

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
(назва навчально-наукового інституту)

комп'ютерних наук та інженерії

(повна назва факультету)
кафедра енергетики

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра

(освітній рівень)

на тему Проект модернізації системи електропостачання механічного цеху

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТТ-23
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(код і назва спеціальності)

Олександр БОЙЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник Олена БЄЛЯНОВСЬКА

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Ілля ДОМАНСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Дніпро – 2026 року

Український державний університет науки і технологій
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
(назва навчально-наукового інституту)

Факультет, відділення комп'ютерних наук та інженерії

Кафедра енергетики

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри енергетики

доц. Станіслав КОВАЛЬОВ

" " 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Бойченко Олександр Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проект модернізації системи електропостачання механічного цеху

керівник проєкту (роботи) Беляновська Олена Анатоліївна, д. т. н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "02" березня 2026 року № 77-к

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 08.06.2026

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) основні характеристики споживачів механічного цеху, кабельні лінії

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) розробка загальної схеми електропостачання промислового підприємства, формування системи гарантованого електропостачання для об'єкту проєктування, розробка заходів з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
план розміщення електроприймачів механічного цеху, схема приєднання СП до ТП, функціональна схема електроживлення окремих споживачів від ДЕС

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ВСТУП	Беляновська Олена Анатоліївна, д.т.н., доц., проф. каф. енергетики		
Розділ 1.ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	Беляновська Олена Анатоліївна, д.т.н., доц., проф. каф. енергетики		
Розділ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	Беляновська Олена Анатоліївна, д.т.н., доц., проф. каф. енергетики		
Розділ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	Беляновська Олена Анатоліївна, д.т.н., доц., проф. каф. енергетики		
ВИСНОВКИ	Беляновська Олена Анатоліївна, д.т.н., доц., проф. каф. енергетики		

7. Дата видачі завдання _____.0 .2026_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Розділ 1.ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА		
3	Розділ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА		
4	Розділ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ		
5	ВИСНОВКИ		

Студент

_____ **О.В. Бойченко**
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник проєкту (роботи)

_____ **О.А. Беляновська**
(підпис) (ініціали, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ						
№ п/п	ФОРМАТ	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	КІЛ.АРКУШІВ	№ ЕКЗ-РУ	ПРИМІТКА
			<u>ДОКУМЕНТАЦІЯ</u>			
			<u>ЗАГАЛЬНА</u>			
			ЗАНОВО РОЗРОБЛЕНА			
1	A4	4ЕТ(м)23.2026.141.001.ПЗ	Пояснювальна записка	80	-	
			ЗАСТОСОВАНА			
2	A1	4ЕТ(м)23.2026.141.001.01	План розміщення	1	-	
			електроприймачів			
			механічного цеху			
			ЗАНОВО РОЗРОБЛЕНА			
	A1	4ЕТ(м)23.2026.141.001.02	Схема приєднання СП до ТП	1	-	
	A1	4ЕТ(м)23.2026.141.001.03	Функціональна схема	1	-	
			електроживлення окремих			
			споживачів від ДЕС			

					4ЕТ(м)23.2026.141.001.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект модернізації системи електропостачання механічного цеху ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА		
Розроб.	Бойченко О.						
Перевір.	Беляновська О.А						
Реценз.	Доманський І.В.						
Н. Контр.	Стоян О.І.						
Затверд.	Ковальов С.В.				Лім. Арк. Аркушів 3 80 УДУНТ ННІ УДХТУ каф. енергетики		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи включає 95 сторінок основного матеріалу, містить 14 рисунків, 22 таблиці та 21 джерело.

Об'єктом проєктування є система електропостачання механічного цеху промислового підприємства, розташованого у Дніпропетровській області.

У ході виконання дипломного проєкту було:

Виконано розрахунок електричних навантажень споживачів цеху методом упорядкованих діаграм. Загальна розрахункова потужність об'єкта після впровадження заходів із модернізації склала $S_p=247,64$ кВА.

Обґрунтовано вибір силового обладнання: обрано масляний трансформатор серії ТМ-400/10/0,4, що забезпечує оптимальний коефіцієнт завантаження 0,62.

