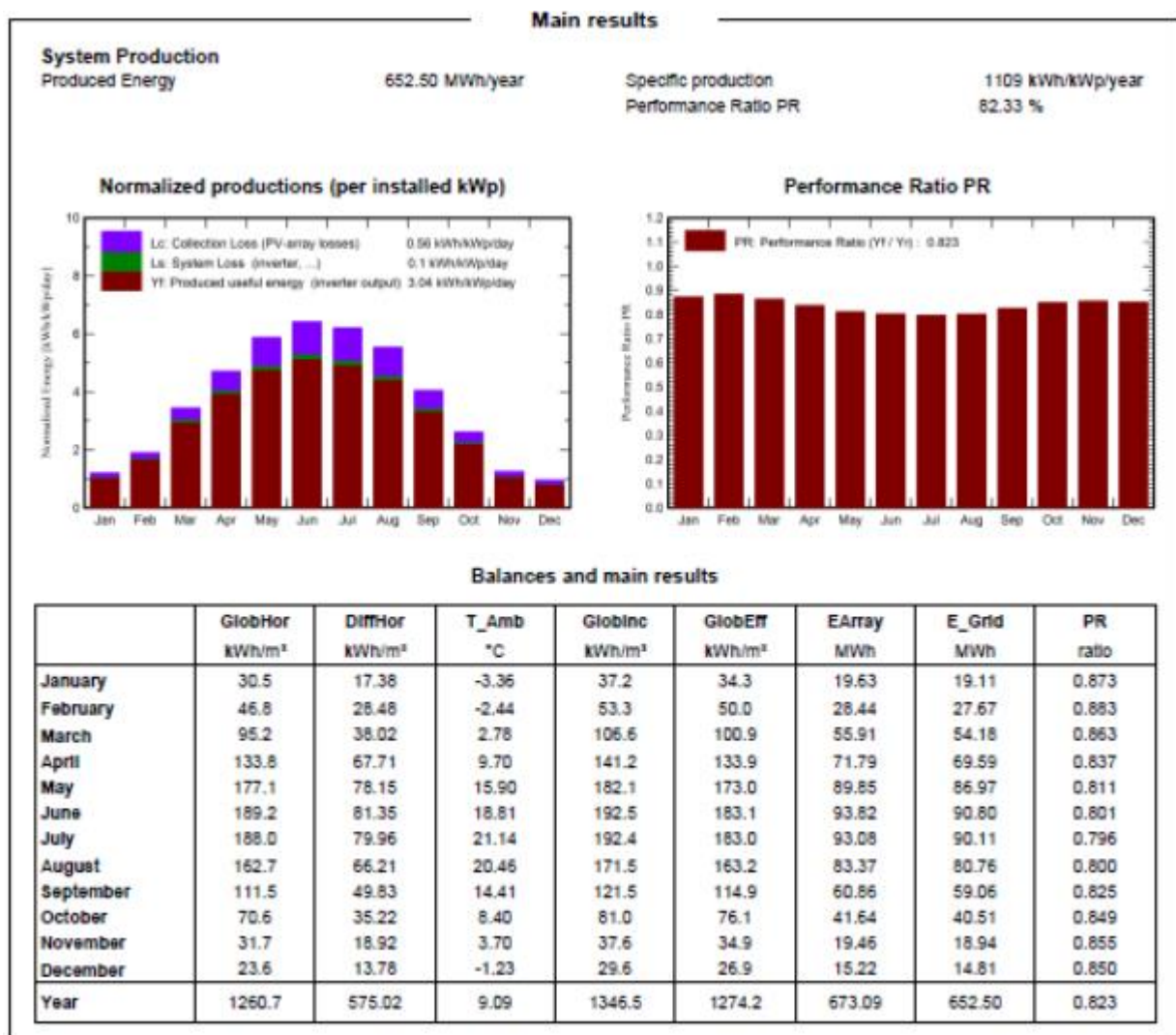


Рисунок 3.13 – Прогнозоване річне виробництво електроенергії

Прогнозована економія, виходячи з тарифу на розподіл електроенергії для непобутових споживачів 2-го класу напруги в розмірі 2028,18 грн за 1 МВт·год та тарифу на передачу електроенергії для непобутових споживачів у розмірі 528,57 грн за 1 МВт·год, становить:

$$(2028.18+528.57) \cdot 673.09 = 1720922.85 \text{ (грн)}. \quad (3.1)$$

Переваги впровадження сонячної електростанції:

Зменшення витрат. СЕС вироблятиме електроенергію за нижчою вартістю, ніж її придбання з мережі, що забезпечить значну економію коштів протягом 25 років роботи станції.

Скорочення викидів парникових газів. СЕС не створює викидів, сприяючи зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Енергетична автономність. СЕС підвищить незалежність підприємства від зовнішніх джерел енергії, захищаючи від зростання цін на електрику.

