

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Розробка системи електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЕ-21Б
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електропостачання та енергозбереження»,
Цимбал І. С. Цимбал І. С.

Керівник: д.т.н., професор кафедри ЕСЕМ
Бурбело М. Й.

« 16 » 06 2025 р.

Рецензент: доцент кафедри ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Немрецький В.В.
« 17 » 06 2025 р.

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

Бурбело М. Й.
« 16 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

« 20 » 03 2025р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Цимбал Ілля Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління».

керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович, д.т.н., проф.,
затверджені наказом по ВНТУ від « _____ 2025 року, № _____

2. Строк подання студентом роботи « _____ 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.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Зміст

Вступ

1 Загальні відомості про підприємство

1.1 Опис технологічного процесу КП "Вінницька транспортна компанія"

2 Розрахунок системи електропостачання

2.1 Вибір схеми та конструктивного виконання цехової мережі

2.1.2 Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

2.1.3 Розрахунок навантажень підприємства

2.2 Вибір та розміщення підстанції

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

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 Аналіз роботи фотоелектричних станцій та функціонування їх елементів

3.1 Особливості експлуатації фотоелектричних станцій в Україні та умови їх ефективної роботи

3.2 Принцип роботи і конструкція основних елементів фотоелектричної станції

3.3 Методи та засоби знаходження деградації фотоелектричних модулів

3.4 Найпоширеніші дефекти фотоелектричних модулів

4 Охорона праці

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

6. Консультанти розділів роботи

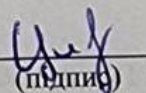
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання «___» _____ 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

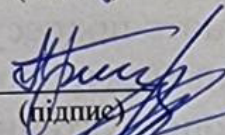
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про підприємство		
2	Розрахунок системи електропостачання		
3	Аналіз роботи фотоелектричних станцій в енергосистемі та функціонування їх елементів		
4	Охорона праці		
5	Графічна частина роботи		

Студент


(підпис)

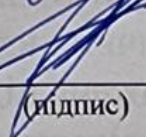
Цимбал І. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи


(підпис)

Бурбело М. Й.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль


(підпис)

Войтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Цимбал Ілля Сергійович. Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Розробка системи електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління». Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 75 с.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено систему електропостачання для комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія», що забезпечує функціонування трамвайного та тролейбусного транспорту міста Вінниця. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення надійності, енергоефективності та безпеки електропостачання для безперебійної роботи громадського транспорту. Проведено аналіз електричних навантажень підприємства, виконано розрахунок і вибір радіальної схеми електропостачання, трансформаторних підстанцій, кабельних ліній та захисної апаратури. Здійснено оцінку струмів короткого замикання та перевірку обладнання на термічну й електродинамічну стійкість. Досліджено можливість інтеграції фотоелектричних в енергосистему, що сприяє зниженню залежності від зовнішніх джерел енергії та підвищенню енергоефективності. Розроблено заходи з охорони праці, електробезпеки, забезпечення мікроклімату, шумозахисту та протипожежної безпеки.

Рисунків – 9

Таблиць – 24

Бібліографій – 34

ABSTRACT

Tsymbal Ilya Serhiyovych. Bachelor's qualification work on the topic: "Development of the power supply system of Vinnytsia tram and trolleybus administration". Specialty 141 - Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. - Department of ESEEM - Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 - 75 p.

In the bachelor's qualification work, a power supply system was developed for the municipal enterprise "Vinnytsia Transport Company", which ensures the functioning of tram and trolleybus transport in the city of Vinnytsia. The relevance of the work is due to the need to increase the reliability, energy efficiency and safety of power supply for the uninterrupted operation of public transport. An analysis of the electrical loads of the enterprise was carried out, the calculation and selection of the radial power supply scheme, transformer substations, cable lines and protective equipment were performed. An assessment of short-circuit currents and a test of the equipment for thermal and electrodynamic stability were carried out. The possibility of integrating photovoltaics into the power system was investigated, which helps reduce dependence on external energy sources and increase energy efficiency. Measures for labor protection, electrical safety, ensuring microclimate, noise protection and fire safety were developed.

Figures – 9

Table – 24

Bibliography – 34

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	9
1.1 Опис технологічного процесу КП "Вінницька транспортна компанія"	10
1.2 Характеристика про споживання електричної енергії споживачів та їх властивості	11
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	14
2.1 Вибір схеми та конструктивного виконання цехової мережі	15
1.2 Розрахунок електричних навантажень цехової мережі.....	16
2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства	20
2.2 Вибір та розміщення підстанції	23
2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення	23
2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення	23
2.3 Розрахунок електропостачання підприємства	32
2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання	32
2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	33
2.3.3 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів.....	35
2.4. Розрахунок електропостачання цеху.....	39
2.4.1 Вибір схеми цехової мережі.....	39
2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі	39
2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В	43
3 АНАЛІЗ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	48
3.1 Особливості експлуатації фотоелектричних станцій в Україні та умови їх ефективної роботи	48
3.2 Принцип роботи та конструкція основних елементів фотоелектричної станції	51
3.3 Методи та засоби знаходження деградації фотоелектричних модулів	57
3.4 Найпоширеніші дефекти фотоелектричних модулів	62

	6
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	64
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	65
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	65
4.1.2 Електробезпека	68
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	69
4.2.1 Мікроклімат	69
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	69
4.2.3 Виробниче освітлення.....	70
4.2.4 Виробничий шум	71
4.2.5 Виробничі вібрації	72
4.3 Пожежна безпека.....	73
ВИСНОВОК.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78
ДОДАТКИ.....	82
ДОДАТОК А	83
ДОДАТОК Б	86
ДОДАТОК В	87
ДОДАТОК Г	88
ДОДАТОК Д.....	89

ВСТУП

Система електропостачання є ключовою складовою забезпечення безперебійного функціонування міського електротранспорту, зокрема трамваїв і тролейбусів, які відіграють важливу роль у транспортній інфраструктурі міста Вінниця. Надійність, енергоефективність і безпека електропостачання безпосередньо впливають на стабільність роботи громадського транспорту, комфорт пасажирів і екологічну ситуацію в місті. В умовах зростаючих вимог до енергозбереження, інтеграції відновлювальних джерел енергії та модернізації електромереж, розробка сучасної системи електропостачання для комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» є актуальним завданням. Особливу увагу в роботі приділено аналізу використання фотоелектричних станцій (ФЕС) як перспективного рішення для підвищення енергоефективності та зменшення залежності від традиційних джерел енергії.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління з урахуванням інтеграції фотоелектричних станцій, що забезпечить надійне, енергоефективне та безпечне живлення електротранспорту і технологічних об'єктів підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- Провести аналіз існуючого стану системи електропостачання підприємства та його електричних навантажень.
- Виконати розрахунок і вибір оптимальної схеми електропостачання, включаючи трансформаторні підстанції, кабельні лінії та захисну апаратуру.
- Дослідити можливість інтеграції фотоелектричних станцій в енергосистему
- Розробити заходи з охорони праці та безпеки, включаючи електробезпеку, мікроклімат, шумозахист і протипожежні заходи.

- Забезпечити відповідність розробленої системи сучасним нормам енергоефективності, безпеки та екологічним стандартам.

Об'єктом дослідження є система електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління, що забезпечує функціонування трамвайного та тролейбусного транспорту міста Вінниці.

Предметом дослідження є електричні навантаження підприємства, параметри роботи фотоелектричних станцій, методи їх інтеграції в енергосистему, а також засоби підвищення надійності, енергоефективності та безпеки системи електропостачання.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

Концепція запровадження трамвайного сполучення у Вінниці зародилася ще в 1898 році. Того часу міська дума Вінниці розглядала пропозицію угоди, подану правлінням акціонерного товариства «Іпполит Романов». Ця організація брала на себе зобов'язання власним коштом спорудити електричну трамвайну колію разом із рухомим складом й усіма необхідними будівлями. Лінія мала пролягати вулицями: Поштовою (тепер Соборна) від Реального училища, через міст над річкою Південний Буг, уздовж Великої Олександрівської вулиці (нині проспект Коцюбинського) до залізничного вокзалу, а також Миколаївською вулицею (зараз Замостянська) до піхотних та артилерійських казарм, із облаштуванням роз'їздів кожні 200 сажнів. Проте цей задум так і не втілювався в життя через фінансову неспроможність акціонерного товариства.

Історія трамваю у Вінниці бере початок із 1913 року, коли сім перших вагонів, виготовлених у Німеччині, розпочали рух міськими вулицями.

У 2003–2004 роках підприємство застосувало сучасні методи ремонту трамвайних колій на центральному мості та вулиці Соборній, замінивши 2,1 км рейок за новітньою чеською технологією з використанням широкоформатних плит і блокових рейок.

Із 2007 по 2010 роки місто отримало приблизно 80 вживаних вагонів із Цюриха, Швейцарія.

Улітку 2008 року стартувало спорудження нової трамвайної гілки, що з'єднає Вишеньку з Барським шосе. Відкриття лінії заплановано на середину 2014 року. Того ж року до складу підприємства приєднався муніципальний автобусний парк, поповнений автобусами моделей ЛАЗ і Богдан.

Із лютого 2014 року КП «Аеропорт Вінниця» увійшло до структури КП «ВТТУ». Оскільки стара назва вже не відповідала новим функціям підприємства, його перейменували на комунальне підприємство «Вінницька транспортна компанія».



Рисунок 1.1 – Тролейбус та трамвай КП «Вінницька транспортна компанія» на вулицях міста

1.1 Опис технологічного процесу КП "Вінницька транспортна компанія"

Комунальне підприємство «Вінницька транспортна компанія» — це велике підприємство, де працює близько 1700 осіб, оснащено сучасним технологічним устаткуванням, базою енергогосподарства, автопарком, службою колій та висококваліфікованими фахівцями.

Безперебійне функціонування трамваїв і тролейбусів на маршрутах забезпечує потужна ремонтна база, яка дозволяє самостійно проводити всі типи ремонтів рухомого складу, опановувати новітні методи відновлення агрегатів, а також виготовляти й реставрувати понад 750 видів запасних деталей. Технічне оснащення КП «ВТК» належить до найкращих серед аналогічних підприємств України.

На підприємстві активно впроваджуються енергозберігаючі технології. У Вінниці вперше в Україні розроблено та встановлено лічильники електроенергії постійного струму на всіх трамваях і частково на тролейбусах, а також

організовано планування витрат енергоресурсів, що дає змогу щомісяця заощаджувати до 60 тис. гривень.

Попри зношеність трамваїв і тролейбусів та брак коштів на їх оновлення, технічний стан рухомого складу підтримується на належному рівні.

1.2 Характеристика про споживання електричної енергії споживачів та їх властивості

Нижче наведено у таблицях і на рисунках подані вхідні дані для розрахунку (таб.1.1, таб.1.2, рис.1.2, рис.1.3).

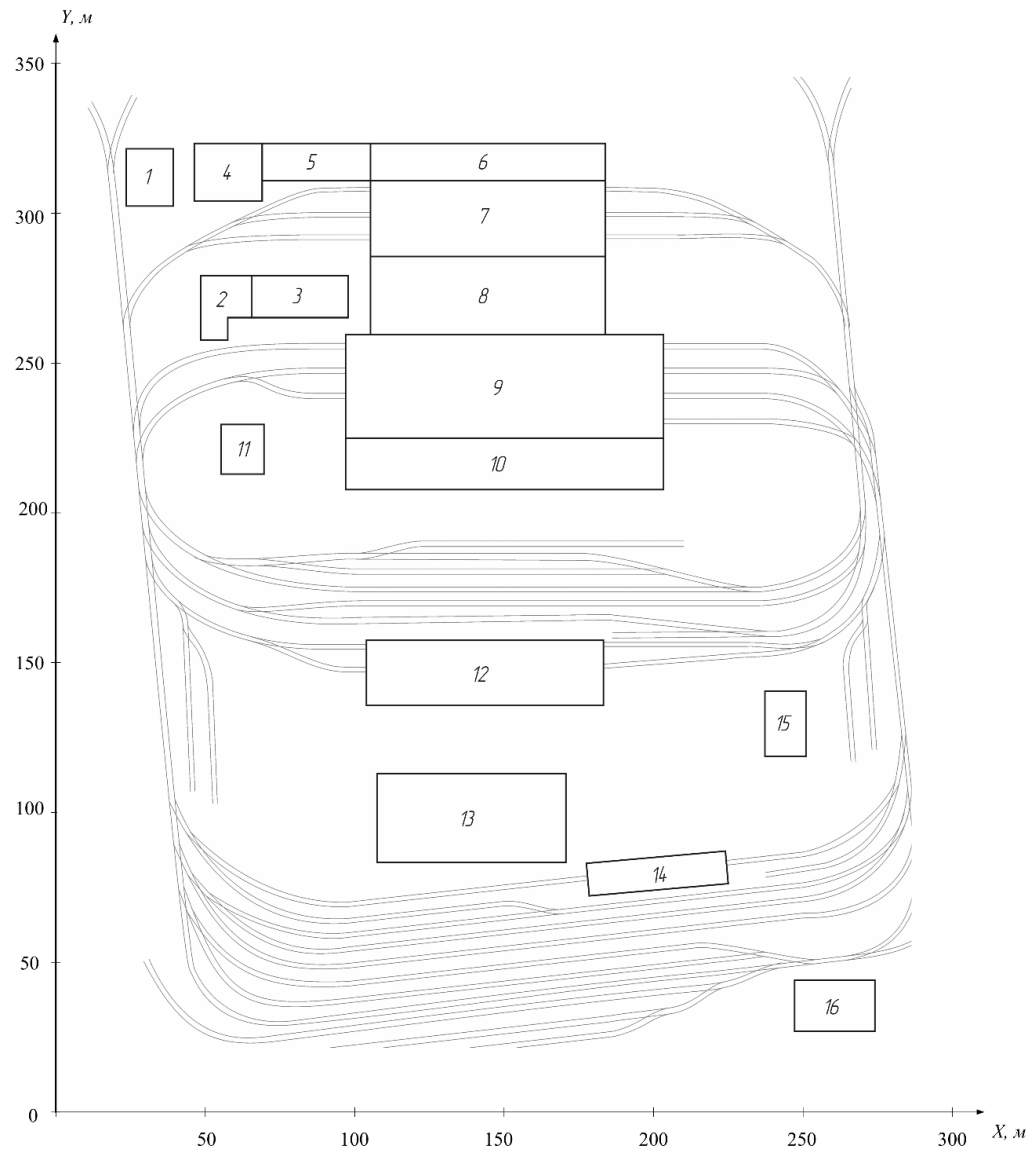


Рисунок 1.2 – Генплан КП «Вінницька транспортна компанія»

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження заводу

№ п/п	Найменування об'єктів	$P_{\text{ном}}$, кВт
1	Продуктовий магазин	3
2	Столярний цех	75
3	Електроцех 1	70
4	Електроцех 2	46,2
5	Побутові приміщення	20
6	Управління ТТУ	72
7	Цех планового ремонту	160,5
8	Механічний цех	220
9	Цех технічного огляду	26
10	Механічна майстерня	143
11	Пилорама	24
12	Ділянка щоденних оглядів	15
13	Склад	3
14	Гараж	1,5
15	Шиномонтажний цех	5
16	Допоміжні будівлі	75