Реалізовано систему компенсації реактивної потужності шляхом встановлення автоматизованої установки УКРМ-0,4-200 квар, що дозволило підвищити коефіцієнт потужності до 0,97.

Спроектовано систему гарантованого живлення для споживачів І категорії (системи вентиляції СП1 та аварійне освітлення) на базі дизельної електростанції Cummins C220 D5 потужністю 220 кВА із застосуванням блоку автоматичного введення резерву (АВР).

Здійснено вибір та перевірку параметрів розподільних мереж напругою до 1 кВ (кабелі марки АВВГ) та живильної мережі 10 кВ (кабель АПвП 3х35), а також проведено розрахунок струмів короткого замикання.

Визначено економічну ефективність: термін окупності витрат на систему резервного живлення становить 2,6 роки.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, НАДІЙНІСТЬ, ГАРАНТОВАНЕ ЖИВЛЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	11
1.1 Аналіз обладнання, характеру виробництва.....	11
1.2 Умови проєктування.....	12
1.2.1 Стисла характеристика об'єкту проєктування.....	12
1.2.2 Характеристика основних споживачів електричної енергії.....	14
1.2.3 Класифікація приміщення об'єкту проєктування.....	16
1.2.4 Характеристика джерела живлення.....	18
1.2.5 Вимоги до якості електричної енергії.....	19
1.2.6 Обґрунтування кількості та місця розміщення силових розподільних пунктів і щитів освітлення.....	20
1.3 Визначення розрахункових навантажень механічного цеху.....	22
1.3.1 Методика розрахунку.....	22
1.3.2 Вихідні дані для проведення розрахунку.....	22
1.3.3 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів цехової мережі.....	23
1.3.4 Розрахунок навантаження шин низької та високої напруги ТП...34	
1.4 Вибір трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності.....	38
1.4.1 Вибір засобів компенсації реактивної потужності.....	38
1.4.2 Вибір цехового трансформатора.....	41
1.4.3 Обґрунтування виду виконання та комплектації підстанції механічного цеху.....	43
1.5 Визначення центру навантаження.....	44
1.6 Розрахунок живильних і розподільних електричних мереж	45
1.6.1 Вибір ліній живлення електроприймачів.....	45
1.6.2 Вибір ліній живлення силових пунктів.....	47

1.6.3	Вибір кабелю живлення цехової ТП.....	48
1.6.4	Вибір комутаційної апаратури розподільної мережі.....	49
1.6.5	Вибір апаратури живильної мережі.....	51
1.6.6	Вибір трансформатора струму.....	52
1.7	Розрахунок струмів короткого замикання.....	53
1.7.1	Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1 кВ.....	54
1.7.1.1	Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.....	55
1.7.1.2	Вибір електрообладнання КТП і живильних мереж.....	56
1.7.1.3	Розрахунок перетинужил і вибір живильного кабелю КТП.....	57
	Висновки до розділу 1.....	60
2	ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ГАРАНТОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ.....	63
2.1	Можливості та основні завдання для забезпечення гарантованого живлення.....	63
2.2	Аналіз основних засобів забезпечення гарантованого живлення..	64
2.3	Вибір та розрахунок гарантованого джерела живлення.....	66
	Висновки до розділу 2.....	70
3	ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ УСТАНОВОК.....	72
3.1	Правила безпечної експлуатації електроустановок.....	72
3.2	Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.....	72
3.2.1	Прийняття електроустановок в експлуатацію та порядок їх підключення до електричної мережі.....	73
3.3	Розрахунок захисного заземлення та огляд можливостей блискавкозахисту механічного цеху та дизельної електростанції.....	74
	Висновки до розділу 3.....	76
	ВИСНОВОК.....	77
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОХНАЧЕНЬ

КЗ – Коротке замикання
ТП – Трансформаторна підстанція
ГПП – Головна понижувальна підстанція
ЦЖ – Центр живлення
ДБН – Державні будівельні норми
ЕП – Електроприймачі
КТП – Комплектна трансформаторна підстанція
ПКРП – Пристрій компенсації реактивної потужності
ВРП – Ввідно-розподільний пристрій
РП – Розподільний пункт
КЛ – Кабельна лінія
ПЛ – Повітряна лінія
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок
СКЗ – Струм короткого замикання
ЗІЗ – Засоби індивідуального захисту
ГДК – Гранично допустима концентрація
ЗП – Заземлюючий пристрій
ВЗ – Вертикальний заземлювач
ГЗ – Горизонтальний заземлювач
ТП – Трансформаторна підстанція
ЕУ – Електрична установка
НШВЧ – Небезпечні і шкідливі виробничі чинники
ОСР – Оператор системи розподілу
РЗА – Релейний захист
ВДЕ – Відновлювальні джерела енергії
ДЕС – Дизельна електростанція
АВР – Автоматичний ввід резерву

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ

Арк.