Поліпшення репутації. Спорудження СЕС підкреслить прихильність підприємства до екологічно чистих технологій, сприяючи покращенню його іміджу.

Ризики, пов'язані з установкою:

Коливання цін на сонячні модулі та інвертори. Зниження вартості обладнання протягом терміну експлуатації СЕС може зменшити окупність проєкту.

Зміни тарифів на електроенергію. Падіння цін на електрику під час роботи СЕС може скоротити економію витрат.

Погодні фактори. Хмарність чи снігопади можуть зменшити обсяги виробництва електроенергії станцією.

Фінансовий аналіз:

Витрати на спорудження: 10800 тис. грн.

Економія електроенергії: 1720 тис. грн на рік.

Період окупності: 6,3 роки.

Внутрішня норма дохідності (IRR): 23%.

Зведення сонячної електростанції потужністю 500 кВт із застосуванням інверторів SUN2000-100KTL-M2 та сонячних модулів Ja Solar JAM72S30-545/MR у кількості 1080 одиниць є економічно виправданим проєктом. Він забезпечує значну економію коштів, зменшення викидів парникових газів і підвищення енергетичної автономності. Ризики проєкту можна звести до мінімуму завдяки ретельному плануванню й управлінню.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі експлуатації системи електропостачання з використанням сонячних панелей. Аналіз потенційних небезпек проведемо за [21, 22] для електротехнічного оперативного персоналу, що обслуговує електричне обладнання системи електропостачання.

Під час експлуатації діючих електроустановок необхідно передбачати заходи із запобігання впливу на працівників таких шкідливих виробничих факторів: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи. У розділі охорони праці будуть досліджені такі питання як технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць, електробезпека, мікроклімат, склад повітря робочої зони, виробниче освітлення, виробничий шум, виробничі вібрації, пожежна безпека для працівників в цілому для об'єкта проектування під час будівництва та після прийняття його в експлуатацію.

4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Підготовка робочого місця і допуск до виконання робіт з пошуку місць

пошкоджень в розподільчих мережах здійснюється оперативним персоналом електричних станцій і підстанцій [24, 25].

Підготовка робочих місць і допуск можуть провадитись тільки з дозволу оперативних працівників, а на підприємствах, де таких працівників немає – з дозволу особи, яка видала наряд чи розпорядження за узгодженням з особою, відповідальною за електрогосподарство. Забороняється змінювати передбачені нарядом (розпорядженням) заходи по підготовці робочих місць. В разі виникнення сумніву в достатності і правильності заходів з підготовки робочого місця і можливості безпечного виконання роботи, ця підготовка має бути припинена.

Підготовку робочих місць, як правило, виконують два працівники, які мають право на оперативні перемикання в даній електроустановці. Дозволяється виконувати підготовку робочого місця керівнику робіт з одним із членів бригади, якщо вони мають права на оперативні перемикання в даній електроустановці. Підготовку робочого місця може виконувати один працівник, крім встановлення переносних заземлень в електроустановках понад 1000 В і виконання перемикань, що здійснюються на двох і більше приєднаннях в електроустановках понад 1000 В, що не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій.

Допускач разом з керівником робіт повинні перевірити виконання технічних заходів з підготовки робочого місця. Якщо керівник робіт суміщає обов'язки допускача, то таку перевірку він виконує з одним із членів бригади, який має групу III. Допуск до роботи за нарядами та розпорядженнями слід провадити безпосередньо на робочому місці.

Допуск провадиться після перевірки технічних заходів з підготовки робочого місця. В цьому разі допускач має:

- перевірити, чи відповідає склад бригади зазначеному у наряді або розпорядженні, та наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань;
- провести інструктаж: ознайомити бригаду зі змістом наряду, розпорядження; зазначити межі робочого місця і підходи до нього; показати

найближче до робочого місця устаткування та струмовідні частини приєднань, що ремонтуються, та суміжних, до яких забороняється наближатися незалежно від того, перебувають вони під напругою чи ні;

- довести бригаді, що напруга відсутня, показом встановлених заземлень та перевіркою відсутності напруги, якщо заземлення не видно з робочого місця, а в електроустановках 35 кВ і нижче (де дозволяє конструктивне виконання) з наступним дотиком рукою до струмовідних частин, після перевірки відсутності напруги.