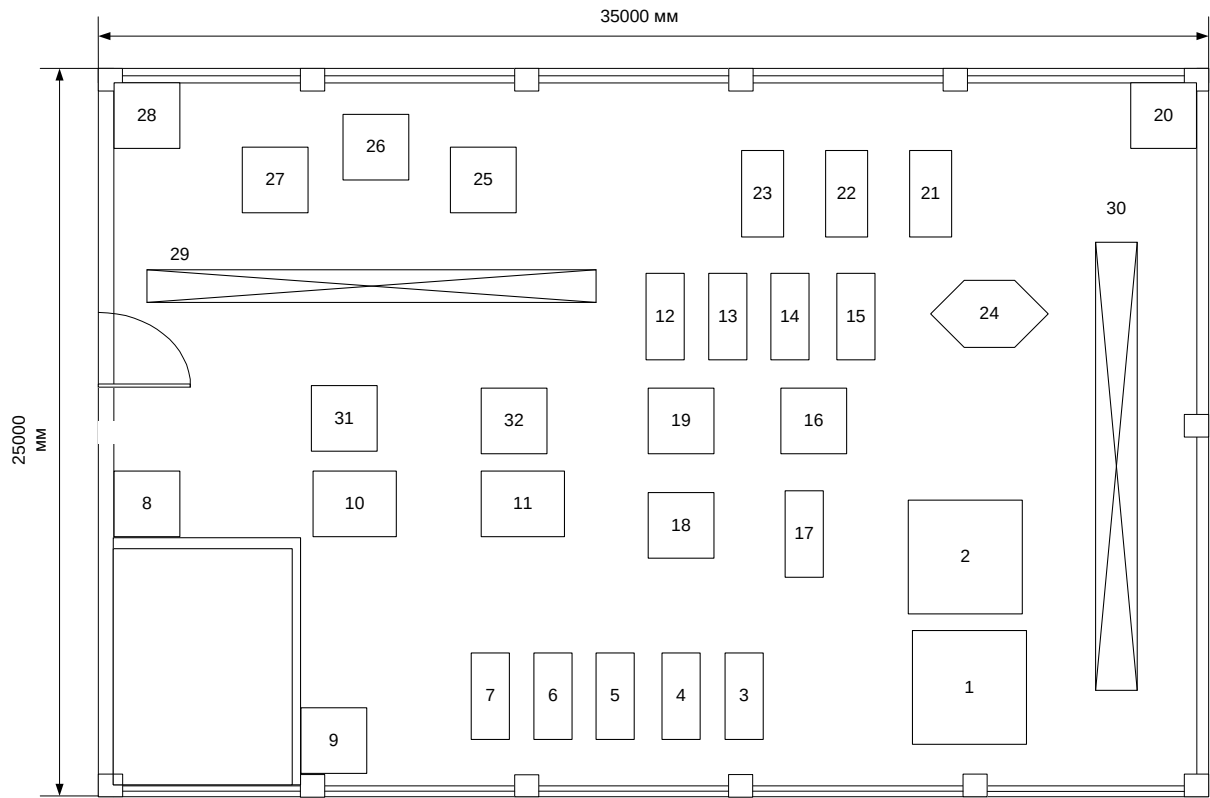


Рисунок 1.3 – План механічної майстерні

Таблиця 1.2 – Відомості про навантаження механічного цеху

Найменування ЕП	P_H , кВт	K_B	$\text{tg}\varphi$
Шліфувальний напівавтомат(1,2)	21	0,12	1,17
Поперечно-стругальний верстат(3-7)	30	0,12	1,17
Універсально-заточувальний верстат(8,9)	13	0,15	1,17
Вертикально-фрезерувальний верстат(10,11)	12	0,15	1,17
Плоскошліфувальний верстат (16,17)	9,8	0,15	1,17
Гальванічна ванна (18,19)	1,7	0,6	2,19
Токарно-гвинторізний (12-15)	4,5	0,17	1,17
Гідравлічний пресс (20)	7	0,14	1,73
Горизонтально-фрезерний (21-23)	3	0,14	1,73
Плоскошліфувальний верстат (24)	28	0,14	1,73
Радіально-свердильний (25-27)	7	0,14	1,73
Вентилятор (28)	10	0,14	1,73
Кран-балка ПВ 25% (29-30)	25	0,14	1,23
Зварювальний автомат точкове (31)	50	0,14	1,23
Зварювальний автомат роликове (32)	30	0,14	1,73

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

При визначенні електричних навантажень у системі електропостачання розрізняють шість типових рівнів (рисунок 2.1), які варіюються залежно від особливостей електроспоживання та, відповідно, методів їх розрахунку.

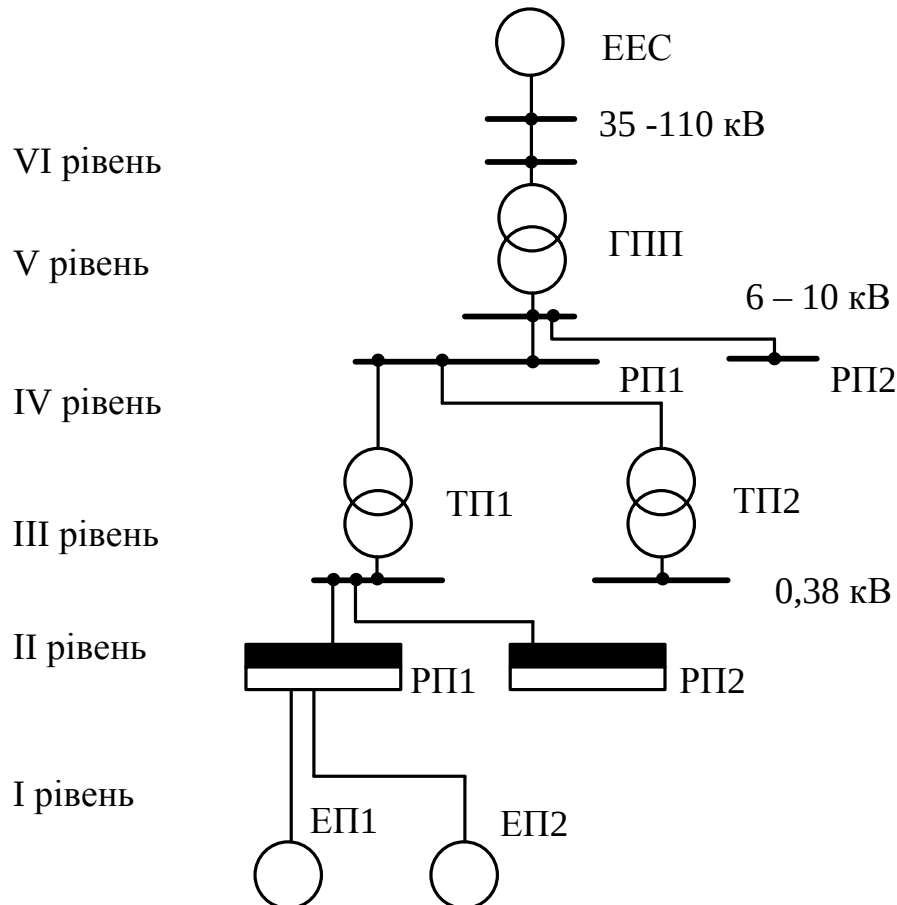


Рисунок 2.1 Рівні електропостачання:

- I – Окремі електроприймачі;
- II – Розподільчі щити, пункти, шинопроводи;
- III – Шини 0,38 кВ ТП;
- IV – Шини РП 10 (6) кВ;
- V – шини ГПП 10 (6) кВ;
- VI – лінії 110 (35) кВ.

Обчислення електричних навантажень здійснюється від нижнього до верхнього рівня у два етапи [1]: спершу встановлюють навантаження окремих

цехів і підприємства загалом, після чого обирають схеми електропостачання та визначають розрахункові навантаження для кожної конкретної лінії електропередачі. Дозволяється спочатку розробити схему цехової мережі, а потім на її основі провести розрахунок електричних навантажень цехової мережі.

2.1 Вибір схеми та конструктивного виконання цехової мережі

Залежно від конфігурації, цехові мережі класифікують на радіальні, магістральні та змішані.

Радіальними називають мережі, де електроенергія до споживача передається окремою лінією. У таких мережах від розподільного щита ТП відходять лінії до щитів станцій керування (ЩСУ), первинних розподільних пунктів (РП) та електроприймачів (ЕП) великої потужності (понад 55 кВт). У свою чергу, від ЩСУ або первинних РП живляться вторинні РП та ЕП середньої потужності (10–55 кВт).

Від вторинних РП забезпечується живлення ЕП малої потужності. У радіальних цехових мережах для ліній електропередачі використовують кабелі. Відгалуження до окремих ЕП можуть виконуватися кабелями або проводами. За відсутності ризику механічних пошкоджень рекомендується відкрите прокладання ізольованих проводів або неброньованих кабелів. У разі наявності такого ризику застосовують броньовані кабелі або захищають проводи від ушкоджень (наприклад, прокладаючи їх у трубах). При розміщенні всередині приміщень броньовані кабелі не повинні мати горючих захисних покриттів поверх броні, а неброньовані — поверх металевих оболонок [2].

Вибір методу прокладання провідників здійснюється відповідно до [2]. Хоча радіальні схеми потребують значних витрат на обладнання та монтаж, вони гарантують високу надійність електропостачання. Тому для вальцювального відділення обираємо радіальну схему живлення. Лінії електропередачі від РП до ЕП виконаємо кабелями, прокладеними на лотках.



Рисунок 2.2 – План електропостачання плановоремонтного цеху

1.2 Розрахунок електричних навантажень цехової мережі

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, що живлять два чи три ЕП (І рівень), встановлюються на рівні їхніх номінальних значень:

$$P_M = P_H, \quad Q_M = P_M \cdot \operatorname{tg} \varphi_H. \quad (2.1)$$

де P_H - номінальна активна потужність ЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_H$ - номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Номінальні значення встановлюють на основі паспортних даних ЕП. Якщо паспортні дані відсутні, використовують $\operatorname{tg} \varphi_H = 0.75$ - для ЕП тривалого режиму роботи та $\operatorname{tg} \varphi_H = 0.87$ - для ЕП повторно-короткочасного.

Для ЕП у повторно-короткочасному режимі номінальну потужність

перераховують на тривалий режим роботи:

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

де $P_{\text{пасп}}$, $T_{\text{ПВ.паса}}$ - паспортні номінальна потужність та відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, кВт, с.

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

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} ; \quad (2.3)$$

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

Для магістральних шинопроводів:

$$\begin{aligned} P_p &= K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} ; \\ Q_p &= K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \cdot \text{tg}\varphi_{Ci} . \end{aligned} \quad (2.5)$$

де K_p - коефіцієнт розрахункового максимуму активної потужності;

$\text{tg}\varphi_C$ - усереднені значення $\text{tg}\varphi$ для даного типу ЕП;

n_e - ефективне число ЕП.

Значення K_p визначається із [1, таблиці 1.1, 1.2].

Середні величини, активна і реактивна потужності:

$$P_C = K_B \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \text{tg}\phi, \quad (2.6)$$

Груповий коефіцієнт використання й ефективна кількість ЕП:

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

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

Розрахункове значення n_e округляється до найближчого меншого цілого числа.

За табл. 1.1 [1] встановлюємо коефіцієнт максимуму $K_p = f(K_B; n_e)$.

Визначаємо розрахункові повну потужності та струм:

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

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

Розрахуємо навантаження для РП1:

$$P_C = 5.04 + 14.40 + 1.00 + 5.32 + 2.34 + 7.00 = 35.10 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 5.90 + 16.85 + 1.00 + 6.22 + 3.11 + 11.90 = 44.98 \text{ (кВар)};$$

$$K_B = \frac{35.10}{242} = 0.15; \quad n_e = \frac{242^2}{5612} \approx 10 \text{ (шт.)}.$$

Із [1, таблиця 1.1] визначаємо $K_p = 1.650$ звідси:

$$P_p = 35.10 \cdot 1.650 = 57.915 \text{ (кВт)}; \quad Q_p = 1.1 \cdot 44.98 = 49.480 \text{ (кВар)};$$

$$S_p = \sqrt{57.915^2 + 49.480^2} = 76.173 \text{ (кВА)};$$

$$I_p = \frac{76.173}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 115.87 \text{ (А)}.$$

Усі обчислення електричних навантажень мережі записуємо до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень цеху

Назва	Силове навантаження														
	n	P _н , кВт	P _{нр} , кВт	K _в	cosφ	tgφ	n·K _в ·P _н	n×K _в ×Q _н	n·P _н ²	pe	K _р	P _р , кВт	Q _р , квар	Sp, ква	I _{ном} , А
Шліфувальний напівавтомат (1,2)	2	21	42	0.12	0.65	1.17	5.04	5.90	882.00		18.00				
Поперечно-стругальний верстат (3-7)	4	30	120	0.12	0.65	1.17	14.40	16.85	3600.00		11.00				
Універсально-заточувальний верстат (8,9)	2	5	10	0.1	0.71	1.00	1.00	1.00	50.00		28.00				
Вертикально-фрезерувальний верстат (10,11)	2	19	38	0.14	0.65	1.17	5.32	6.22	722.00		16.00				
Плоскошліфувальний верстат (16,17)	2	9	18	0.13	0.60	1.33	2.34	3.11	162.00		17.00				
Гальванічна ванна (18,19)	1	14	14	0.5	0.51	1.70	7.00	11.90	196.00		17.00				
РП1	13	98	242	0.15	-	7.54	35.10	44.98	5612.00	10	1.650	57.915	49.480	76.173	115.87
Токарно-гвинторізний (12-15)	4	25	100	0.17	0.65	1.17	17.00	19.89	2500.00		13.00				
Гідравлічний прес (20)	1	7	7	0.12	0.71	1.00	0.84	0.84	49.00		16.00				
Горизонтально-фрезерний (21-23)	3	21	63	0.14	0.65	1.17	8.82	10.32	1323.00		8.00				
Плоскошліфувальний верстат (24)	1	5	5	0.13	0.60	1.33	0.65	0.86	25.00		19.00				
Радіально-свердильний (25-27)	3	13	39	0.14	0.71	1.00	5.46	5.46	507.00		22.00				
Вентилятор (28)	1	3	3	0.06	0.99	0.17	0.18	0.03	9.00		26.00				
Кран-балка ПБ 25% (29-30)	2	6	12	0.13	0.89	0.50	1.56	0.78	72.00		21.00				
Зварювальний автомат точкове (31)	1	10	10	0.14	0.50	1.73	1.40	2.42	100.00		19.00				
Зварювальний автомат роликове (32)	1	5	5	0.14	0.50	1.73	0.70	1.21	25.00		23.00				
РП2	17	95	244	0.15	-	9.8	36.61	41.82	4610	13	1.56	57.112	45.999	73.333	111.55
Всього по цеху	30	193	486	0.15	-	-	71.71	86.80	10222.00	23	1.29	92.506	95.479	132.942	202.22
										T0=2.5год	0.80	57.368	95.479	111.388	169.44

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

Навантаження підприємства загалом визначається сумою навантажень окремих цехів.

Виконаємо розрахунок силового навантаження продуктового магазину.

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

$$P_p = 3 \cdot 0.35 = 1.05 \text{ (кВт)}.$$

де K_{Π} – коефіцієнт попиту;

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

Розрахункова потужність електричного освітлення встановлюється на основі питомої густини освітлювального навантаження на 1 м² корисної площі виробничих будівель [1]. Залежно від типу приміщення, характеру робіт і висоти стелі застосовуємо люмінесцентні лампи, ДРЛ або LED.

Для освітлення першого цеху обираємо ДРЛ:

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

$$P_{мо} = 441 \cdot 0.080 \cdot 0.8 \cdot 1.3 = 36.69 \text{ (кВт)};$$

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

$$Q_{мо} = 36.69 \cdot 0.1 = 3.67 \text{ (кВАр)}.$$

де $Q_{мо}$ – розрахункова реактивна потужність, потрібна для освітлення дільниці, кВАр;

$P_{п.о}$ – питома густина освітлювального навантаження, кВт/м² [1];

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

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

F – площа цеху, визначена за генпланом, м².

Повна розрахункова потужність:

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

де P_{Σ} – сумарна розрахункова активна потужність продуктового магазину:

$$P_M = P_{MC} + P_{MO}; \quad (2.15)$$

$$P_M = 1.05 + 36.69 = 37.74 \text{ (кВт)}.$$

де $Q_{p\Sigma}$ - сумарна розрахункова реактивна потужність продуктового магазину:

$$Q_M = Q_{MC} + Q_{MO}; \quad (2.16)$$

$$Q_M = 1.24 + 3.67 = 4.90 \text{ (кВАр)};$$

$$S_M = \sqrt{67.60^2 + 65.56^2} = 94.17 \text{ (кВА)}.$$

Для інших цехів обчислюємо аналогічно і заносимо результати у таблицю 2.2.

Сумарну розрахункову активну потужність заводу обчислюємо за формулою:

$$P_{\text{мсум}} = K_0 \cdot (P_{M1} + P_{M2} + \dots + P_{Mn}); \quad (1.17)$$

$$P_{\text{мсум}} = 0.95 \cdot (37.74 + 50.39 + \dots + 35.83) = 696.66 \text{ (кВт)}.$$

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

K_0 – одночасності пікових навантажень приймаємо на рівні 0,95, за кількості підключень на стороні 10 кВ $n=2$ та коефіцієнті застосування в установлених межах $0.3 \leq K_B < 0.5$ [1];.

Розрахуємо сумарну реактивну потужність заводу [1]:

$$Q_{\text{мсум}} = K_0 \cdot (Q_{M1} + Q_{M2} + \dots + Q_{Mn}); \quad (1.18)$$

$$Q_{\text{мсум}} = 0.95 \cdot (4.90 + 34.29 + \dots + 27.74) = 466.20 \text{ (кВАр)}.$$

де Q_{MK} - реактивна потужність підприємства, кВАр;

Q_{M3} – реактивна потужність освітлення на підприємства, кВАр.