8

ВСТУП

На сьогоднішній день проблема підвищення надійності систем електропостачання промислових об'єктів із безперервним циклом виробництва є одним із ключових пріоритетів розвитку сучасної енергетичної галузі України. Будь-які, навіть незначні, збої у роботі зовнішніх або внутрішніх мереж здатні призвести до порушення складних технологічних процесів, що спричиняє суттєві матеріальні збитки.

Для того, щоб забезпечити стабільну та ефективну роботу електроспоживачів механічного цеху (або будь-якого іншого промислового підприємства) як у штатному, так і у післяаварійному режимах, критично важливо мінімізувати кількість та тривалість перерв у живленні, а також гарантувати високий рівень захисту електрообладнання.

До основних методів підвищення надійності та ефективності системи електропостачання об'єкта належать:

- впровадження резервних джерел живлення;
- здійснення комплексної модернізації системи електропостачання;
- оптимізація параметрів та вибору обладнання для цехових комплектних трансформаторних підстанцій (КТП);
- проведення точних розрахунків електричних навантажень та перевірка стабільності роботи всіх елементів системи;
- використання сучасних пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА);
- компенсація реактивної потужності, що дозволяє суттєво покращити показники якості електроенергії.

Таким чином, дослідження питань надійності, стійкості функціонування та ефективності роботи елементів системи електропостачання механічного цеху підприємства є актуальним, економічно доцільним та важливим інженерним завданням.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

					4-ЕТ(т)-23.2026.141.001.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект модернізації системи електропостачання механічного цеху			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Бойченко О.В.									10	80
Перевірів	Бєляновська О.А							УДУНТ ННІ «УДХТУ» каф. енергетики			
Реуєнз.	Доманський І.В.										
Н. контр.	Стоян О.І.										
Затвердив	Ковальов С.В.										

1 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1 Аналіз обладнання та характеру виробництва

Механічний цех є на цілому ряді сучасних промислових підприємств і відіграє роль ключової ланки у загальній структурі металообробного виробництва. Він призначений для серійного виготовлення та відновлювального ремонту вузлів і деталей різного ступеня складності, зокрема болтів, гайок та спеціалізованих наконечників для сталевих труб. Технологічний цикл цеху охоплює повний спектр операцій: від первинної підготовки сировини та електротермічної обробки до високоточної фінішної обробки на токарних, фрезерних, шліфувальних та довбальних верстатах.

Особливістю енергоспоживання такого об'єкта є використання потужних асинхронних двигунів, які повинні мати жорсткі механічні характеристики для підтримання стабільної швидкості обробки деталей. Саме тому будь-які збої в роботі зовнішніх або внутрішніх електричних мереж призводять до порушень ряду технологічних процесів, що мають критичні наслідки:

Виробничий брак: Навіть короткочасне зниження напруги чи зміна частоти призводять до погіршення точності обробки та виникнення браку, що є особливо критичним для прецизійного шліфувального обладнання.

Матеріальні збитки та простой: Аварійна зупинка вентиляційних систем (група СП1) у приміщеннях із підвищеним вмістом металевого пилю створює небезпечні умови праці та вимагає повної зупинки техпроцесу.

Ризик пошкодження інструменту: Раптова зупинка верстата під навантаженням часто спричинює поломку різального інструменту та потребує дорогого ремонтного відновлення вузлів

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2 Умови проєктування

1.2.1 Стисла характеристика об'єкту проєктування

Виробнича діяльність механічного цеху зосереджена на виготовленні та ремонтному відновленні вузлів і деталей різного ступеня складності, зокрема металевих виробів (болтів, гайок) та спеціалізованих наконечників для систем трубних насадок, виготовлених зі сталі.