Після інструктажу допускача бригаду повинен проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин. Без проведення інструктажу допуск бригади забороняється. Проведення інструктажу і допуску оформляються підписами допускача і керівника робіт (наглядача) в таблиці наряду із зазначенням дати і часу. Допуск оформлюється в обох примірниках наряду, з яких один залишається у керівника робіт (наглядача), а другий – у допускача. Коли керівник робіт суміщає обов'язки допускача, допуск оформлюють в одному примірнику наряду. Під час роботи за розпорядженням час допуску реєструють в журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

4.1.2 Електробезпека

Тип електромережі, що контролюється: розподільчі мережі напругою 0.4-10 кВ. Категорія умов з небезпеки електротравматизму – з підвищеною небезпекою, у зв'язку з наявністю струмопровідної підлоги.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних частин;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;

- компенсацію ємкісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Електроінструмент, переносні лампи, знижувальні трансформатори і перетворювачі частоти струму необхідно перевіряти один раз на місяць на відсутність замикання на корпус, цілісність заземлювального контуру, цілісність ізоляції живильних проводів та відсутність оголених струмопровідних частин. Переносні трансформатори необхідно перевіряти також на відсутність замикання між обмотками високої і низької напруги.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні [26], де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Для забезпечення потрібних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [27]:

1. Утеплення фасаду будівлі
- 2 Встановлено вентиляцію приміщень

4.2.2 Склад повітря робочої зони

В умовах, що розглядаються в роботі, можливим забруднювачем повітря може бути пил нетоксичний [26].

Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення наведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони в роботі передбачені такі рішення [27]:

- Робочі місця, де можливе виділення пилу та, обладнані вентиляційними пристроями, які повинні бути постійно готовими до роботи.
- Будь-які порушення у системі вентиляції відображаються попереджувальними сигнальними пристроями.
- Установки для кондиціювання повітря або механічні вентиляційні установки під час їх роботи не створюють для працівників протягів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Штучне освітлення в будівлі запроектоване загальне, освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення). Нормовані значення виробничого освітлення наведені в таблиці 4.3.

Характеристика зорових робіт під час проведення пошуку місць пошкоджень – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [29] розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».

Для забезпечення нормованого значення освітлення у проекті передбачено:

- використання природного та штучного освітлення;
- штучне освітлення повинне бути рівномірне та достатньо інтенсивне;

- світло не повинне створює різких тіней на місцях роботи, значних контрастів між освітленим робочим місцем і навколишньою обстановкою;
- штучне світло не створює зайвих відблисків у полі зору працівника.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природнє Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

4.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму, що розглядаються в роботі, для працівників є шум будівельних машин і механізмів. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму наведено в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового

клімату) в приміщенні проектом передбачено:

- раціональне розташування робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;
- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [31, 32]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [33], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [34].

Приміщення підстанцій системи електропостачання за вибухонебезпечністю та пожежонебезпечністю відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилю і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівлі підстанцій характеризуються III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та

максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати вогонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвиликах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції: втрати несучої спроможності (R); втрати цілісності (E); втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.7 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник) [35].

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

В приміщеннях підстанцій системи електропостачання встановлюється від 8 до 16 вогнегасників ВП-5(8) [36].

ВИСНОВОК

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи проведено комплексне дослідження можливостей інтеграції сонячної електростанції потужністю 500 кВт у систему електропостачання ТОВ «Вінницький інструментальний завод», з детальним аналізом системи електропостачання підприємства.

Досліджено сучасні фотоелектричні системи, зокрема монокристалічні, полікристалічні та аморфні панелі, їх конструктивні особливості та ефективність. На основі аналізу встановлено, що монокристалічні панелі Ja Solar JAM72S30-545/MR є оптимальним вибором для промислового використання завдяки високому ККД (до 20%) та надійності. Розроблено проєкт мережевої сонячної електростанції з даховою системою кріплення, що включає 1080 сонячних панелей та п'ять трифазних інверторів Huawei SUN2000-100KTL-M2. Загальна потужність станції становить 588,6 кВт·пік, а прогнозоване річне виробництво електроенергії, за розрахунками програми PVsyst, досягає 673,09 МВт·год.

У рамках проєктування системи електропостачання підприємства виконано розрахунок електричних навантажень цехів та заводу в цілому, враховуючи режими роботи електроприймачів. Здійснено вибір оптимальної напруги живлення (35 кВ) на основі техніко-економічного порівняння класів напруги (35 кВ та 10 кВ), що показало економію річних поточних витрат на рівні 32575.08 тис. грн при виборі 35 кВ порівняно з 39862.34 тис. грн для 10 кВ. Обґрунтовано вибір трансформаторів ГПП (ТМ-1600/35) та цехових підстанцій, а також проведено розрахунки струмів короткого замикання, перевірку комутаційно-захисної апаратури на комутаційну здатність і селективність, а також оцінку втрат напруги в мережах до 1000 В. Результати підтвердили відповідність вибраного обладнання вимогам надійності та безпеки.