Розрахуємо сумарне повне навантаження заводу:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{696.66^2 + 466.20^2} = 838.26 \text{ (кВА)}.$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень заводу

№	Назва цеху	Силове навантаження							Освітлювальне навантаження				Сумарне навантаження				
		P _н , кВт	K _п	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , квар	F, м ²	P _{пит.о} кВт/ м ²	K _{посвітл}	K _{пра}	P _{освіт.} кВт	Q _о , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	S _{пит.} кВА/ м ²
1	Продуктовий магазин	3	0.35	0.65	1.17	1.05	1.23	441	0.080	0.80	1.30	36.69	3.67	37.74	4.90	38.06	0.0863
2	Столярний цех	75	0.6	0.8	0.75	45	33.75	576	0.010	0.85	1.10	5.39	0.54	50.39	34.29	60.95	0.1058
3	Електроцех 1	70	0.55	0.85	0.62	38.5	23.86	792	0.011	0.90	1.20	9.41	0.94	47.91	24.80	53.95	0.0681
4	Електроцех 2	46.2	0.55	0.8	0.75	25.41	19.06	294	0.011	0.90	1.10	3.20	0.32	28.61	19.38	34.56	0.1175
5	Побутові приміщення	20	0.8	0.8	0.75	16	12.00	432	0.012	0.85	1.35	5.95	0.59	21.95	12.59	25.31	0.0586
6	Управління ТТУ	72	0.8	0.75	0.88	57.6	50.80	1080	0.012	0.85	1.20	13.22	1.32	70.82	52.12	87.93	0.0814
7	Цех планового ремонту	160.5	0.5	0.85	0.62	80.25	49.73	2340	0.013	0.85	1.20	31.03	3.10	111.28	52.84	123.19	0.0526
8	Механічний цех	220	0.35	0.5	1.73	77	133.37	2970	0.013	0.80	1.10	33.98	3.40	110.98	136.77	176.13	0.0593
9	Цех технічного огляду	26	0.3	0.6	1.33	7.8	10.40	4032	0.012	0.85	1.35	55.52	5.55	63.32	15.95	65.30	0.0162
10	Механічна майстерня	143	0.3	0.5	1.73	42.9	74.30	2016	0.012	0.75	1.10	19.96	2.00	62.86	76.30	98.86	0.0490
11	Пилорама	24	0.6	0.7	1.02	14.4	14.69	252	0.014	0.75	1.10	2.91	0.29	17.31	14.98	22.89	0.0908
12	Ділянка щоденних оглядів	15	0.5	0.65	1.17	7.5	8.77	1620	0.012	0.80	1.35	21.00	2.10	28.50	10.87	30.50	0.0188
13	Склад	3	0.45	0.65	1.17	1.35	1.58	3525	0.011	0.65	1.20	30.24	3.02	31.59	4.60	31.93	0.0091
14	Гараж	1.5	0.3	0.65	1.17	0.45	0.53	810	0.010	0.60	1.20	5.83	0.58	6.28	1.11	6.38	0.0079
15	Шиномонтажний цех	5	0.1	0.55	1.52	0.5	0.76	648	0.012	0.80	1.20	7.46	0.75	7.96	1.51	8.11	0.0125
16	Допоміжні будівлі	75	0.35	0.7	1.02	26.25	26.78	1064	0.010	0.75	1.20	9.58	0.96	35.83	27.74	45.31	0.0426
Усього	15.74				Всього	441.96	461.60	22892.00					29.14	696.66	466.20	838.26	0.0366

2.2 Вибір та розміщення підстанції

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

Вибір номінальної напруги компонентів електричної мережі є техніко-економічним завданням і має здійснюватися разом із підбором схеми електропостачання на основі аналізу можливих варіантів. Під час проєктування для визначення напруги ліній електропередач можна застосовувати формулу Стілла, відповідно до якої:

$$U_{\text{ек}} = 4.34 \cdot \sqrt{L + 16P_M}. \quad (2.17)$$

де P_p – розрахункова активна потужність;

N – кількість ліній електропередачі, шт;

L – довжина лінії, км.

Ця формула використовується для ліній невеликої протяжності (до 250 км) та передачі потужності (до 60 МВт).

При обчисленні напруги за цією формулою отримуємо нестандартне значення. Для наступних розрахунків обираємо стандартні напруги, більшу та меншу відносно розрахованої за формулою Стілла. Подальші обчислення виконуємо для всіх обраних варіантів стандартних напруг.

$$U_{\text{л}} = 4.34 \cdot \sqrt{2 + 16 \cdot 0.696} = 15.74 \text{ (кВ)}.$$

На основі відомих рівнів напруги на районній підстанції та встановленої оптимальної величини нестандартної напруги обираємо для техніко-економічного аналізу два варіанти схеми зовнішнього електропостачання зі стандартними напругами 35 кВ і 10 кВ.

2.2.2 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення

Окрім того, можна використовувати зведені річні витрати

$$ЗВ = d(K - Л) + С. \quad (2.18)$$

Капітальні вкладення K являють собою одноразові затрати на придбання основних та оборотних фондів. Для порівняння варіантів капітальні вкладення, окрім вартості обладнання, мають включати додаткові витрати, такі як транспортування обладнання, будівельні, монтажні та пусконаладжувальні роботи.

У разі реконструкції капітальні вкладення розраховуються за вартістю комірків РП і трансформаторних вузлів, зазначених у додатку А, з урахуванням коефіцієнта 1,1.

Щорічні поточні витрати (собівартість продукції) в електроенергетиці зазвичай складаються з таких компонентів:

$$C = C_{TOP} + C_{\Delta W}. \quad (2.19)$$

де C_{TOP} – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електрообладнання;

$C_{\Delta W}$ – вартість річних втрат електричної енергії.

Затрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання можна оцінити різними способами. Найточніше ці витрати розраховуються за системою TOP ЕО. Відповідно до неї, C_{TOP} охоплює витрати на оплату праці ремонтного й обслуговуючого персоналу, а також на комплектуючі, запасні частини та матеріали, що застосовуються під час обслуговування й ремонтів.

Витрати на заробітну плату встановлюються на основі трудомісткості ремонтних робіт і тарифних ставок персоналу, який займається обслуговуванням та ремонтом.

Затрати на матеріали визначаються пропорційно до витрат на оплату праці персоналу. Система TOP ЕО встановлює періодичність і трудомісткість виконання ремонтів основних типів електрообладнання.

На стадії техніко-економічного обґрунтування варіантів витрати на поточний ремонт і обслуговування можна визначати пропорційно до капітальних вкладень, а саме:

$$C_{TOP} = E_{TOP} \cdot K; \quad (2.20)$$

де $E_{\text{ТОР}}$ – норма витрат на поточний ремонт та обслуговування (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Річні затрати на технічне обслуговування й ремонт електричних мереж.

Напруга, кВ	Норма витрат в процентах від вартості основних фондів	
	ПЛ	ПС
10	3.8	10
35	1.2	35

Вартість втрат електричної енергії розраховують за формулою:

$$C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W. \quad (2.21)$$

де ΔW – кількість втраченої електроенергії;

m_0 – вартість 1кВт · год. електроенергії.

Розрахуємо об'єм втраченої електроенергії за формулою:

$$\Delta W = \Delta P_M \cdot \tau = \Delta P_C \cdot T_P \cdot K_{\phi.P}^2. \quad (2.22)$$

де $\Delta P_M, \Delta P_C$ – відповідно максимальні і середні втрати потужності ;

τ – час максимальних втрат.

Час пікових втрат і річний коефіцієнт форми обчислюються за такими формулами:

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760. \quad (2.23)$$

де T_M – час використання максимального навантаження ($T_M = W/P_M$, тут W – кількість спожитої енергії).

Наближено τ і $K_{\phi.P}^2$ встановлюються залежно від кількості годин використання максимальної потужності T_M і $\text{tg}\phi$ з табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення розрахункових коефіцієнтів τ і $K_{\Phi.p}^2$

Режим роботи	T_M	τ при $\text{tg } \varphi = 0,75$	τ при $\text{tg } \varphi = 0$	$K_{\Phi.p}^2$
1 зміна	1500 – 2000	650 – 920	500 – 700	1.6
2 зміни	2500 – 4000	1250 – 2400	950 – 2050	1.4
3 зміни	4500 – 6000	2900 – 4550	2500 – 4000	1.1
Неперервний	6500 – 8000	5200 – 7500	4500 – 7000	1.05

Проведемо техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання:

1. Живлення напругою 35 кВ (включає встановлення підстанції 35/10 кВ на території підприємства).
2. Живлення напругою 10 кВ (передбачає розміщення підстанції 110/10 кВ на території підприємства).

Результати розрахунків наводимо в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Техніко-економічне порівняння напруги живлення заводу

Характеристика	10 кВ	35 кВ
1	2	3
Тм, год	4500	
Т, год	2886.21	
Втрати в лініях живлення		
ΔР, кВт	1.58	0.18
ΔW, кВт*год	4573.99	531.04
Втрати в трансформаторах ГПП		
ΔРзм, кВт	0.00	619.64
ΔР, кВт	0.00	1.00
ΔW, кВт*год	0.00	1797182.72
Техніко-економічні показники		
Загальні втрати кВт/год	4573.99	1797713.76
Тариф ц, грн/кВт*год	6.5	5.05
Витрати на енергію тис. грн	20377	15832
Річна вартість втрат тис. грн	29.73	9078.45

Характеристика	10 кВ		35 кВ	
1	2		3	
Норми витрат на обслуговування ОФ, %	КЛ	3.8	КЛ	1.2
	ПЛ	3.8	ПЛ	1.2
	ПС	4.3	ПС	2.4
Капіталовкладення в лінії живлення тис. грн	3116		2280	
Капіталовкладення в ГПП тис. грн	3496		5016	
Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, тис. грн	268.736		147.744	
Витрати на амортизацію, тис. грн	293.056		376.656	
Щорічні поточні витрати тис. грн	21629.93		26163.98	

Таким чином, при електропостачанні заводу напругою 10 кВ щорічні поточні витрати складають 21629,93 тис. грн, а при напрузі 35 кВ – 26163,98 тис. грн. Отже, приймаємо рішення організувати живлення заводу напругою 10 кВ із встановленням головної понижувальної підстанції.

2.2.4 Вибір цехових ТП та їх розміщення

Розрахуємо сумарну повну потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться напругою 0.4 кВ:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (2.24)$$

де S_i – повна розрахункова потужність цеха, кВА.

$$S_{\Sigma} = 838.26 \text{ (кВА)}.$$

Розрахуємо загальну площу всіх цехів:

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (2.25)$$

де F_i – площа цеха, м^2 .

$$F_{\Sigma} = 22892 \left(\text{м}^2 \right).$$

Встановимо економічний рівень потужності трансформаторів залежно від щільності навантаження:

$$S_{\text{нум}} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}, \quad (2.26)$$

$$S_{\text{нум}} = \frac{838.26}{22892} = 0.0366 \text{ (кВА/м}^2\text{)}.$$

У [1] рекомендовано за такої питомої потужності застосовувати трансформатори потужністю до 630 кВА.

Оскільки Вінницьке трамвайно-тролейбусне управління належить до II категорії за надійністю електропостачання, розглянемо два варіанти будівництва двотрансформаторних підстанцій із: $S_{\text{ном.ТР}} = 400 \text{ (кВА)}$ та $S_{\text{ном.ТР}} = 630 \text{ (кВА)}$.

Розрахуємо економічне число підстанцій [1]:

$$N_{\text{ек}} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{\text{ном.ТР}} \cdot K_3}, \quad (2.27)$$

де $K_3 = 0.75 \div 0.8$ – коефіцієнтом завантаження трансформаторів двотрансформаторної підстанції за переважання споживачів II та III категорій надійності електропостачання.

Варіант 1: $S_{\text{ек}} = S_{\text{ном.ТР}} = 400 \text{ (кВА)}$.

$$N_{\text{ек}} = \frac{838.26}{2 \cdot 1000 \cdot (0.75 \div 0.8)} = 1.40 \div 1.31 \text{ (шт)}.$$

Необхідно встановити дві трансформаторні підстанції.

Варіант 2: $S_{\text{ек}} = S_{\text{ном.ТР}} = 250 \text{ (кВА)}$.

$$N_{\text{ек}} = \frac{838.26}{2 \cdot 250 \cdot (0.75 \div 0.8)} = 2.24 \div 2.10 \text{ (шт)}.$$

Необхідно встановити три трансформаторні підстанції.

Розподілимо трансформаторні підстанції між цехами та встановимо їхній фактичний коефіцієнт завантаження.

Результати обчислень наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

№ТП	Варіант 1				Варіант 2			
	№ на генплані	Sp, кВА	$S_{ном TP} = 400 \text{ кВА}$		№ на генплані	Sp, кВА	$S_{ном TP} = 250 \text{ кВА}$	
			N, шт	к _з			N, шт	к _з
1	1-7	419.9	2	0.52	1-6	297.0	2	0.59
2	8-16	465.8	2	0.58	7,8	292.1	2	0.58
3					9-16	296.3	2	0.59

У цьому випадку, після порівняння обох варіантів, обираємо варіант №1, оскільки він є економічно вигіднішим.

Для визначення місця розташування ТП створюємо картограму навантажень і встановлюємо центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень розробляємо на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного цеху зображаємо у вигляді кола, площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності [1]:

$$P_p = m_p \cdot \pi \cdot r^2. \quad (2.28)$$

де m_p – масштаб побудови, обирають кратним 1,2,5.

Обираємо масштаб для створення картограми навантажень: задаємо радіус кола навантаження для першого цеху 15,5 м, після чого визначаємо масштаб побудови:

$$m_p = \frac{P_p}{\pi \cdot r^2}. \quad (2.29)$$

де P_p – розрахункова активна потужність цеху, кВт;

r – радіус круга навантаження, м.

Масштаб побудови для продуктового магазину:

$$m_p = \frac{37.74}{3.14 \cdot 15.5^2} = 0.05 \text{ (кВт/м}^2\text{)}.$$

Приймаємо $m_p = 0.05 \text{ кВт/м}^2$.

Радіус круга при даному масштабі:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p1}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.30)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{37.74}{3.14 \cdot 0.05}} = 15.50 \text{ (м)}.$$

Розрахуємо сектор освітлювального навантаження для продуктового магазину[1]:

$$\alpha_1 = \frac{360^0 \cdot P_{mo}}{P_{p1}}; \quad (2.31)$$

$$\alpha_1 = \frac{360^0 \cdot 37.74}{36.69} = 349.98^0.$$

Подібні обчислення для інших цехів узагальнено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Інформація для створення картограми навантажень

№ п.п	Споживачі	Координати		Р _м , кВт	Р _{мо} , кВт	r _к , мм	α _к
		Х _к , м	У _к , м				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Продуктовий магазин	50	325	37.74	36.69	15.50	349.98
2	Столярний цех	115	375	50.39	5.39	17.91	38.48
3	Електроцех 1	140	375	47.91	9.41	17.46	70.70
4	Електроцех 2	120	320	28.61	3.20	13.50	40.28
5	Побутові приміщення	150	325	21.95	5.95	11.82	97.57
6	Управління ТТУ	210	325	70.82	13.22	21.23	67.20
7	Цех планового ремонту	210	305	111.28	31.03	26.62	100.38
8	Механічний цех	210	280	110.98	33.98	26.58	110.22
9	Цех технічного огляду	210	250	63.32	55.52	20.08	315.65
10	Механічна майстерня	210	250	62.86	19.96	20.00	114.30
11	Пилорама	125	220	17.31	2.91	10.50	60.53
12	Ділянка щоденних оглядів	200	145	28.50	21.00	13.47	265.25

№ п.п	Споживачі	Координати		Р _м , кВт	Р _{мо} , кВт	r _к , мм	α _к
		Х _к , м	У _к , м				
1	2	3	4	5	6	7	8
13	Склад	200	80	31.59	30.24	14.18	344.62
14	Гараж	260	65	6.28	5.83	6.32	334.21
15	Шиномонтажний цех	290	125	7.96	7.46	7.12	337.40
16	Допоміжні будівлі	275	30	35.83	9.58	15.10	96.23

Обчислимо координати центру навантажень [1]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p,i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p,i}}; \quad (2.32)$$

$$X = \frac{50 \cdot 37.74 + \dots + 275 \cdot 35.83}{37.74 + \dots + 35.83} = 187.004 \text{ (м)}.$$

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

X_i – координати абсциси і-го цеха, мм.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p,i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p,i}}; \quad (2.33)$$

$$Y = \frac{325 \cdot 37.74 + \dots + 30 \cdot 35.83}{37.74 + \dots + 35.83} = 269.917 \text{ (мм)}.$$

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

Y_i – координати ординати і-го цеха, мм.

Розмістити ГПП прямо в центрі навантажень неможливо. Встановлення ГПП заплановано на території підприємства, ближче до лінії електроживлення. Схему розташування ГПП зображено на рисунку 2.2.