Цех функціонує як допоміжний підрозділ і працює в єдиному технологічному циклі з іншими цехами підприємства. Основне призначення об'єкту – це повний цикл підготовки деталей, що включає наступні етапи:

- первинна обробка металевої сировини;
- електротермічна обробка для надання деталям необхідних властивостей;
- механічна обробка – токарні, фрезерні, шліфувальні та свердлильні операції.

Для забезпечення виробничого процесу цех оснащений широким спектром металообробного обладнання. До складу верстатного парку входять:

- верстати основної групи: токарні, фрезерні, свердлильні та шліфувальні верстати;
- спеціалізоване обладнання: обдиральні та заточувальні верстати, відрізні пили та гільйотини;
- допоміжні установки: електротермічні установки та системи припливно-втяжної вентиляції;
- вантажопідйомне обладнання: мостовий кран для переміщення деталей та сировини.

Більшість електроприймачів цеху працюють у режимі тривалого та змінного навантаження. Для забезпечення високої якості обробки деталей, яка не має залежати від коливань навантаження, на верстатах використовуються асинхронні двигуни з жорсткими механічними характеристиками. Основна частина обладнання потребує живлення трифазним змінним струмом промислової частоти 50 Гц при напрузі 380/220 В

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Механічний цех є на цілому ряді сучасних промислових підприємств і відіграє роль ключової ланки у загальній структурі виробництва. Він призначений для серійного виготовлення та відновлювального ремонту вузлів і деталей будь-якої складності, зокрема металевих виробів (болтів, гайок) та спеціалізованих сталевих наконечників для трубних систем. Технологічний процес у цеху організовано у двозмінному режимі, з можливістю оперативного коригування графіка роботи у святкові дні для забезпечення безперервності виробничого циклу.

Будь-які збої в роботі зовнішніх або внутрішніх електричних мереж призводять до порушень ряду технологічних процесів і спричиняють значні матеріальні збитки. Раптова зупинка обладнання призводить не лише до виникнення виробничого браку на етапах прецизійної обробки, а й до критичних простоїв допоміжних систем, таких як вентиляція та аварійне освітлення.

Об'єкт проєктування територіально розташований у Дніпропетровській області, що характеризується відкритим ландшафтом та належить до III кліматичної зони. Регіон відзначається значними температурними коливаннями (від -30°C взимку до $+45^{\circ}\text{C}$ влітку) та глибиною промерзання ґрунту до 1,8 м, що враховано при виборі кабельної продукції та параметрів заземлення.

Особлива увага в проєкті приділена безпеці: на основі аналізу статистичних даних встановлено, що тривалість грозової діяльності в регіоні складає 40–60 годин на рік. Це дозволяє класифікувати приміщення цеху як об'єкт III категорії блискавкозахисту (зона Б), що потребує встановлення надійної системи блискавкоприймачів та струмовідводів для захисту автоматики та персоналу.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2.2 Характеристика основних споживачів електричної енергії

Механічний цех підприємства укомплектований широким спектром технологічного обладнання, що включає токарні, фрезерні, свердлильні, шліфувальні, заточувальні та інші типи верстатів.

Технічні особливості електроприводів: Головні приводи верстатного парку працюють у режимі тривалого навантаження зі змінним характером роботи. Ключовою вимогою до таких приводів є наявність жорстких механічних характеристик, оскільки швидкість обробки деталей та сировини має залишатися стабільною незалежно від короточасних коливань навантаження. Саме ці особливості обумовлюють використання асинхронних двигунів, які найкраще відповідають зазначеним експлуатаційним вимогам.

Параметри електроживлення: Майже всім електроприймачам цеху необхідне живлення трифазним змінним струмом частотою 50 Гц. Номінальна потужність більшості одиниць обладнання має середні значення (до 60 кВт), за винятком групи шліфувальних верстатів, потужність яких сягає 88,5 кВт. У зв'язку з цим живлення цехової мережі здійснюється під напругою 380/220 В. Окрему групу споживачів змінного струму складають системи припливно-втяжної вентиляції та мережі внутрішнього освітлення.