Техніко-економічний аналіз впровадження сонячної електростанції показав річну економію у розмірі 1720 тис. грн за рахунок зниження витрат на

електроенергію за тарифами для непобутових споживачів (2028,18 грн/МВт·год за розподіл та 528,57 грн/МВт·год за передачу). Термін окупності проекту становить 6,3 роки, а внутрішня норма рентабельності (IRR) досягає 23%, що свідчить про економічну доцільність. Екологічні переваги включають зниження викидів парникових газів, що сприяє зменшенню впливу підприємства на довкілля. Використання сонячної енергії також підвищує енергетичну незалежність підприємства, забезпечуючи захист від зростання цін на електроенергію та потенційних відключень від основної мережі. Виявлено ризики, пов'язані зі зміною цін на обладнання, електроенергію та впливом погодних умов, які потребують ретельного прогнозування.

Результати роботи підтверджують доцільність використання сонячних панелей для промислових об'єктів, та можуть бути застосовані для модернізації систем електропостачання інших підприємств.

У подальшому доцільно провести додаткові дослідження щодо інтеграції сонячних панелей із гібридними системами накопичення енергії, а також впровадження цифрових технологій для моніторингу та управління енергоспоживанням, що дозволить підвищити ефективність і надійність системи електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2005. 110с.
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617с.
3. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - Х .: Міненерговугілля України, 2014.
4. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інформація та документація).
5. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
6. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
8. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
9. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>
10. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>

11. Вимикачі навантаження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-c756>

12. <https://promsystem.com.ua/product/analizator-yakosti-elektroenergiyi-sonel-pqm-700/>

13. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Бевз С. М. [та ін.] ; під заг. ред. А. К. Шидловського ; НАН України, П-во «Укренергозбереження». — К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. — 560 с. — (Енергетика України на початку XXI століття ; т. 4). — ISBN 978- 8578-08-3

14. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: ЧДТУ, 2007. — 483 с.

15. Поновлювані джерела енергії: Навч. посіб. / М. І. Сиротюк ; за ред. С. І. Кукурудзи. — Л. : ЛНУ ім. І.Франка, 2008. — 248 с.

16. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Л. : Видво Львів. політехніки, 2014. — 340 с.

17. Лежнюк П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЕС. / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько - УДК 621.316.

18. Лежнюк П. Д. Вплив інверторів сес на показники якості електричної енергії в лес / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2015. - № 2. - С. 134-145. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2015_2_28.

19. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 35–36.

20. Будівництво промислових СЕС [Електронний ресурс] / Інжинірингова компанія – Нові енергетичні технології. – Режим доступу :

<http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/se>

21. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

22. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

23. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.

24. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

25. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

26. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

27. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

28. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

29. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

30. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

31. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
32. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
33. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
34. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
35. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
36. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Вихідні дані

Таблиця А.1 - Вхідні дані про електричні навантаження заводу

Назва цеху	Кількість змін	Навантаження, кВт
9. Ковально-пресовий цех	2	480
10. Термічний цех	2	720
11. Цех спецінструменту	3	—
12. Дрібно свердлильний цех	2	390
13. Цех розгортки	2	370
14. МП	3	320
15. Компресорна	2	420
16. Ремонтний цех	2	180