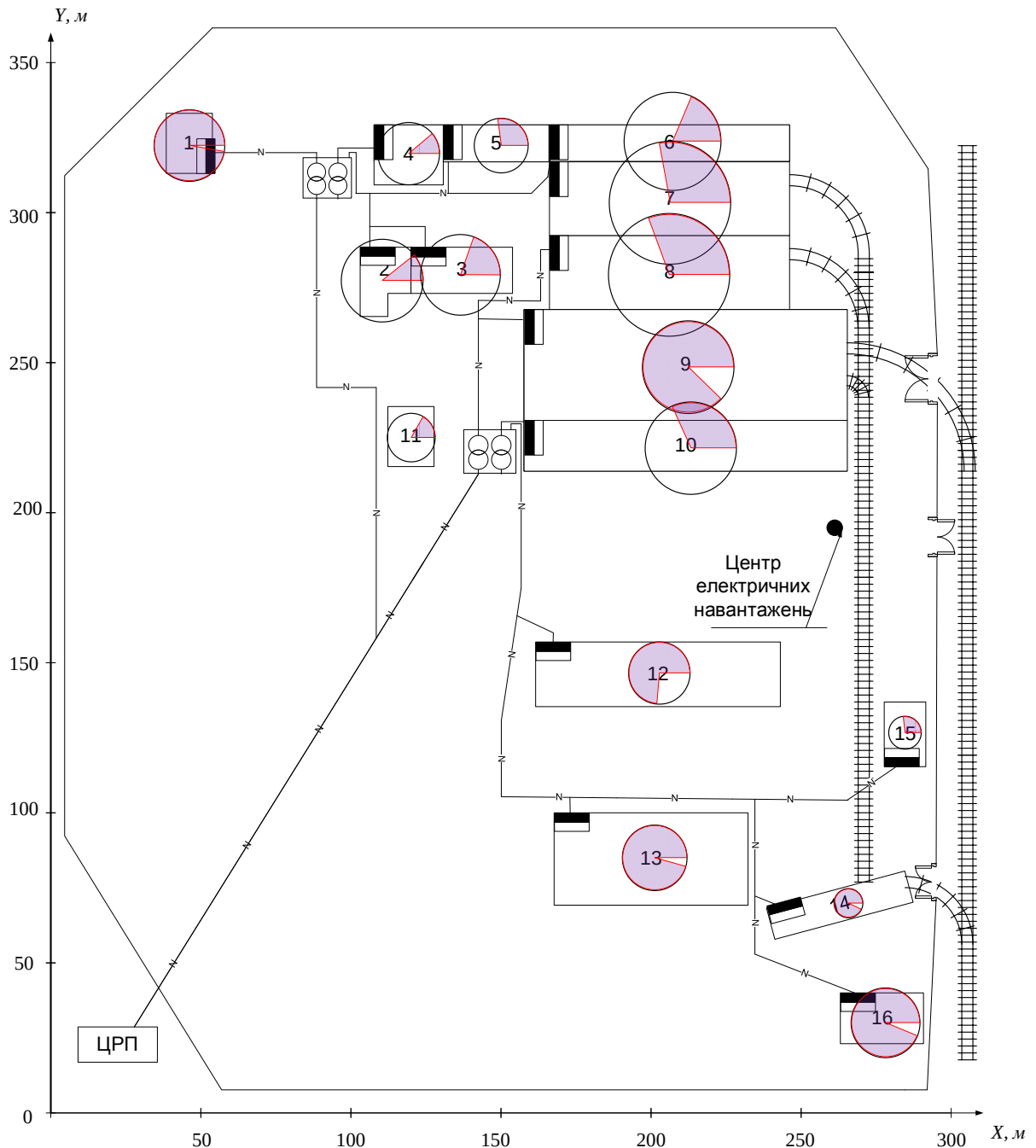


Рисунок 2.2 – Картограма навантажень заводу та електричні мережі заводу

2.3 Розрахунок електропостачання підприємства

2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

Електроживлення забезпечується від підстанції 110/10 «Південна»,

розташованої за 2 км від ВТТУ. Оскільки цехові трансформаторні підстанції розміщені в різних напрямках від ЦРП, обираємо радіальну схему електропостачання з напругою 10 кВ.

На території підприємства встановлюємо ЦРП 10 кВ із двома секціями шин розподілу. Заводські електромережі конструктивно виконані кабелями, прокладеними в траншеях.

2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Заводські електромережі підприємства конструктивно реалізовані за допомогою кабелів, укладених у траншеї.

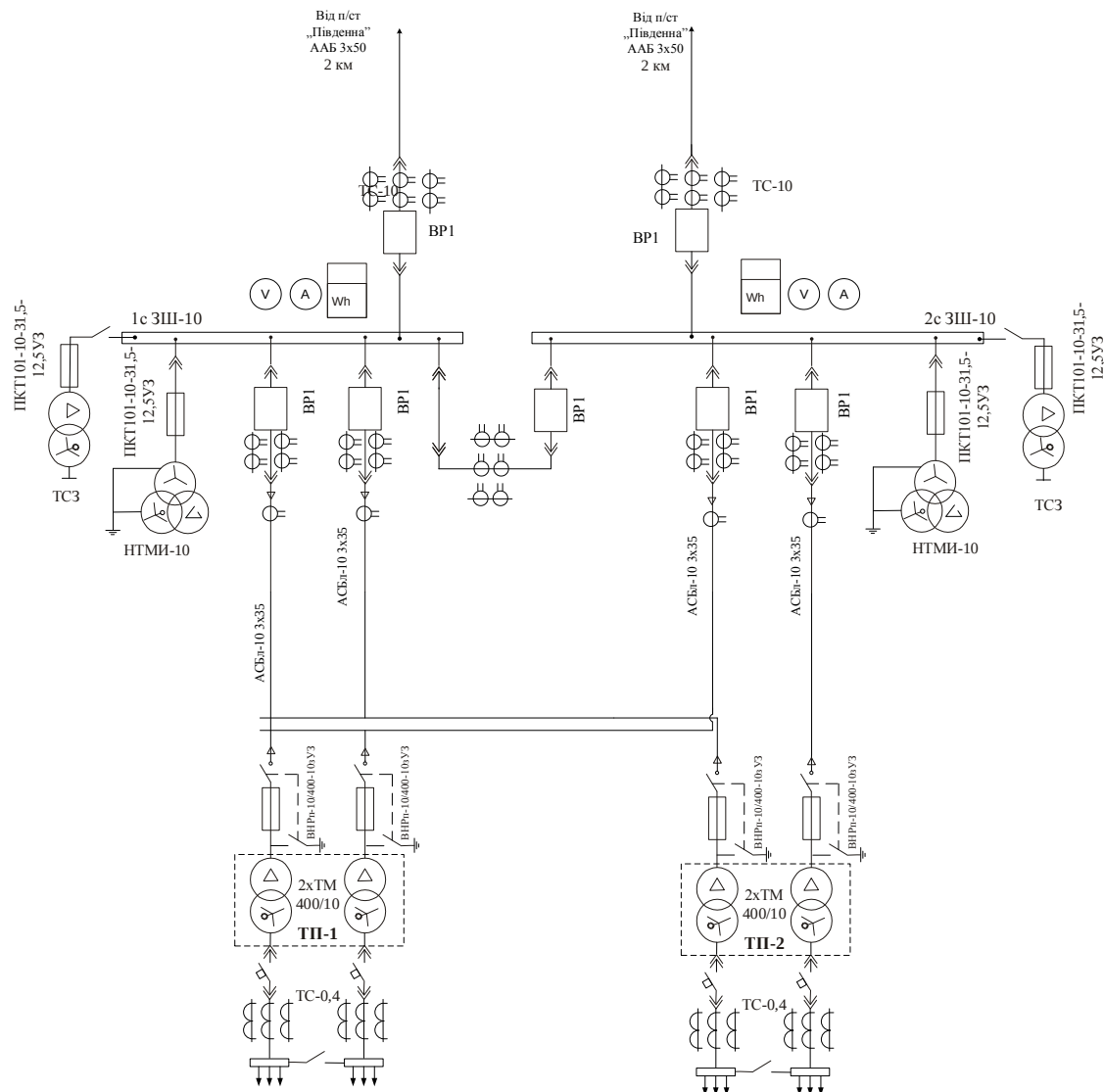


Рисунок 2.3 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

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:

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.34)$$

$$I_M = \frac{838.26}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 24.23 \text{ (А)};$$

$$I_{мна} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.35)$$

$$I_{мна} = \frac{838.26}{\sqrt{3} \cdot 10} = 48.45 \text{ (А)}.$$

Таким чином, лінію живлення реалізуємо кабелем ААБ 3х50, який відповідає вимогам.

Високовольтні вимикачі обираємо за номінальною напругою та розрахунковим струмом, враховуючи післяаварійні режими й можливі нерівномірності розподілу струмів між лініями та секціями шин [1]:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.мережі}; \quad (2.36)$$

$$I_{ном.в} \geq I_{м.ав}. \quad (2.37)$$

Для монтажу на стороні 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі ВР1. Номінальний струм вимикачів. Час власного відключення вимикача становить 0,04 с.

ГПП-ЦТП-1:

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.38)$$

$$I_M = \frac{296.97}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 8.58 \text{ (А)};$$

$$I_{на} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.39)$$

$$I_{na} = \frac{296.97}{\sqrt{3} \cdot 10} = 17.17 \text{ (A)}.$$

Обираємо вакуумний вимикач ВР1. Номінальний струм вимикача $I_{ном.В} = 630 \text{ A} > I_{м.ав}$. Час власного відключення вимикача становить 0,04 с. Для решти приєднань вимикачі підбираємо аналогічно та вносимо до таблиці 2.8.

Вибір кабелів 10 кВ здійснюємо за допустимим струмом [2]:

Визначаємо переріз провідників [2]:

$$I_{na} \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{дон} \quad (2.40)$$

$$17.17 \text{ (A)} \leq 0.87 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 75 = 56.77 \text{ (A)}$$

де k_1 – коефіцієнт коригування за температурою навколишнього середовища;
 k_2 – коригування залежно від теплового опору ґрунту;
 k_3 – коефіцієнт коригування залежно від кількості кабелів, прокладених поруч.

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

Таблиця 2.8 – Вибір вимикачів та кабелів 10 кВ

Лінія	I_m , А	$I_{па}$, А	Вимикач	$I_{ном}$, А	Провідник	S , мм ²	$I_{доп}$, А
ЦТП1	8.58	17.17	ВР1	630	ААБ	3×50	94.61
ЦТП2	8.44	16.89	ВР1	630	ААБ	3×50	94.61

2.3.3 Розрахунок струмів КЗ та перевірка вибраних вимикачів

Розрахунок струмів КЗ виконується з метою перевірки вибраних вимикачів і кабелів. Тому необхідно визначити такі величини: періодичну складову струму трифазного КЗ в початковий момент часу $I_{п0}$, ударний струм КЗ $i_{уд}$, періодичну та аперіодичну складові в момент початку розходження контактів вимикача $I_{пт}$ та $i_{ат}$, тепловий імпульс B_K .

Складаємо схему заміщення (рисунок 2.4).

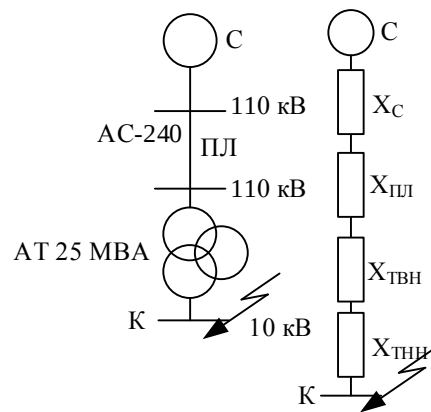


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема і схема заміщення системи електропостачання

Знаходимо номінальний коефіцієнт трансформації:

$$t_T = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{110}{10} = 11; \quad (2.41)$$

Опір системи на стороні напруги 10 кВ:

$$X_c = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot I_K} \cdot \frac{1}{t_T^2} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8000} \cdot \frac{1}{11^2} = 0.066 \text{ (Ом)}. \quad (2.42)$$

Опір ПЛ АС-240 від ПС «Вінниця-330» до ПС «Південна»:

$$X_{ПЛ} = x_0 \cdot L \cdot \left(\frac{U_B}{U_{с.н.ПЛ}} \right)^2 = 0,4 \cdot (2 + 3.06) \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0.017 \text{ (Ом)}.$$

Напруги КЗ обмоток триобмоткового трансформатора визначають за формулами:

$$u_{KB} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-H\%} + u_{KB-C\%} - u_{KC-H\%});$$

$$u_{KC} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-C\%} + u_{KC-H\%} - u_{KB-H\%});$$

$$u_{KH} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-H\%} + u_{KC-H\%} - u_{KB-C\%}).$$

Значення напруг КЗ обмоток триобмоткового трансформатора відповідно будуть:

$$u_{KB} \% = 0,5 \cdot (17 + 10,5 - 6,5) = 10,5 (\%),$$

$$u_{KC} \% = 0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17) = 0 (\%);$$

$$u_{KH} \% = 0,5 \cdot (17 + 6,5 - 10,5) = 6,5 (\%).$$

Опір обмоток високої і низької напруги триобмоткового трансформатора:

$$X_T = \frac{u_{KB\%} + u_{KH\%}}{100} \cdot \frac{U_{H.H}^2}{S_{НОМ.Т}} = \frac{10,5 + 6,5}{100} \cdot \frac{10,5^2}{25} = 0,75 (\text{Ом}),$$

Сумарний опір від системи до точки К:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_{Л} + X_T = 0,066 + 0,017 + 0,75 = 0,83 (\text{Ом}).$$

Початкове діюче значення струму трифазного КЗ:

$$I_{п0} = \frac{U_{с.н}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,83} = 7,3 \text{ кА}.$$

Розрахуємо розрахунковий час початку розмикання:

$$t_{від} = t_{рз.мін} + t_{B.B}; \quad (2.43)$$

$$t_{від} = 0,01 + 0,15 = 0,151 (\text{с}).$$

Постійна часу аперіодичної складової: $T_{ac} = 0,03 (\text{с}).$

Періодична складова струму від системи не зміниться:

$$I_{нт_c} = I_{но.с} = 7,3 (\text{кА}).$$

Аперіодична складова струму КЗ при $\tau = 0,151 \text{ с}:$

$$i_{ат_c} = \sqrt{2} \cdot I_{но.с} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}}; \quad (2.44)$$

$$i_{\text{ат-с}} = \sqrt{2} \cdot 7.307 \cdot e^{\frac{0,151}{0,03}} = 0.067 \text{ (кА)}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{\text{уд.с}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по.с}} \cdot \left(1 + e^{\frac{\tau}{T_{\text{ас}}}} \right); \quad (2.45)$$

$$i_{\text{уд.с}} = \sqrt{2} \cdot 7.307 \cdot \left(1 + e^{\frac{0,01}{0,03}} \right) = 17.739 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{по.с}}^2 \cdot (t_{\text{від}} + T_{\text{асх}}); \quad (2.46)$$

$$B_{\text{к}} = 7.307^2 \cdot (0,151 + 0,03) = 9.665 \text{ (кА}^2\text{с)}.$$

Переріз жил кабелів за термічною стійкістю до дії струмів КЗ:

$$s \geq s_{\text{min}} = \frac{I_{\text{к}} \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_{\text{т}}} \quad (2.47)$$

$$s = 35 \text{ (мм}^2\text{)} \geq s_{\text{min}} = \frac{7.307 \sqrt{0,151}}{100} = 28.395 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (2.48)$$

де $I_{\text{к}}$ – струм КЗ в А; $t_{\text{вим}}$ – сумарний час вимикання струму КЗ, який визначається витримкою часу основного захисту лінії (0,5...2 с), часом спрацювання високовольтного вимикача та відношенням струму КЗ в початковий момент виникнення КЗ до його усталеного значення; $C_{\text{т}}$ – термічний коефіцієнт, $\text{А} \cdot \text{с}^{0,5}/\text{мм}^2$, значення якого становить 90...100 для паперових кабелів і 94 – для кабелів зі зшитого ПЕ.

Високовольтні вимикачі мають проходити перевірку на комутаційну здатність, динамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Перевірку підібраних вимикачів і провідників розглянемо на прикладі вимикача ВР1-10. Дані внесено до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Перевірка вимикача ВР1-10/100

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 20 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 7.3 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.відкл} \geq \sqrt{2}I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2} \cdot I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 20 = 28.3 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 7.3 = 10.324 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 17.739 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 52 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 7.3 \text{ (кА)}$
$B_k = I_{по}^2 t_{по}$	$I_m^2 t_m = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k = 9.665 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$

Даний вимикач виконує всі умови перевірки.

2.4. Розрахунок електропостачання цеху

2.4.1 Вибір схеми цехової мережі

Оскільки радіальні схеми гарантують високу стабільність електропостачання, для цехової мережі обираємо саме радіальну схему, як зображено на рисунку 2.1.

Для комутації на лініях встановлюватимуться автоматичні вимикачі виробництва ЕТІ, моделей ЕВ та ЕВ2, оснащені напівпровідниковими або тепловими й електромагнітними розчіплювачами.

Згідно з вимогами ПУЕ застосовуємо такі методи прокладання кабельних ліній:

- від ТП до РП використаємо кабель із алюмінієвими жилами марки АВВГ, прокладений у ґрунті;
- від РП до ЕП – кабель із алюмінієвими жилами марки АВВГ, розміщений відкрито в коробах та лотках.

2.4.2 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

При підборі автоматичних вимикачів мають бути дотримані такі вимоги:

$$I_{н.розч} \geq K_{відс} \cdot I_p; \quad (2.49)$$

$$I_{с.в} = K_n \cdot I_{п}. \quad (2.50)$$

$$I_{н.ВЛДК} \geq I_{K.max}^{(3)}. \quad (2.51)$$

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

$K_{відс}$ - коефіцієнт відстроювання, який встановлюється для забезпечення надійності захисту від перевантажень, запобігаючи його спрацюванню (або поверненню) під час пуску чи самозапуску;

I_m - розрахунковий струм окремого електроприймача;

K_n - коефіцієнт надійності відстроювання струмової відсічки;

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

$I_{п}$ - піковий (пусковий) струм.

Виберемо автоматичний вимикач для захисту ЕП-1.