Категорійність за ступенем надійності: Відповідно до вимог нормативних документів (ПУЕ), споживачі електричної енергії цеху розподіляються на дві категорії за надійністю електропостачання у співвідношенні 10% до 90%:

- I категорія (10% навантаження): До цієї групи віднесено вентиляційні установки. Оскільки виробничий процес передбачає інтенсивну механічну обробку металу з утворенням великої кількості металевого пилу, забезпечення безперебійної роботи вентиляції є критично важливим для підтримання безпечних умов праці та запобігання загрозам життю людей.

• III категорія (90% навантаження): До цієї категорії належить основна маса допоміжного обладнання та металообробних верстатів. Перерва в електропостачанні цих споживачів на час ліквідації аварії не призводить до значних матеріальних втрат або незворотних наслідків для персоналу підприємства.

Повний перелік обладнання із зазначенням їхніх характеристик та розподілом за силовими пунктами представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Дані електроприймачів цеху

СПі	Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_B	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_H , кВт	Категорія надійності ЕП після проведення оцінки
СП№1	38,39	Вентилятор витяжний	0,70	0,85	22	I
	40,41	Вентилятор припливний	0,70	0,85	30	I
СП№2	11-15	Заточувальні верстати	0,16	0,50	3	II
	16-23	Фрезувальні верстати	0,20	0,65	15	II
	24-26	Свердлильні верстати	0,14	0,50	4,6	II
	31-33	Агрегатні верстати	0,20	0,50	10	II
СП№3	37	Мостовий кран ТВ=25%	0,06	0,50	51,5	II
	7-10	Обдираючі верстати	0,20	0,60	30	II
СП№4	1-6	Шліфувальні верстати	0,20	0,85	25	II
СП№5	27-29	Токарні верстати	0,16	0,50	15	II
	30	Верстат довбальний	0,14	0,50	7,5	II
	34-36	Верстат горизонтально-розточний	0,16	0,50	22	II

Продовження таблиці 1.1

СП№6	42,43	Верстат поперечно стругальний 7Б35	0,16	0,50	5,5	II
	44	Гільйотина НГ5223	0,50	0,60	5,5	II
	45	Пила відрізна 101м	0,50	0,60	2,2	II
ЩО	Щит основного освітлення					II
ЩАО	Щит аварійного освітлення, звукової сигналізації, аварійні панелі виходу					I