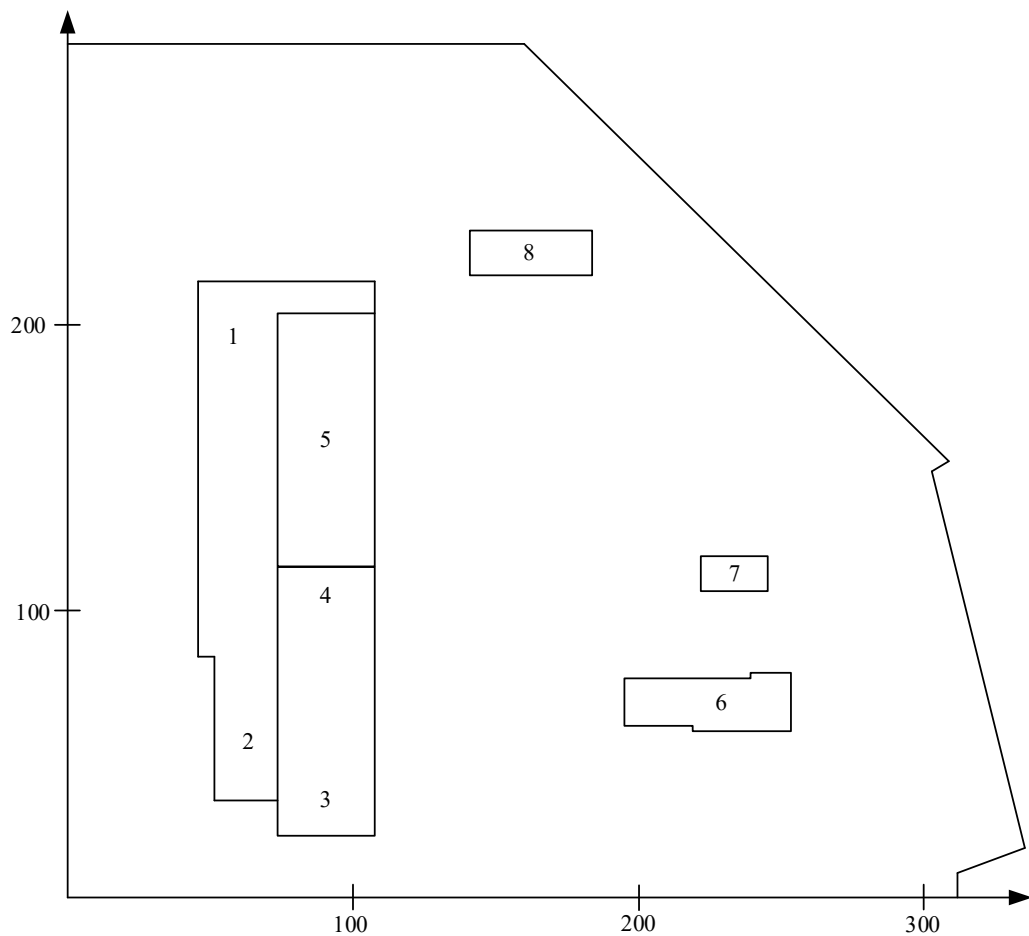


Рисунок А.1 – Генплан підприємства

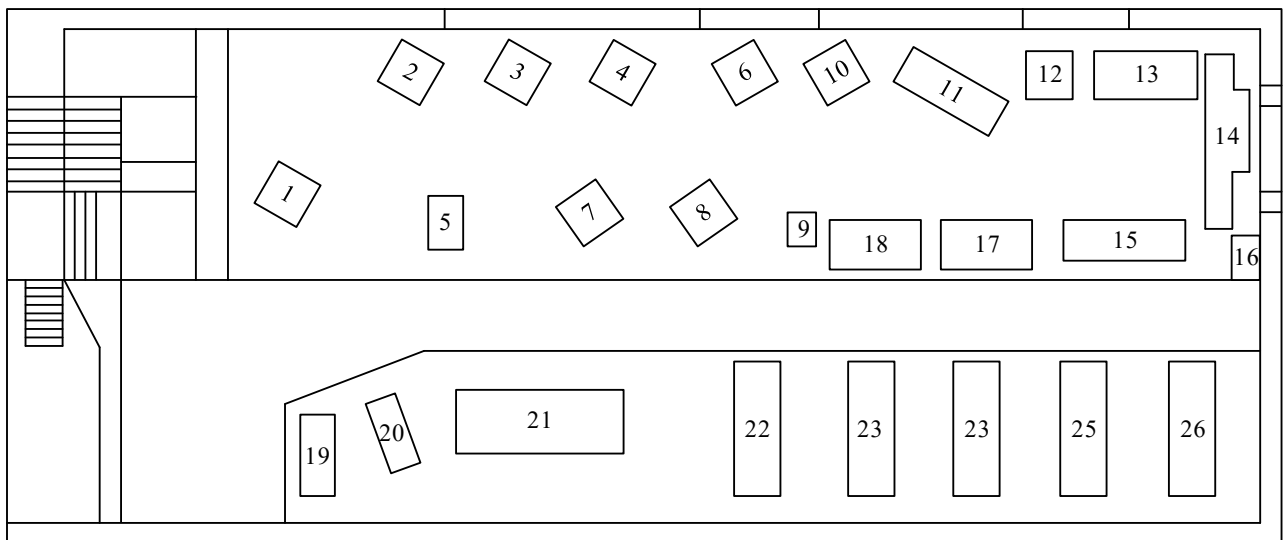


Рисунок А.2 – План виробничого цеху

Таблиця А.2 – Відомості про електричні навантаження цеху

№ на плані	Найменування обладнання	Потужність споживачів цеху, кВт
1–4	Вертикально фрезерний	13
5	Горизонтально-розточувальні верстати	3.8
6–8	Горизонтально-фрезерний	8.5
9	Центровий	3
10	Зубофрезерний	11.5
11	Зубодолбьожний	9
12	Плоскошліфувальний	17
13	Внутрішньошліфувальний	6
14–15	Круглошліфувальний	11
16	Заточувальний	3.5
17–18	Долбьожний	6
19	Консольно-поворотний кран	5
20	Пилка відрізна	3.7
21	Розточувальні	9
22–26	Токарно-гвинторізний	12

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Оцінка ефективності використання сонячних панелей в системі електропостачання

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ЕСЕМ, ФЕЕМ, ЕЕ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 24 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бурбело М. Й., завідувач кафедри ЕСЕМ _____

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ _____

Особа, відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю. В.