Розрахунковий струм ЕП-1:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{ном}}; \quad (2.52)$$

$$I_p = \frac{21}{\sqrt{3} \cdot 0.65 \cdot 0.38} = 49.17 \text{ (A)}.$$

Струм пуску розрахуємо приблизно, залежно від типу приводу:

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_p & \text{— для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2.5 \cdot I_p & \text{— для АД з ФР;} \\ 3 \cdot I_p & \text{— для ДПС та зварювальних Т — рів;} \end{cases} \quad (2.53)$$

$$I_{п} = K_{пуск} \cdot I_p = 5 \cdot 49.17 = 245.83 \text{ (A)}.$$

Для захисту ЕП-1 підбираємо автоматичний вимикач із комбінованим розчіплювачем. Виконаємо розрахунок номінального струму розчіплювача та струму спрацювання відсічки для ЕП-1:

$$I_{н.розчп} \geq I_p; \quad (2.54)$$

$$I_{\text{с.відс}} \geq 245.83 \cdot 2.1 = 516.24 \text{ (A)}.$$

На основі отриманих значень струмів обираємо автоматичний вимикач ЕВ 100/3L 63А 3р із номінальним струмом вимикача 63 А, номінальним струмом розчіплювача 63 А та струмом спрацювання відсічки 630 А.

Подібним чином здійснюємо підбір автоматичних вимикачів для решти споживачів цеху.

Апарати захисту, які забезпечують безпеку РП, монтуються в РУ-0,4 кВ на ТП.

Від ТП до РП1 визначаємо переріз проводу, враховуючи такі умови:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{М}}; \quad (2.55)$$

$$132.99 \geq 115.87 \text{ (A)}.$$

Обираємо кабель АВВГ перерізом 3х50+1х25, при прокладені у землі, допустимий тривалий струм якого складає $I_{\text{доп}} = 132.99 \text{ (A)}$.

Від ТП до ЕП-1 обираємо кабель АВВГ (3х25+1х10). Допустимий тривалий струм складає 80.91 А.

Перевіряємо вибраний кабель за такими умовами:

$$I_{\text{доп}} = 80.91 \geq I_{\text{М}} = 49.17 \text{ (A)};$$

Перевірка

$$I_{\text{доп}} = 80.91 \geq I_{\text{н.розчп}} = 63 \text{ (A)}.$$

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

Обираємо автоматичний вимикач для лінії від ТП до РП.

Розраховуємо за формулою:

$$I_{\text{п}} = I_{\text{р}} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}}; \quad (2.56)$$

де $I_{\text{н.макс}}$ – номінальний струм найбільш потужного ЕП;

$I_{\text{п.макс}}$ – піковий струм найбільш потужного ЕП;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання найбільш потужного ЕП.

$$I_{\Pi} = I_M - K_B \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 115.87 - 0.2 \cdot 70.24 + 351.18 = 453.01 \text{ (A)}.$$

Для захисту лінії ТП до РП обираємо автоматичний вимикач з комбінованим розчіплювачем ЕВ2 125/3Л 125А 3р з номінальним струмом $I_{\text{ном.в}} = 125 \text{ А}$ і номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{н.розч}} = 125 \text{ А}$ та струмом спрацювання відсічки 1250 А.

$$I_{\text{н.розч}} = 125 \geq K_{\text{відс}} \cdot I_M = 115.87 \text{ (A)},$$

$$I_{\text{с.в}} = 1000 \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\Pi} = 2.1 \cdot 453.01 = 951.32 \text{ (A)}.$$

Таблиця 2.10 – Розрахунок комутаційно-захисних пристроїв і провідників для цеху

Найменування ЕП	I_p , А	I_{Π} , А	Тип АВ	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{розч}}$, А	$I_{\text{св}}$, А	Тип ЛЖ	S, мм ²	спос. прок.	$I_{\text{доп}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шліфувальний напівавтомат (1,2)	49.17	245.83	ЕВ 100/3Л 63А 3р	63	63	630	АВВГ	25	відкрито	80.91
Попереочно-стругальний верстат (3-7)	70.24	351.18	ЕВ 100/3Л 80А 3р	80	80	800	АВВГ	25	відкрито	80.91
Універсально-заточувальний верстат (8,9)	10.76	53.78	ЕВ 100/3Л 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
Вертикально-фрезерувальний верстат (10,11)	44.48	222.42	ЕВ 100/3Л 50А 3р	50	50	500	АВВГ	16	відкрито	62.31
лоскошліфувальний верстат (16,17)	22.78	113.90	ЕВ 100/3Л 25А 3р	25	25	250	АВВГ	4	відкрито	26.97
Гальванічна ванна (18,19)	42.00	84.00	ЕВ 100/3Л 50А 3р	50	50	500	АВВГ	16	відкрито	62.31
РП1	115.87	453.01	ЕВ2 125/3Л 125А 3р	125	125	1250	АВВГ	50	в землі	132.99
Токарно-гвинторізний (12-15)	58.53	292.65	ЕВ 100/3Л 63А 3р	63	63	630	АВВГ	25	відкрито	80.91
Гідравлічний прес (20)	15.06	30.12	ЕВ 100/3Л 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
Горизонтально-фрезерний (21-23)	49.17	245.83	ЕВ 100/3Л 63А 3р	63	63	630	АВВГ	25	відкрито	80.91
Плоскошліфувальний верстат (24)	12.66	63.28	ЕВ 100/3Л 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
Радіально-свердлильний (25-27)	27.97	139.83	ЕВ 100/3Л 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
Вентилятор (28)	4.63	23.14	ЕВ 100/3Л 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
Кран-балка ПВ 25% (29-30)	10.20	20.41	ЕВ 100/3Л 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53

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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зварювальний автомат точкове (31)	30.40	60.79	ЕВ 100/3Л 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
Зварювальний автомат роликове (32)	15.20	30.40	ЕВ 100/3Л 16А 3р	16	16	160	АВВГ	2.5	відкрито	19.53
РП2	111.55	392.50	ЕВ2 125/3Л 125А 3р	125	125	1250	АВВГ	50	в землі	132.99

Таблиця 2.11 – Втрати напруги

Найменування ЕП	L	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , В	ΔU , %
Шліфувальний напівавтомат (1,2)	18	1.54	0.072	2.80	0.74
Поперечно-стругальний верстат (3-7)	11	1.54	0.072	3.12	0.82
Універсально-заточувальний верстат (8,9)	28	15.4	0.01	3.50	0.92
Вертикально-фрезерувальний верстат (10,11)	16	2.4	0.084	2.99	0.79
Плоскошліфувальний верстат (16,17)	17	9.61	0.098	3.70	0.97
Гальванічна ванна (18,19)	17	2.4	0.084	3.64	0.96
РП1	30	0.769	0.066	3.49	0.92
Токарно-гвинторізний (12-15)	13	1.54	0.072	3.41	0.90
Гідравлічний прес (20)	16	15.4	0.01	2.91	0.77
Горизонтально-фрезерний (21-23)	8	1.54	0.072	2.70	0.71
Плоскошліфувальний верстат (24)	19	15.4	0.01	3.03	0.80
Радіально-свердильний (25-27)	22	6.41	0.094	4.39	1.16
Вентилятор (28)	26	15.4	0.01	2.40	0.63
Кран-балка ПВ 25% (29-30)	21	15.4	0.01	3.03	0.80
Зварювальний автомат точкове (31)	19	6.41	0.094	3.14	0.83
Зварювальний автомат роликове (32)	23	15.4	0.01	3.49	0.92
РП2	30	0.769	0.066	3.57	0.94

2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Розрахунок струмів короткого замикання виконується для перевірки захисних апаратів на відповідність умовам комутаційної здатності.

Проведемо розрахунок струмів короткого замикання для ділянки, що забезпечує живлення ЕП-1. Складемо розрахункову схему, зображену на рисунку 2.5.

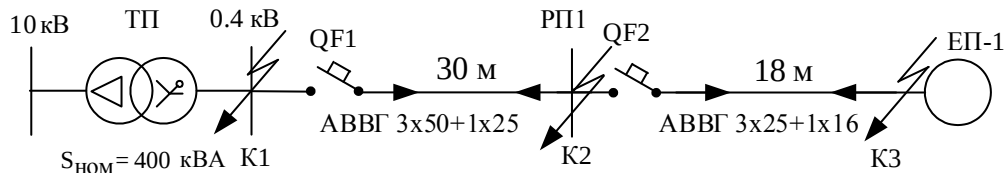


Рисунок 2.5 – Схема електропостачання ЕП-1

Розрахунок опорів приведений до 0.4 кВ

Опір трансформатора:

$$R_T = 5.9 \text{ (мОм)}, \quad X_T = 17 \text{ (мОм)}, \quad Z_T = 54 \text{ (мОм)}; \quad (2.57)$$

Розрахуємо опори ліній Л1, Л2:

$$X = X_{\text{пит}} \cdot L; \quad (2.58)$$

$$X_1 = 0.066 \cdot 30 = 1.98 \text{ (мОм)};$$

$$X_2 = 0.072 \cdot 18 = 1.296 \text{ (мОм)};$$

$$R = R_{\text{пит}} \cdot L; \quad (2.59)$$

$$R_1 = 0.769 \cdot 30 = 23.07 \text{ (мОм)};$$

$$R_2 = 1.54 \cdot 18 = 27.72 \text{ (мОм)}.$$

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

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

Ділянка кола	L, м	R, мОм	X, мОм	Zф-0, мОм
ТМ 400/10/0.4	-	5.9	17	-
Л1	30	23.07	1.98	66.6
Л2	18	27.72	1.296	66.6

Визначимо величину струму при трифазному металічному короткому замиканні за формулою:

- для точки К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{T}}^2 + X_{\text{T}}^2)}}; \quad (2.60)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(5.9^2 + 17^2)}} = 12.802 \text{ (кА)}.$$

- для точки К2

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{T}}^2 + R_{\text{T}}^2) + (X_{\text{T}}^2 + X_1^2)}}; \quad (2.61)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(5.9^2 + 23.07^2) + (17^2 + 1.98^2)}} = 6.651 \text{ (кА)};$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\text{фн}}}{\frac{Z_{\text{T1}}}{3} + Z_{\text{ф01}}}; \quad (2.62)$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{54}{3} + 66.6} = 2.6 \text{ (кА)}.$$

- для точки К3

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{U_{\text{фн}}}{\frac{Z_{\text{T1}}}{3} + Z_{\text{ф01}} + Z_{\text{ф02}}}; \quad (2.63)$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{54}{3} + 66.6 + 66.6} = 1.455 \text{ (кА)}.$$

Перевіримо вибрані вимикачі на комутаційну здатність:

$$I_{\text{н.відк}} > I_{\text{к.мах}}^{(3)}; \quad (2.64)$$

QF1: EB2 125/3L 125A 3р з $I_{\text{cu}}=25$ (кА)

$$I_{\text{cu}} = 25 \text{ (кА)} > I_{\text{к.мах}}^{(3)} = 12.802 \text{ (кА)}.$$

Для точки К1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 100/3L 63A 3р $I_{\text{cu}} = 16$ (кА).

$$I_{\text{cu}} = 16 \text{ (кА)} > I_{\text{к.мах}}^{(3)} = 6.651 \text{ (кА)}.$$

Для точки К2 умова відповідності комутаційної здатності дотримується.

Здійснимо перевірку селективності роботи захисту.

Переконаємося, чи виконується умова:

$$I_{H.ROЗЧ} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}; \quad (2.65)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-РП:

$$I_{H.ROЗЧ} = 125 \text{ (A)} \leq \frac{I_{K2}^{(1)}}{3} = \frac{2600}{3} = 867 \text{ (A)}.$$

Перевіримо чутливість захисту лінії РП- ЕП-1:

$$I_{H.ROЗЧ} = 63 \text{ (A)} \leq \frac{I_{K3}^{(1)}}{3} = \frac{1455}{3} = 485 \text{ (A)}.$$

Умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів дотримані.

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

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1.3..1.5)I_{c.B2}; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t \end{cases}; \quad (2.66)$$

Виконаємо перевірку на селективність для вимикачів, що захищають лінії ТП - РП(вимикач 1), РП - ЕП-1 (дані про вимикачі знаходяться в таблиці 2.10).

$$I_{c.B1} = 125 \text{ (A)} > (1.3..1.5) \cdot 63 = 81.9..94.5 \text{ (A)}.$$

Оскільки вимикачі вищого рівня підібрано з урахуванням селективності, $t_{c.B1} = 0.1 \text{ с}$, то умови селективності по часу теж забезпечується.

Карта селективності захисту.

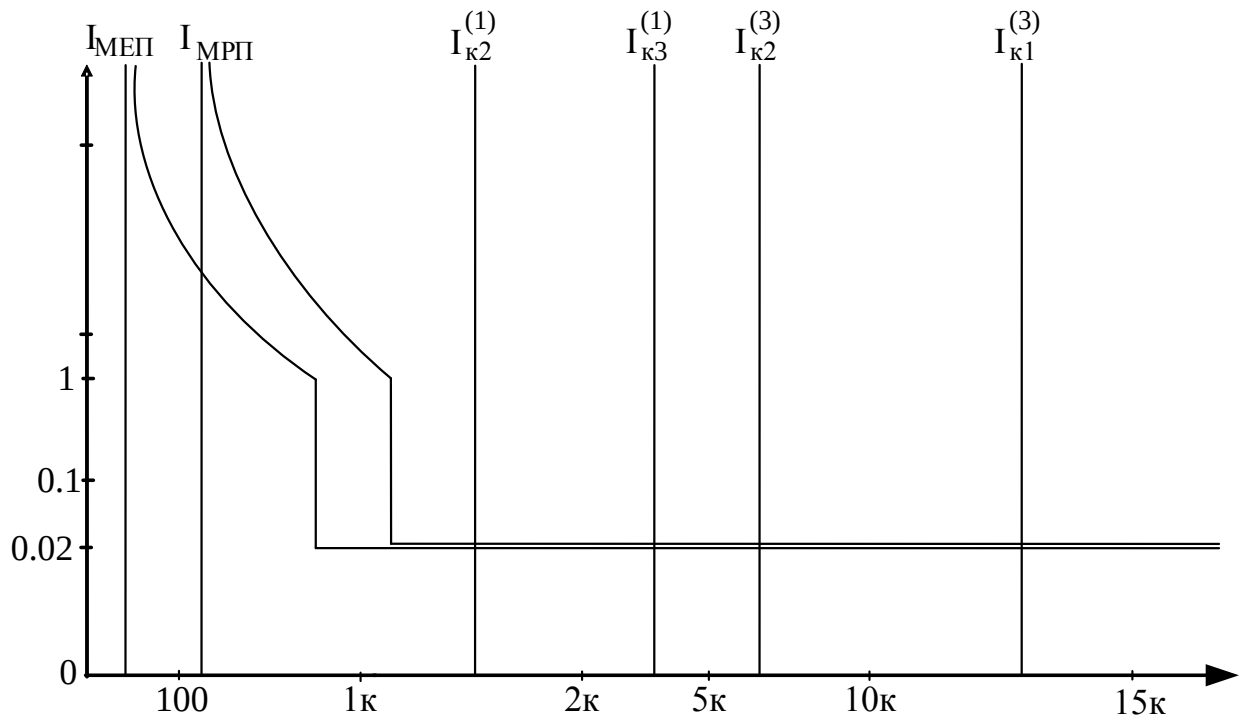


Рисунок 2.6 – Карта селективности захисту

3 АНАЛІЗ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

3.1 Особливості експлуатації фотоелектричних станцій в Україні та умови їх ефективної роботи

У структурі енергетичного балансу розвинених держав зростає частка відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Так, у країнах ЄС у 2021 році 22% електроенергії було вироблено з відновлювальних джерел.

В Україні за той самий період частка електроенергії від ВДЕ склала 8,1%, або 12,8 ТВт·год, причому 56% цього обсягу забезпечили фотоелектричні станції [11]. Розподіл виробництва електроенергії різними типами ВДЕ в Україні у відсотковому вираженні зображено на рисунку 3.1.

**Вироблення електроенергії різними
джерелами ВДЕ в Україні (2021 рік)**

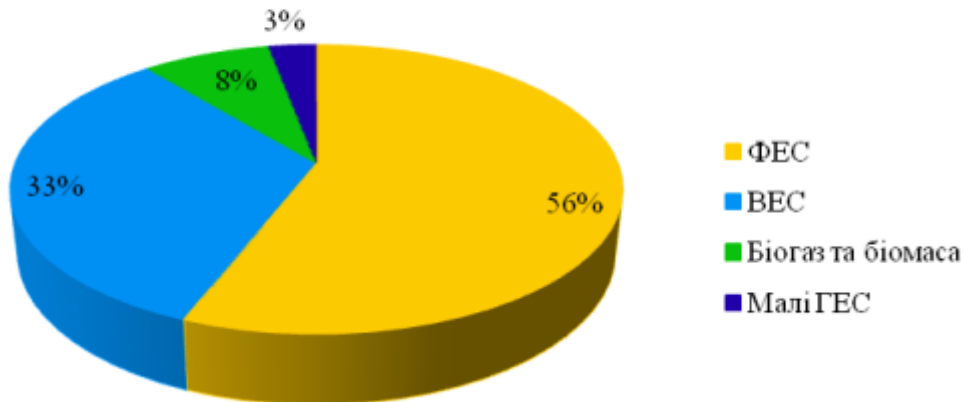


Рисунок 3.1 – Вироблення електроенергії різними джерелами ВДЕ в Україні

Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в електричних мережах, окрім зменшення шкідливого впливу на довкілля та вирішення проблем з відходами виробництва електроенергії, приносить низку переваг. По-перше, це значно підвищує ефективність використання первинних енергоресурсів і в перспективі знижує собівартість електроенергії. По-друге, це зменшує навантаження на магістральні та розподільні електромережі, що

сприяє зниженню ризиків, пов'язаних із коливаннями цін на енергоносії. Однак інтеграція фотоелектричних станцій (ФЕС) створює технічні виклики, пов'язані з організацією, управлінням та розширенням електричних мереж.