1.2.3 Класифікація приміщення об'єкту проектування

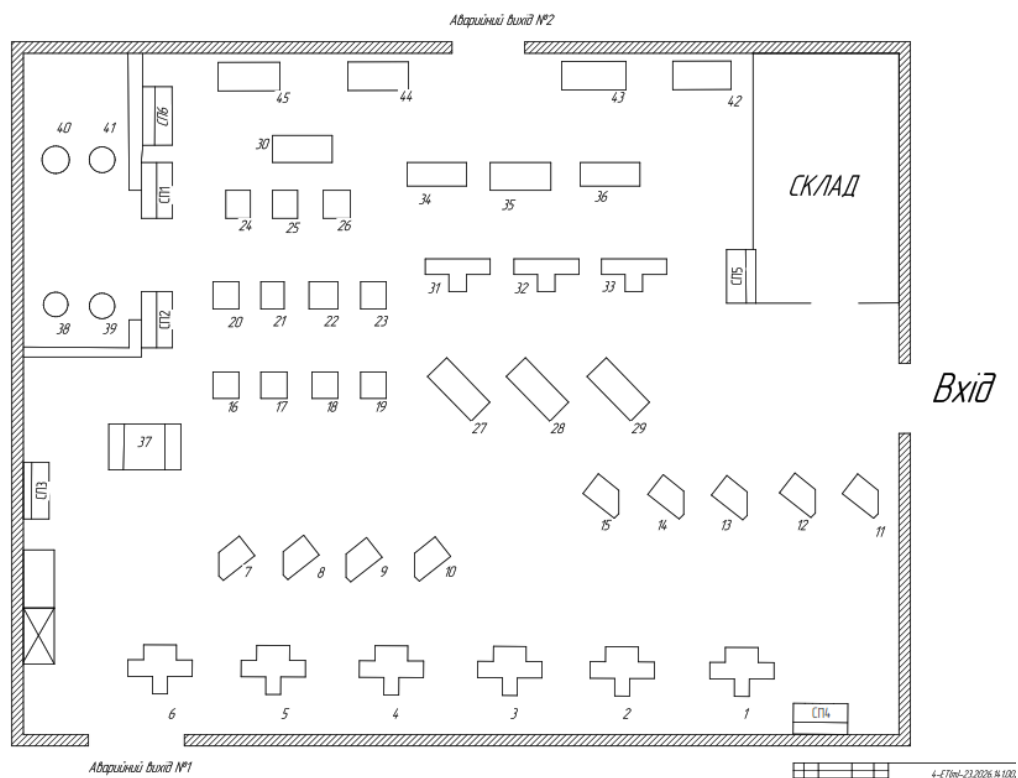


Рисунок 1.1 – План розміщення ЕП механічного цеху

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
-----	------	----------	--------	-----

4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ

Механічний цех являє собою будівлю з габаритними розмірами 45 x 35 x 10 м (де А=45 м - довжина, В=35 м - ширина, Н=10 м - висота). Внутрішній простір цеху розділений цегляними перегородками товщиною 20 см та висотою 3,2 м, що відокремлюють робочі приміщення. Повна конфігурація цеху, складські зони, вентиляційна камера та специфіка розміщення верстатного парку представлені на плані (рисунок 1.1).

Згідно з нормативними вимогами та умовами експлуатації, приміщення класифікується за наступними характеристиками:

Пожежна безпека: Враховуючи, що в цеху здійснюється обробка негорючих речовин та металів у холодному стані, об'єкт віднесено до категорії Д.

Стан середовища: Попри роботу систем припливно-витяжної вентиляції, простір цеху характеризується високою запиленістю. Відходи виробництва складаються з металевого пилу (70%) та абразивної стружки (30%), які можуть утворювати небезпечні концентрації або шари значної товщини на поверхнях обладнання.

Вимоги до виконання електрообладнання: Через наявність струмопровідного пилу, всі струмопровідні частини та освітлювальні прилади повинні мати ступінь захисту оболонок не нижче IP 5X.

Блискавкозахист: На основі аналізу грозової діяльності в районі розташування (від 40 до 60 годин на рік) будівля цеху потребує захисту за III категорією блискавкозахисту (зона Б).

Загальна система вентиляції охоплює всю територію цеху, забезпечуючи підтримання вологості та температури, а також автоматичне видалення виробничого пилу для створення безпечних умов праці. Визначені параметри середовища є визначальними для подальшого вибору захисної апаратури та способів прокладання мереж живлення.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2.4 Характеристика джерела живлення

Основним та безпосереднім джерелом електричної енергії для об'єкта проєктування (механічного цеху) є комплектна трансформаторна підстанція (КТП) тупикового типу потужністю 400 кВА. Вибір саме такої потужності обумовлений результатами розрахунку навантажень та необхідністю забезпечення оптимального режиму роботи силового обладнання.

Ключові технічні характеристики джерела живлення: Силовий трансформатор: У проєкті прийнято до встановлення масляний трансформатор серії ТМ-400/10/0,4. Він здійснює перетворення електричної енергії з напруги вхідної мережі 10 кВ до рівня 0,4 кВ (380/220 В), що є галузевим стандартом для живлення трифазних асинхронних двигунів верстатного парку та однофазних мереж робочого освітлення.

Обґрунтування потужності: Вибір трансформатора потужністю 400 кВА є технічно виправданим, оскільки при сумарному розрахунковому навантаженні цеху $S_p=247,64$ кВА забезпечується коефіцієнт завантаження $k_z \approx 0,62$. Такий показник знаходиться в межах ідеального діапазону (0,6–0,7), що гарантує мінімальні втрати активної потужності в обмотках та забезпечує необхідний резерв для пуску потужних двигунів або розширення виробництва у майбутньому.

Конструктивне виконання: Підстанція виконана у вигляді КТП зовнішньої або внутрішньої установки (залежно від компонування підприємства). Вона включає пристрої з боку вищої напруги (ПВН), відсік силового трансформатора та розподільчий пристрій низької напруги (РПНН).