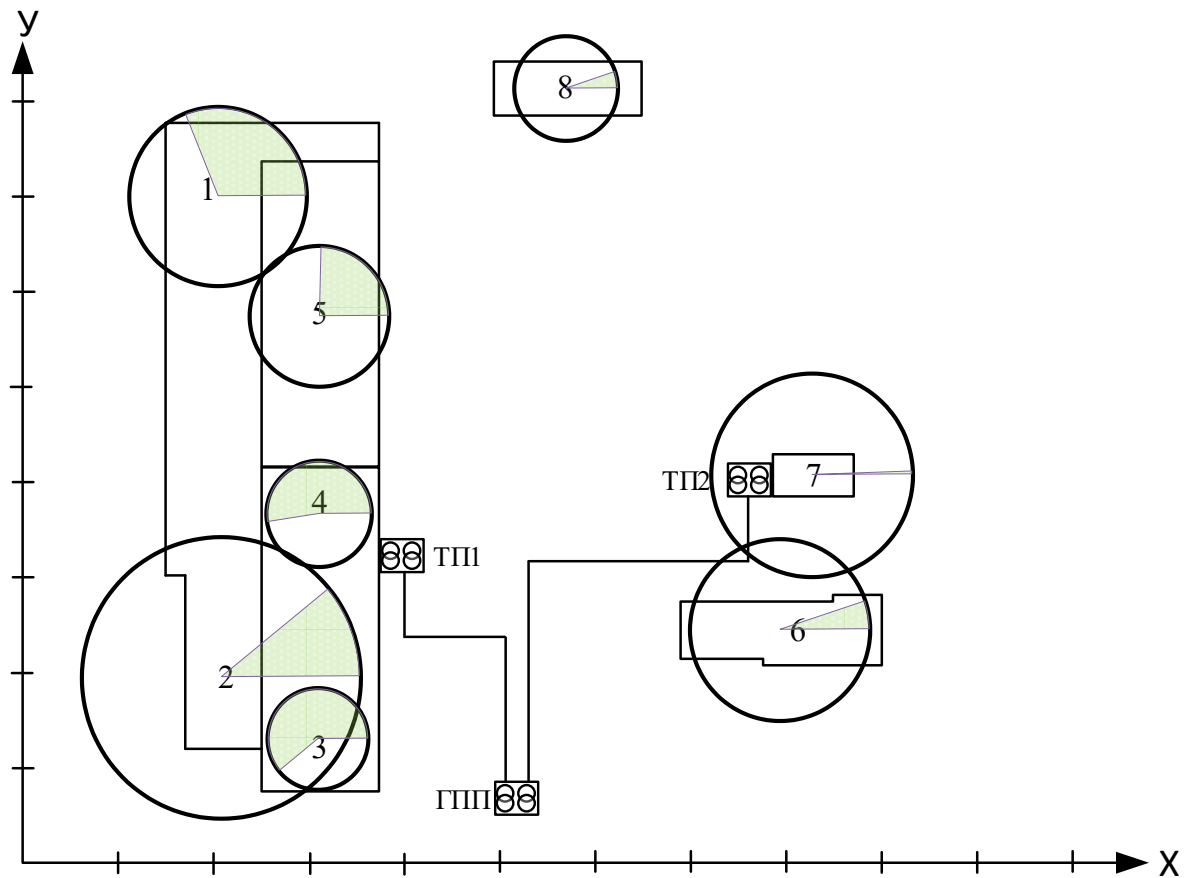
З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Шулє Ю. А.

Здобувач _____ Холод А. І.