Впровадження ФЕС в електромережі дає змогу розробити модель, засновану на ринкових механізмах, яка забезпечує узгодження добового графіка навантаження з генерацією електроенергії ФЕС. Співпраця учасників енергоринку в цій моделі створює взаємовигідні умови для всіх сторін [3].

Для енергопостачальних компаній це приносить такі переваги:

- кращий контроль над комерційними ризиками;
- підвищення стабільності електропостачання;
- удосконалення системи розрахунків.

Таким чином, усі учасники процесу отримують вигоди, беручи участь у моделі розвитку електричних мереж і систем енергозабезпечення.

Для власників ФЕС це відкриває низку нових можливостей, які раніше були недоступні:

- отримання винагороди за участь у програмах управління власним навантаженням і генерацією ВДЕ;
- можливість реалізації надлишкової електроенергії, виробленої відновлювальними джерелами, енергопередавальним організаціям;
- укладання довгострокових угод для резервування певного обсягу електроенергії;
- оптимізація витрат завдяки аналізу експлуатаційних витрат на генерацію та вартості електроенергії, придбаної у енергопостачальної компанії;
- підвищення вартості активів.

Водночас варто зазначити, що широке впровадження фотовольтаїчних станцій спричиняє низку технічних викликів:

- ризик появи надлишкових потужностей, що створює проблеми з регулюванням частоти;
- виникнення реверсивних потоків потужності в розподільних і

високовольтних мережах;

- потреба в забезпеченні стабільності енергосистеми під час відключення чи підключення великої кількості ФЕС;

- ускладнення управління режимами роботи електричних мереж;

- ускладнення в обслуговуванні ліній, де присутні «активні споживачі» та установки відновлювальної енергії;

- поява в структурі електромереж джерел енергії з імовірнісним характером генерації;

- зростання струмів короткого замикання, що може вимагати заміни комутаційного обладнання, коригування налаштувань релейного захисту та протиаварійної автоматики;

- необхідність забезпечення безперебійної роботи об'єктів електропостачання за умов зниженої напруги чи частоти [3].

- труднощі з узгодженням графіків виробництва електроенергії ВДЕ та споживання;

Неправильне розташування ФЕС щодо точок приєднання до електромереж може ускладнювати управління їхніми режимами. Через невдало обране місце встановлення ФЕС можуть виникати перенапруги та проблеми з регулюванням частоти.

Під час експлуатації похибка визначається як різниця між прогнозованим і реально виробленим обсягом електроенергії ВДЕ за годину, добу, місяць тощо. Якщо ця похибка перевищує встановлені межі, гарантований покупець застосовує штрафні санкції. Розмір штрафів залежить від неточності прогнозу генерації електроенергії ВДЕ, а також від похибок у визначенні фактично виробленої енергії.

При аналізі енергоефективності джерел енергії з нерівномірним графіком виробництва, окрім впливу погодних умов, ключову роль відіграє оцінка їхнього технічного стану [16].

Тому розуміння особливостей роботи ФЕС та їхніх основних компонентів

є надзвичайно важливим.

3.2 Принцип роботи і конструкція основних елементів фотоелектричної станції

Сонячна енергія перетворюється на електричну за допомогою фотоперетворювачів — пристроїв, що використовують напівпровідникові сонячні елементи, наприклад, на основі кремнію. Об'єднуючи ці елементи в батареї, створюють потужні фотоелектричні станції.

Для ефективного функціонування сонячних елементів необхідно виконати низку умов:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного напівпровідникового шару повинен бути достатньо високим, щоб забезпечити вбирання значної частки сонячної енергії в межах товщини шару;
- електрони та дірки, що виникають під час опромінення, мають ефективно збиратися на контактних електродах з обох боків активного шару;
- у р-п переході сонячного елемента повинен бути значний потенціальний бар'єр;
- послідовний опір, підключений до сонячного елемента (окрім опору навантаження), має бути мінімальним, щоб зменшити втрати потужності під час роботи;
- структура тонкої плівки сонячного елемента має бути рівномірною по всій активній зоні, щоб уникнути замикань і впливу шунтуючих опорів на його характеристики [6].

Сонячні елементи розрізняють за технологіями виробництва та матеріалами, що застосовуються. Їх класифікують так:

Кремнієві сонячні елементи:

- монокристалічні;

- полікристалічні;
- аморфні;

Плівкові сонячні елементи:

- на основі телуриду кадмію;
- на основі селеніду міді-індію;
- полімерні.

Для створення монокристалічних кремнієвих сонячних елементів використовують високоочищений кремній. Після затвердіння монокристала його нарізають на тонкі пластини завтовшки до 300 мікрометрів.

Зовнішній вигляд монокристалічного кремнієвого сонячного елемента зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Монокристалічний кремнієвий сонячний елемент панелі

Готові пластини з'єднують тонкою мережею електродів, формуючи батареї. Сонячні панелі, зібрані з цих елементів, нагадують силіконові стільники чи осередки, об'єднані в єдину конструкцію. Коефіцієнт корисної дії таких батарей може сягати 24% [18]. Виробництво цих панелей є технологічно складним і витратним процесом.

Середня площа, необхідна для системи потужністю 1 кВт на базі монокристалічних панелей, становить близько 7 м². Такі системи мають

широкий спектр застосування: від невеликих котеджів і туристичних комплексів до потужних фотоелектричних станцій мегаватного класу [6].

Зазвичай монокристалічні модулі встановлюють в алюмінієву раму та захищають міцним протиударним склом. Колір таких фотоелементів зазвичай темно-синій або чорний. Зовнішній вигляд панелі зображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Фотоелектрична панель із монокристалічних кремнієвих сонячних елементів

Полікристалічні сонячні елементи створюють на основі полікристалічного кремнію, отриманого методом спрямованої кристалізації з повільним охолодженням, після чого його розрізають на пластини. Система потужністю 1 кВт, виготовлена з полікристалічних панелей, у середньому займає площу 8,3 м².

Вартість таких панелей значно нижча порівняно з монокристалічними. До того ж їхнє виробництво потребує менше енергії, що додатково знижує собівартість. Проте коефіцієнт корисної дії цих батарей становить до 18%, що нижче через дефекти в структурі полікристалів, які зменшують їхню ефективність [6].

Зовнішній вигляд полікристалічного кремнієвого сонячного елемента зображено на рисунку 3.4, а панелі — на рисунку 3.5.

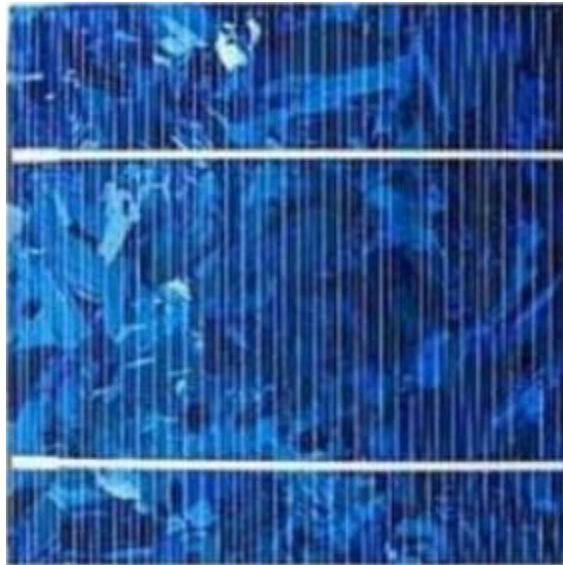


Рисунок 3.4 – Полікристалічний кремнієвий сонячний елемент панелі



Рисунок 3.5 – Фотоелектрична панель з полікристалічних кремнієвих сонячних елементів

Сонячні елементи панелі з аморфного кремнію можна класифікувати як кремнієві за матеріалом (використовується кремній) і як плівкові за технологією виробництва, хоча вони мають суттєві відмінності від типових плівкових батарей [6].

У процесі виготовлення застосовується не кристалічний кремній, а силан (кремневодень), який наносять на підкладку всередині сонячних батарей.

Коефіцієнт корисної дії таких аморфних батарей значно нижчий — від 5% до 12% (з теоретичним максимумом 16%).

Проте ці елементи мають низку переваг:

- значно краще поглинання світла (у 20 разів ефективніше);
- вища продуктивність за умов розсіяного освітлення, наприклад, у похмурі дні;
- гнучкість і еластичність панелей.

Зовнішній вигляд сонячного елемента та панелі з аморфного кремнію зображено на рисунках 3.6 і 3.7 відповідно.

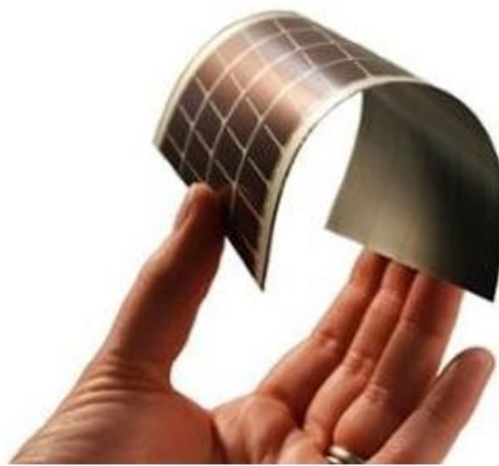


Рисунок 3.6 – Сонячний елемент панелі з аморфного кремнію



Рисунок 3.7 – Фотоелектрична панель з аморфного кремнію

Схеми фотоелектричних станцій складаються з чотирьох ключових компонентів:

- фотоелектричні модулі;
- контролер заряджання;
- акумуляторні батареї;
- інвертор для підключення до мережі [8].

Принцип функціонування фотоелектричної станції зображено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Принцип роботи фотоелектричної станції з мережею

Фотоелектричні модулі перетворюють енергію сонячного світла на електричний струм завдяки фотоефекту.

Контролер заряджання відповідає за моніторинг рівня вироблення енергії та керування режимами роботи акумулятора.

Акумулятори забезпечують накопичення енергії для її використання в періоди, коли сонячні панелі не генерують електроенергію, наприклад, уночі [8].

Інвертор конвертує постійний струм, отриманий від панелей, у змінний [16].

Ключовим компонентом ФЕС є фотоелектричний модуль, що складається з набору з'єднаних між собою напівпровідникових фотоелектричних елементів. Ці панелі працюють, перетворюючи сонячне випромінювання в електроенергію. Процес запускається через збудження електронів у кремнієвих

осередках під дією фотонів сонячного світла.

3.3 Методи та засоби знаходження деградації фотоелектричних модулів

Проведено аналіз дослідження, яке стосувалося ФЕС в Україні та фотоелектричної станції, розташованої на даху електротехнічного факультету Західно-Чеського університету (Чеська Республіка). Ця станція була введена в експлуатацію у 2005 році й налічує 192 панелі (Рисунок 3.9). Усі електричні та неелектричні параметри вимірюються з інтервалом 10 хвилин. Панелі встановлено під кутом нахилу 45° . Плановий тепловізійний контроль кожної панелі проводиться раз на рік.



Рисунок 3.9 – Досліджувана ФЕС в ЧР зовні

Одним із ключових компонентів ФЕС є інвертор. Його ефективність, як правило, дуже висока завдяки конструкції, що базується на силовій електроніці. Проте продуктивність інвертора залежить від рівня навантаження, а найкращі результати досягаються за максимальної потужності фотоелектричної системи. Довготривалі спостереження вказують, що інвертор зберігає безвідмовну роботу приблизно протягом 8 років. Тому важливо регулярно перевіряти, ремонтувати або замінювати інвертори. Заявлений термін експлуатації ФЕС становить 15–20 років, тоді як інвертор має коротший термін служби. Найпоширеніші несправності включають поломки запобіжників та проблеми з

мережею через недостатню якість грозозахисту.

У розподільній коробці розміщені клеми для підключення та запобіжники. З'єднувальна коробка PV-масиву повинна відповідати класу захисту II та мати чітко відокремлені позитивну й негативну сторони всередині корпусу. Якщо коробка встановлена на відкритому повітрі, вона має забезпечувати захист рівня IP 54 і стійкість до ультрафіолетового випромінювання. Запобіжники відгалуження захищають лінію від перевантажень у разі несправностей і мають бути придатними для роботи як із постійним, так і зі змінним струмом. Розподільний щит розташований в одному приміщенні з інверторами.

Розподільний щит містить електрообладнання для захисту, вимірювання, керування електроустановками та обліку електроенергії. Інші кабельні з'єднання, наприклад, із вторинними шафами чи розетками, також розміщені в розподільному щиті або підключені до нього. Щити виготовляються з пластику або листової сталі. У даному випадку розподільна шафа має ступінь захисту IP20, але для зовнішнього використання чи вологих приміщень потрібен ступінь захисту IP67. Розподільний щит забезпечує підключення обладнання до локальної мережі. Кабелі від фотоелектричної системи приєднуються до розподільної коробки. Електричне підключення через розподільну коробку відповідає технічним умовам, вимогам до підключення до мережі та чинним стандартам. Кабелі, що з'єднують сонячні модулі з розподільною коробкою або інвертором, прокладені так, щоб уникнути коротких замикань між собою чи на землю. Вони розміщені в екранованій конструкції. Для зовнішніх кабелів використано матеріали, стійкі до високих температур і ультрафіолетового випромінювання. Станція спроектована для мінімізації довжини ліній. Лінія змінного струму з'єднує інвертор із низьковольтною мережею через лічильник електроенергії та захисні пристрої. У системі застосовуються Cu-кабелі типу СУКУ для високострумівих з'єднань і FTP-кабелі типу 4x2x0,5 для слабкострумівих з'єднань і передачі даних. Зовнішні кабелі прокладені на

металевій кріпильній конструкції фотоелектричних панелей у кабельних лотках типу MARS. Усередині будівлі кабелі розміщені в підвісних стелях, під штукатуркою або в ПВХ-смугах. Проте з часом спостерігається пошкодження кабелів.

ФЕС обладнана вимірювальними приладами, які забезпечують збір даних у реальному часі: метеорологічні параметри, глобальне сонячне опромінення, температура фотоелектричних модулів, постійна та змінна напруга і струм, вихідна потужність (P , Q , S), коефіцієнт потужності, фазовий дисбаланс, гармонійні спотворення (U , I). Усі дані автоматично зберігаються у файлах єдиного формату, придатного для обробки та відображення на пристроях внутрішньої мережі університету. Перший вихідний інтерфейс підключений до комп'ютера, другий — до блоку відображення, де вимірювальна енергія множиться на кількість частин фотоелектричних модулів ($8x$) і відображає миттєву потужність, добову енергію та зменшення викидів CO_2 .

На основі досвіду експлуатації ФЕС в Україні та Чехії [17] створено дерево пошкоджень для фотоелектричних модулів (Рис. 3.10).

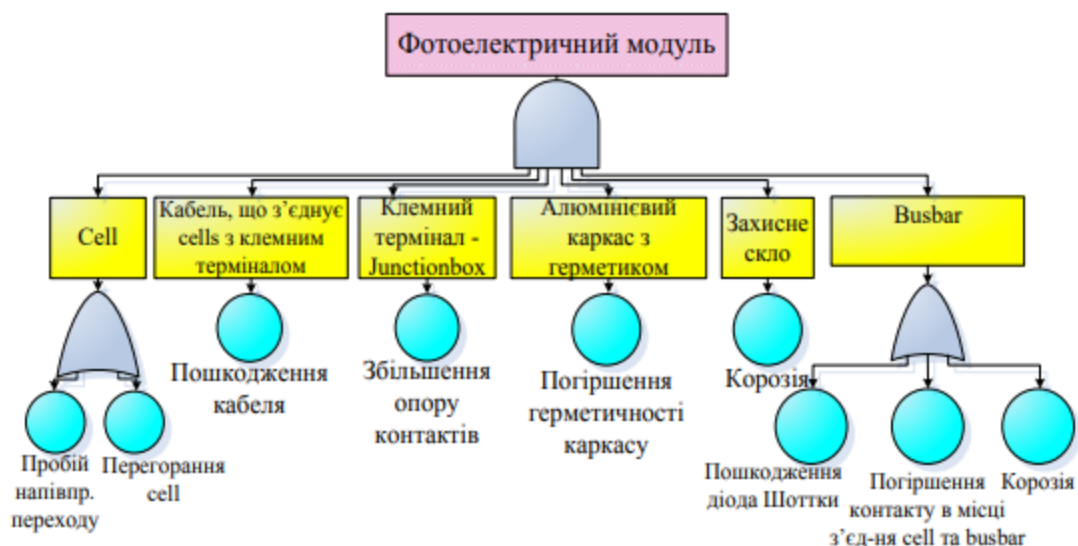


Рисунок 3.10 – Дерево пошкоджень фотоелектричного модуля

Спочатку з 2004 року щорічно досліджуються всі 192 фотоелектричні панелі. Для початкової діагностики фотоелектричних модулів (ФЕМ) застосовувалася тепловізійна камера Flir Tk 355. Під час ретельної перевірки

було виявлено два несправних модулі. При подальших тестуваннях до 2018 року ознак прогресуючого погіршення стану не зафіксовано. Термографічний знімок першої несправної панелі (№ 84) за 2013 рік представлено на ілюстрації. Дефектний модуль розташовано у стрінгу № 4.