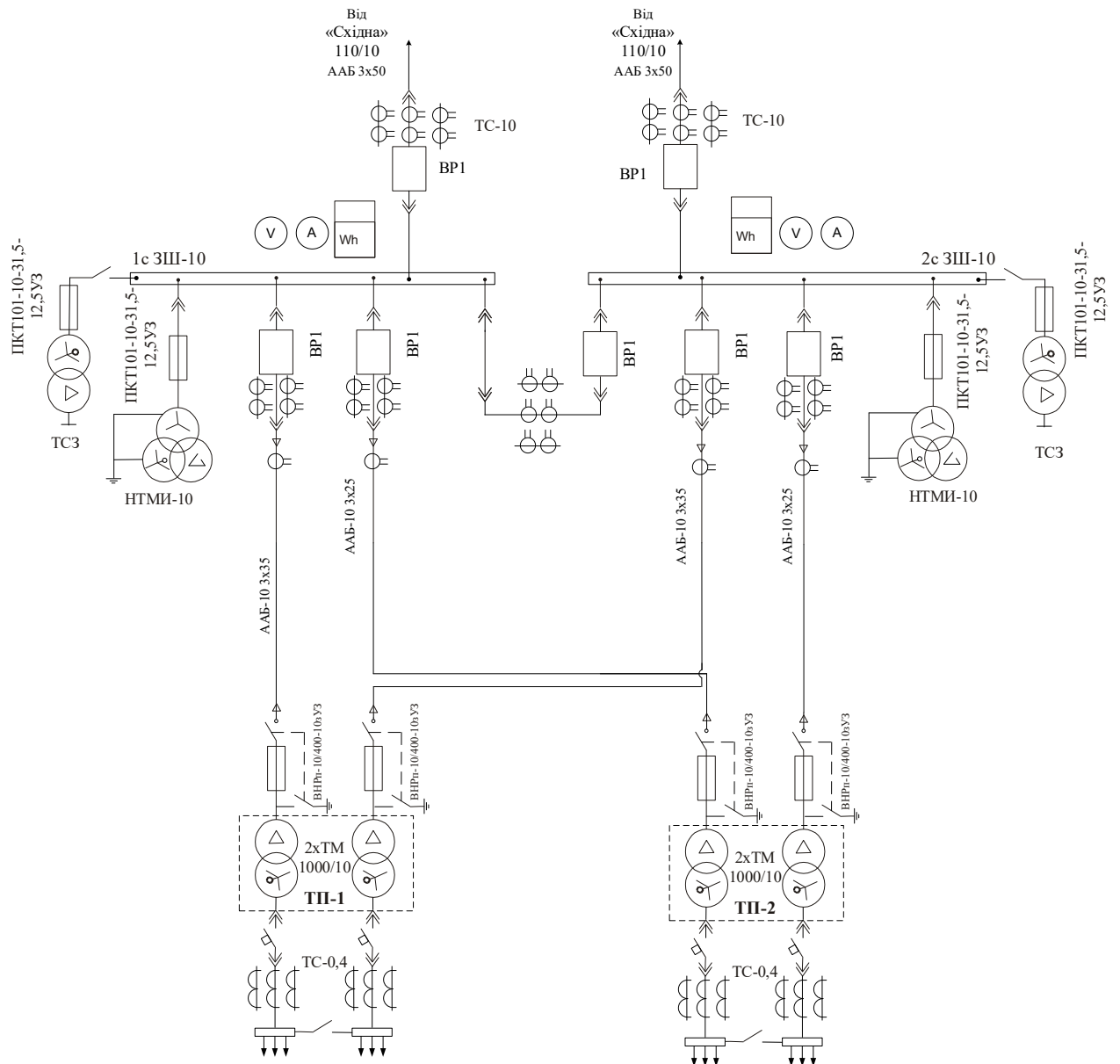
ДОДАТОК В

Картограма електричних навантажень



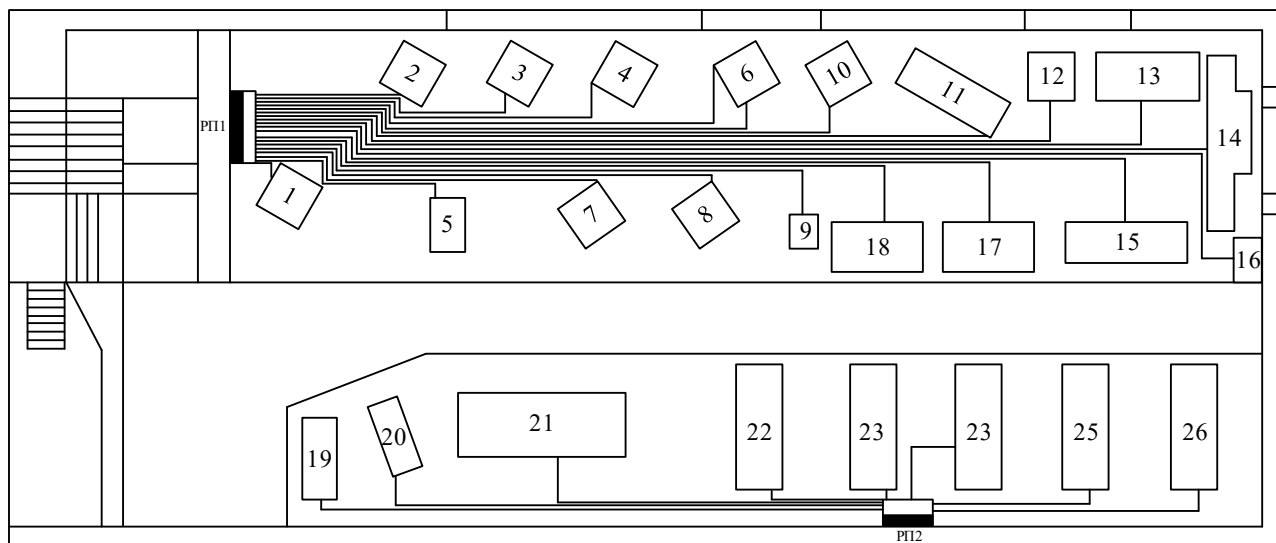
ДОДАТОК Г

Однолінійна схема



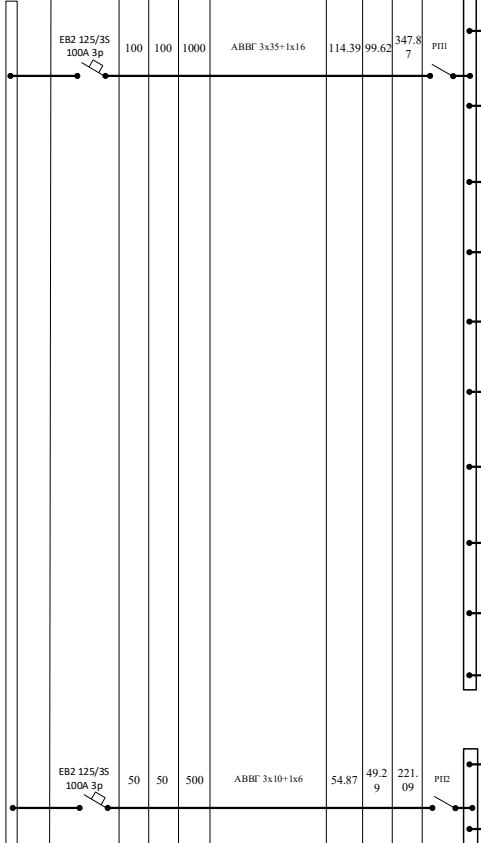
ДОДАТОК Д

План цеху



ДОДАТОК Е

Розрахунково-монтажна таблиця

ТП	Захист				ЖИВЛЯЧА ЛІНІЯ				№ РП	п шт	ЗАХИСТ				ЖИВЛЕННЯ ЛІНІЇ				СПОЖИВАЧІ				НАЗВА ЕП
	Тип вимикача	Iном А	Iном роз А	Iс.в. А	Провід			Тип вимикача			Iном А	Iл.роз А	Iном кА	L, А	Марка кабелю	Iдоп А	Iл А	Iлн А	№ на плані				
					Марка кабелю	Iном А	Iл А													Iлн А			
	EB2 125/35 100А 3р	100	100	1000	АВВГ 3х35+1х16	114.39	99.62	347.87	РП1	4	EB 100/3L 50А 3р	50	50	16	500	АВВГ 16	62.31	42.99	214.94	Вертикально фрезерний			
										1	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	11.56	57.80	Горизонтально-розточувальні верстати			
										3	EB 100/3L 32А 3р	32	32	16	320	АВВГ 6	34.41	26.94	134.68	Горизонтально-фрезерний			
										1	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	7.61	38.03	Центровий			
										1	EB 100/3L 32А 3р	32	32	16	320	АВВГ 6	34.41	26.91	134.56	Зубофрезерний			
										1	EB 100/3L 20А 3р	20	20	16	200	АВВГ 4	26.97	17.11	85.56	Зубодолбюжний			
										1	EB 100/3L 63А 3р	63	63	16	630	АВВГ 25	80.91	51.72	258.59	Плоскошліфувальний			
										1	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	15.21	76.06	Внутрішньошліфувальний			
										3	EB 100/3L 32А 3р	32	32	16	320	АВВГ 6	34.41	27.89	139.44	Круглошліфувальний			
										1	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	10.87	54.33	Заточувальний			
										2	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	14.04	70.21	Долбюжний			
	EB2 125/35 100А 3р	50	50	500	АВВГ 3х10+1х6	54.87	49.29	221.09	РП2	1	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	15.21	30.42	Консольно-поворотний кран			
										2	EB 100/3L 16А 3р	16	16	16	160	АВВГ 2,5	19.53	12.79	63.96	Пилка відрізна			
										1	EB 100/3L 40А 3р	40	32	16	400	АВВГ 6	34.41	31.84	159.19	Розточувальні			
										5	EB 100/3L 40А 3р	40	40	16	400	АВВГ 10	46.53	35.79	178.96	Токарно-гвинторізний			

ДОДАТОК Ж

Перелік обладнання для підключення СЕС

Обладнання	Найменування	Ціна за одиницю
Інвертор мережевий	Huawei SUN2000-100KTL-M2	1010 тис.грн.
Шафа для моніторингу		
Металевий щит	GT-60-60-20-(1 –шт.)	7.826 тис.грн.
Пристрій моніторингу	Huawei Smart Logger 3000a без PLC-(1 –шт.)	23.094 тис.грн.
Лічильник електроенергії	ENA33LCD-(1 –шт.)	12.600 тис.грн.
Трансформатор струму	800/5A 0.5S-(3 –шт.)	550 грн.
Комутаційна колодка	NiK КП25-(1 –шт.)	576 грн.
Розетка на DIN-рейку,	t-2P+Z Schuko P-(2 –шт.)	387,2 грн.
Автоматичний вимикач	ETIMAT 6 2p C 16A-(1 –шт.)	378,4 грн.
DIN-рейка	E.Next 100см	66,56 грн.
Загальна сума		1055939 грн.