Термографічні зображення за період 2014–2018 років залишалися без змін.

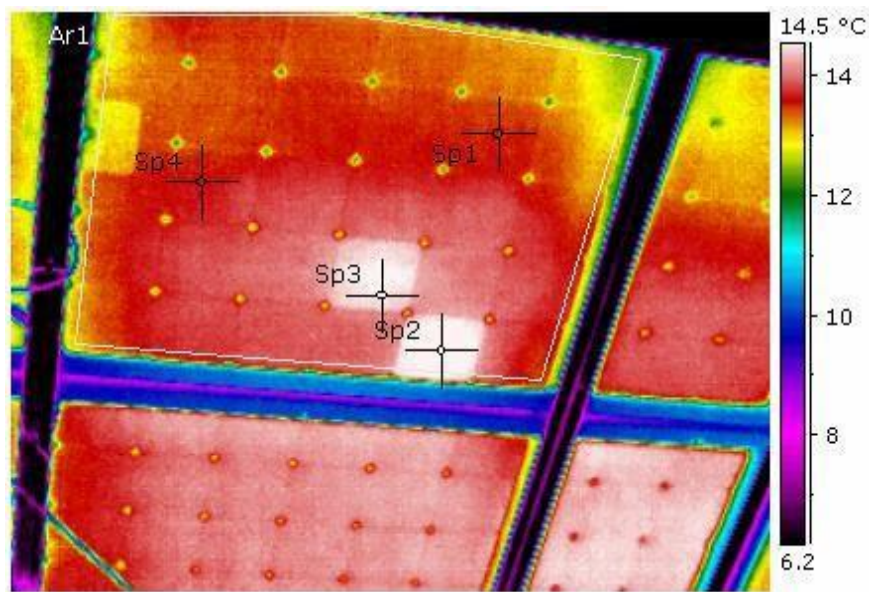


Рисунок 3.11 – Термограма панелі

Кожну сонячну панель від'єднували від стрінгу та окремо досліджували її параметри за допомогою аналізатора вольт-амперних характеристик Solar IV-400. Графік вольт-амперної характеристики справної панелі зображено на рисунку 2.4 а) (панель № 1, 2013). У цьому випадку було виявлено початкові несправності фотоелектричного модуля (ФЕМ) досліджуваної сонячної станції.



Рисунок 3.12 – Визначення несправностей на ФЕМ за допомогою сучасного дрону

Дослідження зворотного боку модулів із використанням тепловізора для виявлення температурних аномалій та ретельного аналізу температурного розподілу, що допомагає усунути вплив відблисків (Рисунок 3.13).

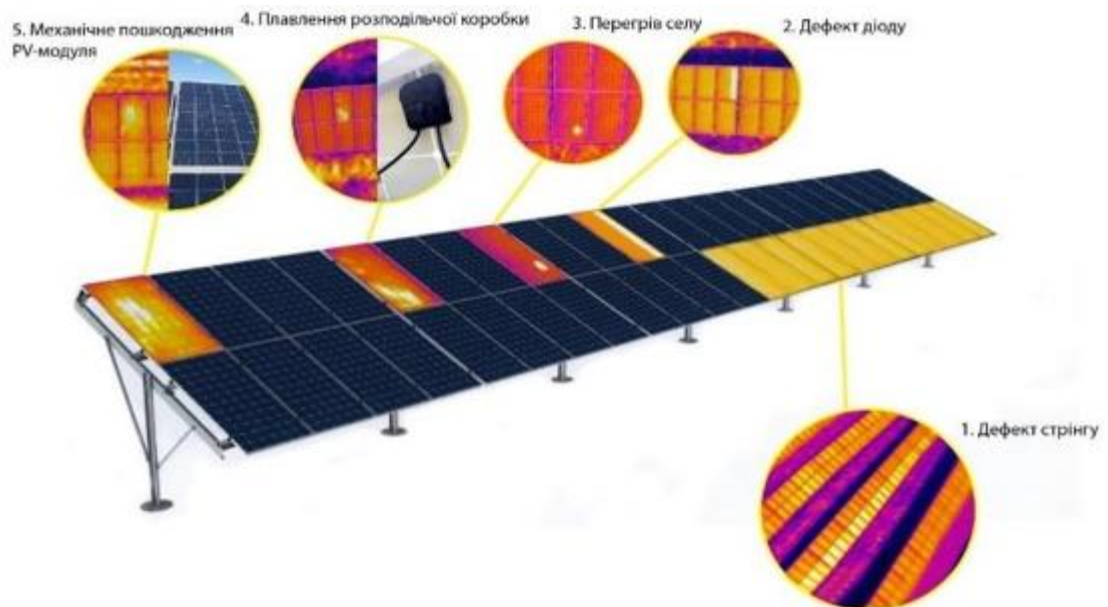


Рисунок 3.13 – Тепловізійне діагностика фотоелектричних модулів зі зворотної сторони

1. Зняття ВАХ для підтвердження дефекту.

2. При обстеженні фотоелектричних модулів різних виробників завжди ведеться статистика дефектності модулів. Фотоелектричні модулі різних виробників мають відмінні технології виробництва та особливості будови.

3.4 Найпоширеніші дефекти фотоелектричних модулів

До основних дефектів фотоелектричних модулів, що функціонують у складі електричних мереж енергосистем, належать:

- розшарування та деградація комірок (темні комірки);
- дефект «гарячої точки» (Hotspot), ушкодження задньої EVA-плівки або лицьового скла;
- мікротріщини;
- ефект «слідів равлика»;
- забруднення поверхні.

Через ці дефекти знижується обсяг виробленої електроенергії. Не всі виявлені ушкодження однаково впливають на технічний стан фотоелектричних модулів. Навіть незначний дефект може з часом спричинити серйозні проблеми.

Класифікація дефектів фотоелектричних модулів [17]:

1. Дефект стрінгу – електричний контур, що складається з послідовно з'єднаних модулів, частково або повністю виходить з ладу. Причини: пошкодження запобіжників, замикання на землю або несправність конекторів, що з'єднують модулі.

2. Дефект діоду – спрацьовування шунтуючого діоду, що призводить до втрати приблизно третини потужності модуля. Причини: часткове чи повне затінення модуля або пошкодження контактів діодів.

3. Перегрів комірки (Hotspot) – локальне замикання на шині модуля, через що струм і напруга концентруються в одній комірці, що може спричинити

її перегрів або навіть займання. Однією з причин є порушення герметичності модуля.

4. Плавлення розподільчої коробки – виникає через неправильне підключення стрінгів чи модулів або дефект діоду, що призводить до підвищення температури коробки та її плавлення.

5. Механічні ушкодження PV-модуля – пошкодження захисного скла, що викликає розгерметизацію. Рекомендується заміна таких модулів для запобігання коротким замиканням у модулі чи стрінгу.

Аналізуючи дефекти фотоелектричних модулів (ФЕМ), можна виокремити характерні типи пошкоджень: ушкодження комірок (пробій напівпровідникового переходу, перегорання комірки); дефекти шин (busbar) (погіршення контакту в місці з'єднання комірки з шиною, корозія провідного матеріалу); пошкодження клемної коробки (junction box); деградація алюмінієвого каркасу (корозія металу, деформація каркасу, пересихання та розтріскування герметичних матеріалів і ущільнювачів); ушкодження захисного скла (тріщини, зниження прозорості через абразивний вплив пилу в повітрі).

Процес старіння скла розпочинається практично одразу після його виробництва через вплив атмосферних умов. Контакт поверхні скла з газами повітря, опадами, зокрема «кислими» дощами, прискорює деградацію, що призводить до зміни його характеристик, таких як прозорість і міцність.

На практиці волога, що конденсується та довго утримується на поверхні скла, посилює процес вилугування. Це спричиняє руйнування кремній-кисневих зв'язків, що підвищує пористість поверхні скла та сприяє її активнішій взаємодії з атмосферою. Зрештою, цей процес стає необоротним.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі обслуговування систем електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління.

Охорона праці належить до соціально-економічних систем, головним завданням яких є врахування громадських та особистих інтересів людей. Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це забезпечить не лише безпечність умов праці, а й створить відповідний настрій всередині колективу.

На оперативно-ремонтний персонал, який здійснює реконструкцію та експлуатацію системи електропостачання, впливають такі шкідливі виробничі фактори [19, 20]:

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, переважно аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний 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.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Все силове обладнання заводу повинно відповідати вимогам нормативних документів і на них повинна бути експлуатаційна документація, а крани та інші машини, що придбані за кордоном – повинні мати сертифікат відповідності вимогам безпеки праці. Забороняється експлуатація засобів механізації без передбачених їх конструкцією огорож, блокувань, систем сигналізації та інших засобів колективного захисту працюючих. До управління і обслуговування машин і механізмів допускаються особи (працівники), що отримали відповідну професійно-технічну підготовку, пройшли навчання і перевірку знань із безпеки праці.

Персонал, який експлуатує засоби механізації, оснащення, пристрої та ручні машини, до початку робіт повинен бути навчений безпечним методам та способам робіт відповідно до інструкцій заводу-виробника та інструкції з охорони праці. Робочі місця, засоби підмошування (риштовання, помости, робочі площадки тощо, які забезпечують безпеку виконання робіт на висоті) повинні відповідати вимогам будівельних норм і правил. Під час виконання будівельно-монтажних робіт необхідно застосовувати переважно інвентарні засоби підмошування.

За відсутності вказівок щодо закріплення риштовань їх кріплення до стін споруди необхідно здійснювати не менше ніж через один ярус для верхніх

стояків, через два прогони для верхнього ярусу й одного кріплення на кожних 50 м² проекції поверхні риштувань на фасад споруди. Не допускається кріплення риштувань до парапетів, карнизів, балконів, інших виступних частин споруди.

Робочі навантаження на риштування в процесі виконання робіт не повинні перевищувати визначених технічною документацією. За необхідності передавання на риштування додаткових навантажень (від підйомників, вантажопідіймальних площадок тощо) їх конструкцію необхідно перевірити на ці навантаження. У місцях піднімання людей на риштування повинні бути вивішені плакати, на яких зазначено схеми навантажень, їх величини, а також схеми евакуації працівників на випадок аварійних ситуацій.

Засоби підмоцнування повинні бути зроблені з рівних робочих настилів із зазором між дошками не більше ніж 5 мм, а у разі розміщення настилу на висоті 1,3 м та вище встановлювати огорожі з суцільною бортовою обшивкою по низу. Висота огорожі повинна бути не менше ніж 1,1 м, бортові обшивки - не менше ніж 0,15 м, відстань між горизонтальними елементами огорожі - не більше ніж 0,5 м. Засоби підмоцнування, які використовуються під час робіт у місцях, під якими здійснюються інші роботи або є прохід, необхідно виконувати настилами без зазорів. Риштування та помості висотою до 4 м допускаються в експлуатацію після їх приймання керівником робіт та реєстрації в журналі робіт, а вище ніж 4 м- після приймання комісією, призначеною особою, яка відповідає за забезпечення охорони праці в організації, та оформлення відповідного акту.

Під час виконання робіт із риштувань висотою понад 6 м і більше повинно бути улаштовано не менше ніж два настили: робочий (верхній) і захисний (нижній); кожне робоче місце на риштуваннях, що прилягає до будинку чи споруди, повинно бути захищене зверху настилом, розташованим на висоті не вище ніж 2 м від робочого настилу. Якщо під час виконання робіт рух людей чи транспорту під риштуваннями і поблизу від них не

передбачається, улаштування захисного (нижнього) настилу не обов'язкове.

Для забезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати. За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах.

Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (рахуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками. Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: зажими вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводиться за виконавчими схемами. Під час робіт в пристроях РЗАіТ слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками.

За необхідності проведення будь-яких робіт в колах чи на апаратурі РЗАіТ за умови ввімкненого основного обладнання слід вжити додаткових заходів щодо запобігання його випадковому відключенню. Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи,

необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв РЗАіТ, провадять тільки оперативні працівники.

4.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання заводу та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [22, 23]:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;
- персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Використовуються основні та додаткові електрозахисні засоби до 1000В. Основні: ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками; додаткові: діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати та знаки безпеки.

Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [24]. Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [25]:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

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

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та

шкідливі гази, їх ГДК [24] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4
Вуглець (II) оксиду	20		4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [25]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії; встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [26] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г» (таблиця 4.3).

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		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	1	0,6

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом

використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» [27] (таблиця 4.4).

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.2.5 Виробничі вібрації

Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [28] і наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне

гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [29, 30]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [31], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [32].

Приміщення депо ВТТУ за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Г (помірнопожежонебезпечна) – негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується 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 [33] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та

максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, насти-ли, прого-ни	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	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних 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
Перекрытия	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (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 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств,

гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник) [33].

Таблиця 4.8 – 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

На території депо ВТТУ встановлено 56 вогнегасників ВП-5 [34].

ВИСНОВОК

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження та розробку системи електропостачання для комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія». Метою роботи було створення надійної, енергоефективної та безпечної системи електропостачання для забезпечення безперебійного функціонування міського електротранспорту та технологічного обладнання підприємства. Усі поставлені завдання виконано, а мета досягнута.

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу та електричних навантажень підприємства. На основі вихідних даних (таблиці 1.1 та 1.2) визначено сумарну потужність споживачів, зокрема механічного цеху (220 кВт), цеху планового ремонту (160,5 кВт) та інших об'єктів, що дозволило оцінити потреби підприємства в електроенергії. Виявлено, що впровадження енергозберігаючих технологій, таких як лічильники електроенергії постійного струму, забезпечує економію до 60 тис. гривень щомісяця, що підкреслює потенціал для подальшого підвищення енергоефективності.

Другий розділ присвячено розробці системи електропостачання. На основі розрахунків електричних навантажень (таблиці 2.1 і 2.2) обрано радіальну схему електропостачання, яка забезпечує високу надійність. Техніко-економічне порівняння класів напруги (10 кВ і 35 кВ) показало економічну перевагу напруги 10 кВ (щорічні витрати 21629,93 тис. грн проти 26163,98 тис. грн для 35 кВ). Виконано вибір двох трансформаторних підстанцій потужністю 630 кВА, кабелів АСБл-10 3х35 та вакуумних вимикачів ВР1, перевірених на стійкість до струмів короткого замикання, що відповідає нормативним вимогам.

Третій розділ присвячено аналізу роботи фотоелектричних станцій (ФЕС) в енергосистемі та функціонуванню їх елементів. Проаналізовано принципи роботи ФЕС, включаючи фотоелектричні модулі та інвертори та системи

накопичення енергії. Оцінено доцільність інтеграції ФЕС для живлення допоміжних об'єктів, таких як склад, гараж і побутові приміщення. Аналіз показав, що ФЕС сприяють підвищенню надійності енергосистеми, що є важливим для безперебійної роботи електротранспорту.

Четвертий розділ присвячено охороні праці та безпеці. Проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, включаючи електротравматизм, шум, вібрацію, мікроклімат і пожежну небезпеку. Запропоновано заходи для їх мінімізації: використання ізолювальних засобів, заземлення вторинних обмоток трансформаторів, маркування електрообладнання, звукопоглинаючих матеріалів і віброзахисних засобів. Для забезпечення належного мікроклімату передбачено вентиляцію, опалення (калорифери) та провітрювання приміщень. Пожежна безпека забезпечується відповідністю будівельних конструкцій вимогам ДБН В.1.1-7:2016 (III ступінь вогнестійкості) та розміщенням 56 вогнегасників ВП-5 на території депо.

Розроблена система електропостачання з інтеграцією ФЕС відповідає сучасним стандартам енергоефективності, надійності та безпеки. Впровадження запропонованих рішень сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, зменшенню залежності від зовнішніх джерел енергії, підвищенню стабільності електропостачання та покращенню умов праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2005. 148 с.
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617с.
3. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями : монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 136 с.
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. Сонячна панель: з чого вона складається та як працює. [Електронний ресурс] URL: <https://soncedim.com.ua/blog/soniachna-panel-z-chogo-vona-skladaetsia-ta-iak-pratsiue>
7. ДСТУ IEC/TR 60909-4:2008 (IEC/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. Принцип роботи фотоелектричної станції. [Електронний ресурс] URL: <https://delaenergy.systems/articles/princzip-roboti-sonyachno%D1%97-elektrostanzi%D1%97/>
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. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. [Електронний ресурс] URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>
12. Проектування електропостачальних систем загального призначення / П. Ф. Гоголюк, Т. М. Гречин, А. А. Маліновський та ін. Львів: В-во Львівська політехніка, 2018. 436 с
13. Силові трансформатори [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bisik.kiev.ua/uk/transformers>
14. Показники якості електроенергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ac-elektro.com.ua/text.php?news_id=30
15. Низьковольтні вимикачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-c756>
16. Сонячні модулі: різновиди та характеристики: [Електронний ресурс] URL: <https://newlineenergy.com.ua/sonyachni-moduli-riznovydy-ta-harakterystyky/>
17. Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.
18. Колонтаєвський Ю. П. Перетворювальна техніка в нетрадиційній та відновлювальній електроенергетиці : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 67 с.
19. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
20. 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->.

21. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

22. 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.

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

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

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

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

27. 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>.

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

29. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

31. 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>.
32. 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.
33. 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.
34. 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

№ п/п	Найменування об'єктів	$P_{\text{ном}}$, кВт
1	Продуктовий магазин	3
2	Столярний цех	75
3	Електроцех 1	70
4	Електроцех 2	46,2
5	Побутові приміщення	20
6	Управління ТТУ	72
7	Цех планового ремонту	160,5
8	Механічний цех	220
9	Цех технічного огляду	26
10	Механічна майстерня	143
11	Пилорама	24
12	Ділянка щоденних оглядів	15
13	Склад	3
14	Гараж	1,5
15	Шиномонтажний цех	5
16	Допоміжні будівлі	75

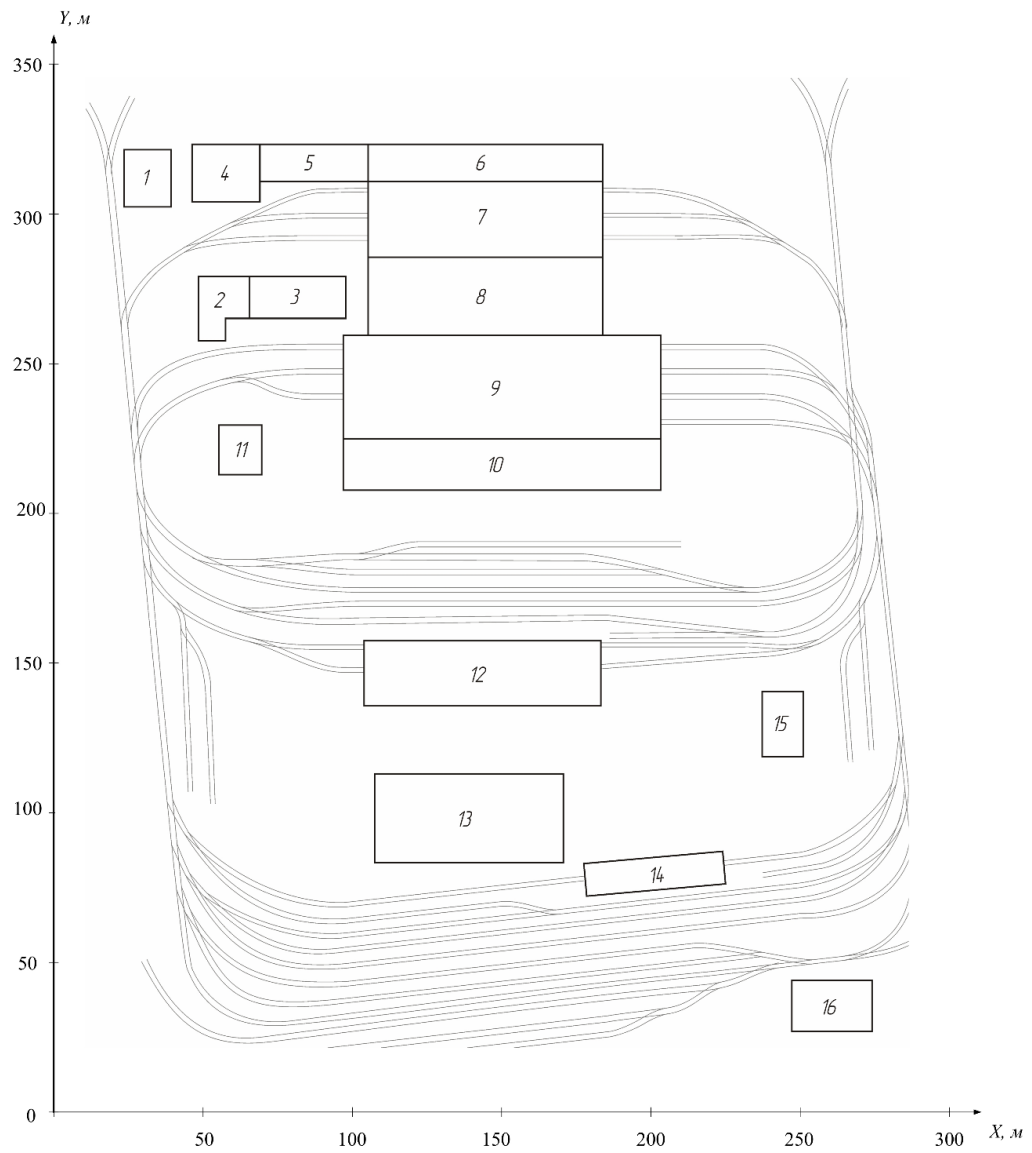


Рисунок А.1 – Генплан підприємства

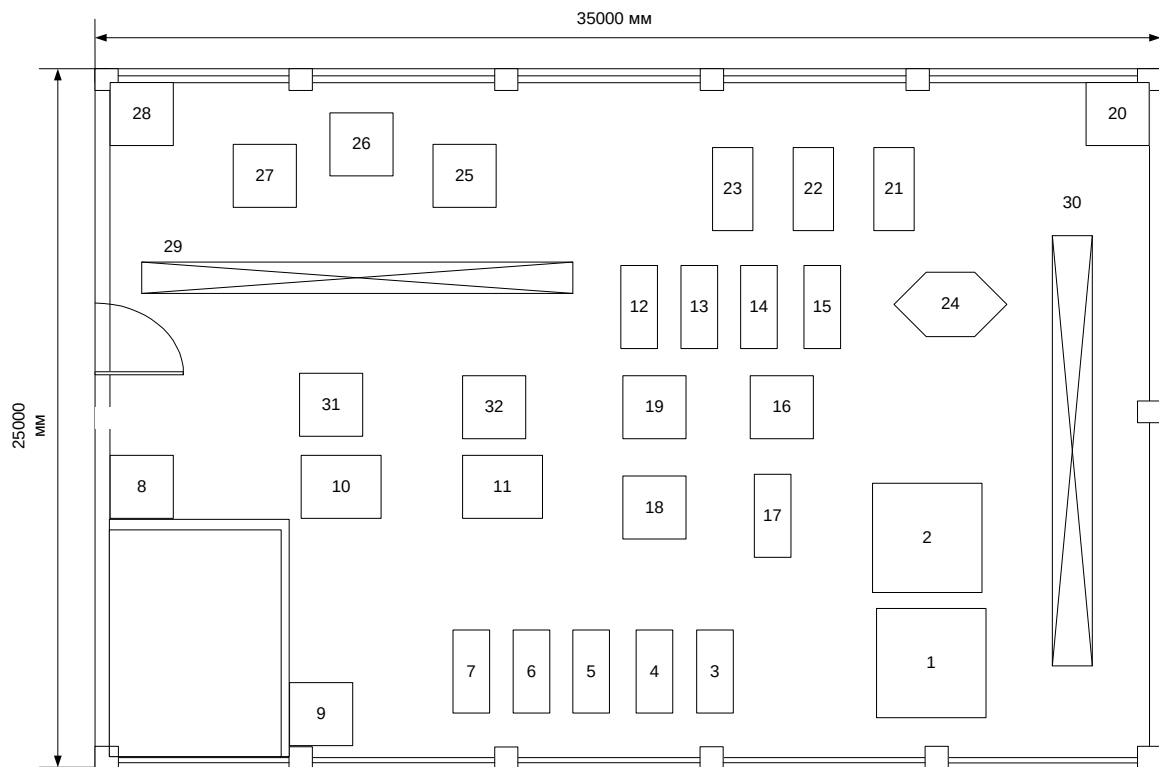


Рисунок А.2 – План виробничого цеху

Таблиця А.2 – Відомості про електричні навантаження механічного цеху

Найменування ЕП	P_H , кВт	K_B	$\text{tg}\varphi$
Шліфувальний напівавтомат(1,2)	21	0,12	1,17
Поперечно-стругальний верстат(3-7)	30	0,12	1,17
Універсально-заточувальний верстат(8,9)	13	0,15	1,17
Вертикально-фрезерувальний верстат(10,11)	12	0,15	1,17
Плоскошліфувальний верстат (16,17)	9,8	0,15	1,17
Гальванічна ванна (18,19)	1,7	0,6	2,19
Токарно-гвинторізний (12-15)	4,5	0,17	1,17
Гідравлічний прес (20)	7	0,14	1,73
Горизонтально-фрезерний (21-23)	3	0,14	1,73
Плоскошліфувальний верстат (24)	28	0,14	1,73
Радіально-свердильний (25-27)	7	0,14	1,73
Вентилятор (28)	10	0,14	1,73
Кран-балка ПБ 25% (29-30)	25	0,14	1,23
Зварювальний автомат точкове (31)	50	0,14	1,23
Зварювальний автомат роликове (32)	30	0,14	1,73

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Розробка системи електропостачання Вінницького трамвайно-тролейбусного управління

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 27.22 %

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
(прізвище, ініціали, посада)
(підпис)

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада)
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

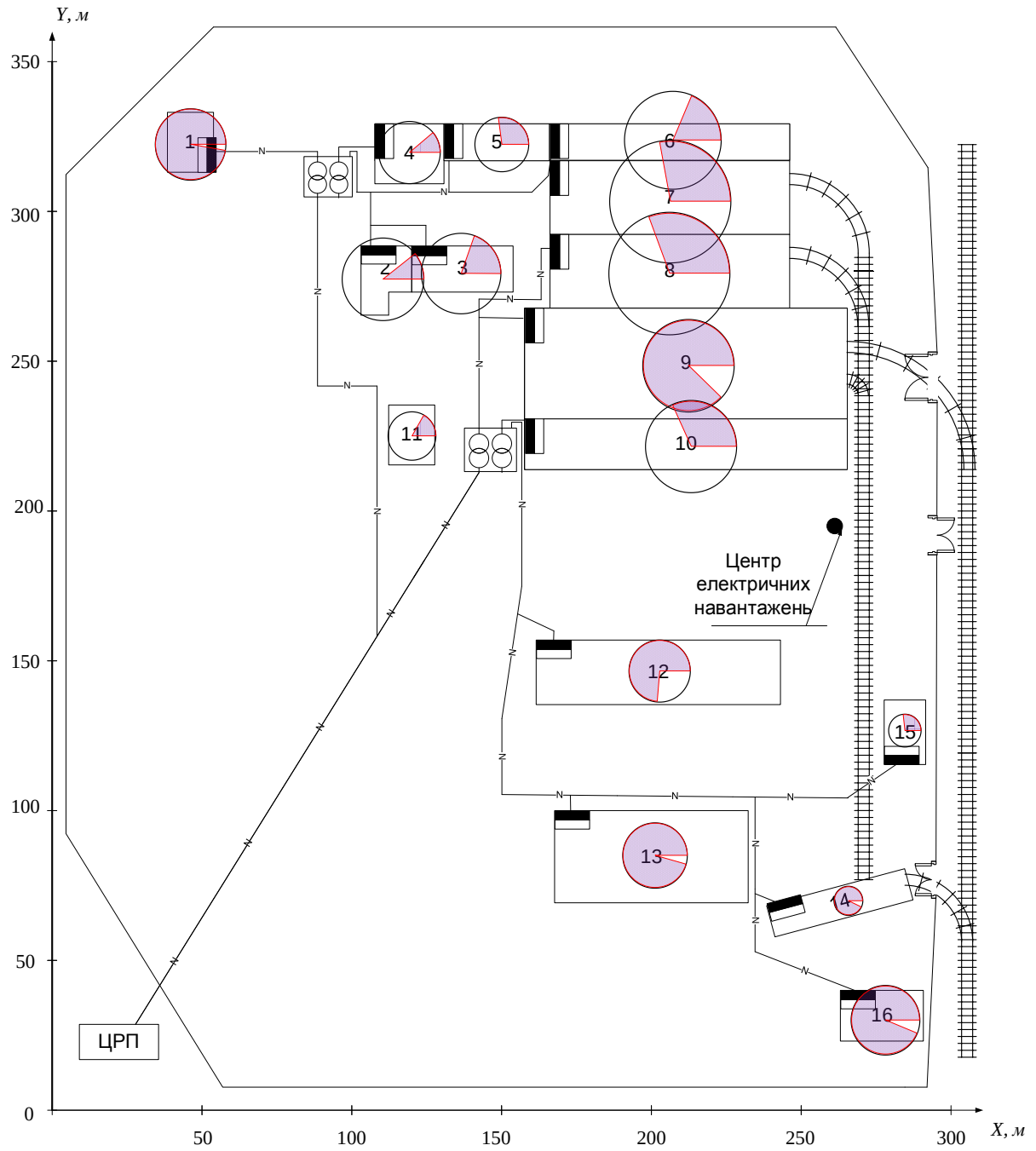
З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Бурбело М.Й.
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

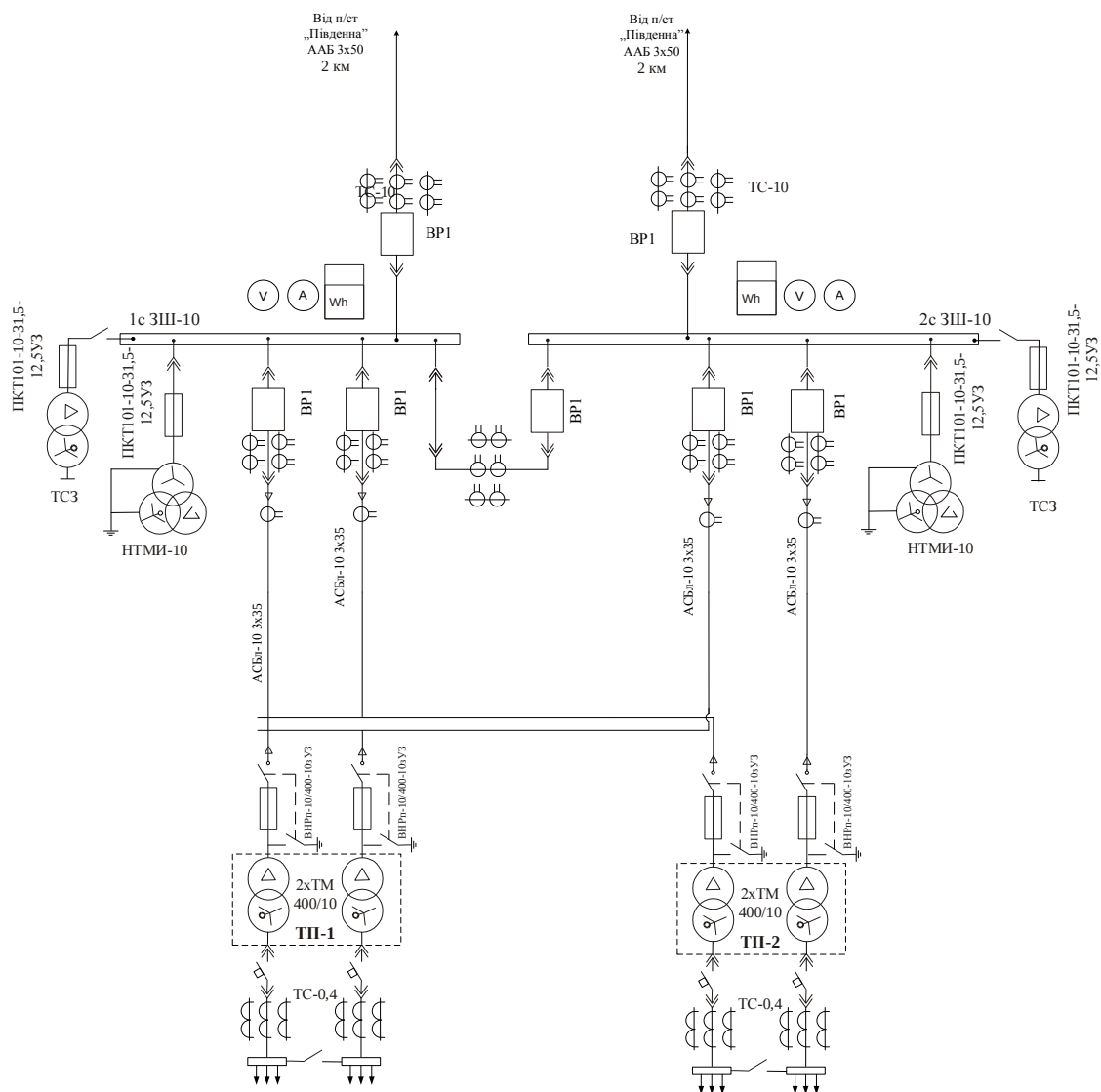
Здобувач _____ Цимбал І. С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В

Картограма електричних навантажень



Однолінійна схема



ДОДАТОК Д

План цеху