Зв'язок із енергосистемою: Живлення підстанції здійснюється від головної понижувальної підстанції (ГПП) підприємства або від мереж енергопостачальної компанії по високовольтній кабельній лінії 10 кВ. На боці низької напруги передбачено встановлення автоматичних вимикачів для захисту відхідних ліній до силових пунктів (СП1–СП6) та щита освітлення.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Використання трансформатора ТМ-400 замість надлишкових потужностей дозволяє суттєво знизити капітальні витрати на обладнання та зменшити втрати холостого ходу, що підвищує загальну енергоефективність системи електропостачання механічного цеху

1.2.5 Вимоги до якості електричної енергії

Підтримання нормативних показників якості електроенергії (ПЯЕ) є необхідною умовою для стабільної роботи металообробних верстатів та запобігання передчасному зносу електрообладнання механічного цеху. Згідно з вимогами стандарту ДСТУ EN 50160:2014 та іншої нормативної документації, до системи живлення об'єкта висуваються наступні вимоги:

Параметри частоти: Номінальна частота змінного струму має становити 50 Гц.

За нормальних умов експлуатації середнє значення частоти основної складової напруги (виміряне на інтервалі 10 с) повинно бути в межах:

50 Гц $\pm$ 2% (діапазон 49...51 Гц) протягом 95% робочого часу за тиждень.

50 Гц $\pm$ 15% (діапазон 42,5...57,5 Гц) протягом 100% часу вимірювання.

Стабільність напруги: У нормальних режимах роботи, за винятком моментів перерв у живленні, відхилення напруги не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від номінального значення (380/220 В). Це критично важливо для асинхронних двигунів верстатів, оскільки значні коливання напруги призводять до зміни моменту на валу та погіршення точності обробки деталей.

Показники потужності: Відповідно до ДБН В.2.5-23:2010, задовільним значенням коефіцієнта потужності вважається $\cos\phi=0,95$.

Компенсація реактивної енергії: Враховуючи специфіку верстатного парку, багато електроприймачів цеху мають низький власний коефіцієнт активної потужності, що робить їх споживачами значної кількості реактивної енергії. Для досягнення нормативного показника 0,95, зменшення втрат та підвищення економічної ефективності системи у проєкті передбачено встановлення компенсуючих пристроїв (конденсаторних установок).

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Дотримання зазначених вимог забезпечує електромагнітну сумісність обладнання та мінімізує ризики виникнення браку продукції через нестабільність параметрів енергосистеми.

1.2.6 Обґрунтування кількості та місця розміщення силових розподільних пунктів і щитів освітлення

Основним та безпосереднім джерелом електричної енергії для об'єкта проєктування (механічного цеху) є комплектна трансформаторна підстанція (КТП) тупикового типу потужністю 400 кВА. Вибір саме такої потужності обумовлений результатами розрахунку навантажень та необхідністю забезпечення оптимального режиму роботи силового обладнання.

Ключові технічні характеристики джерела живлення: Силовий трансформатор: У проєкті прийнято до встановлення масляний трансформатор серії ТМ-400/10/0,4. Він здійснює перетворення електричної енергії з напруги вхідної мережі 10 кВ до рівня 0,4 кВ (380/220 В), що є галузевим стандартом для живлення трифазних асинхронних двигунів верстатного парку та однофазних мереж робочого освітлення.

Обґрунтування потужності: Вибір трансформатора потужністю 400 кВА є технічно виправданим, оскільки при сумарному розрахунковому навантаженні цеху $S_p=247,64$ кВА забезпечується коефіцієнт завантаження $k_z \approx 0,62$. Такий показник знаходиться в межах ідеального діапазону (0,6–0,7), що гарантує мінімальні втрати активної потужності в обмотках та забезпечує необхідний резерв для пуску потужних двигунів або розширення виробництва у майбутньому.

Конструктивне виконання: Підстанція виконана у вигляді КТП зовнішньої або внутрішньої установки (залежно від компонування підприємства). Вона включає пристрої з боку вищої напруги (ПВН), відсік силового трансформатора та розподільчий пристрій низької напруги (РПНН).

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Зв'язок із енергосистемою: Живлення підстанції здійснюється від головної понижувальної підстанції (ГПП) підприємства або від мереж енергопостачальної компанії по високовольтній кабельній лінії 10 кВ. На боці низької напруги передбачено встановлення автоматичних вимикачів для захисту відхідних ліній до силових пунктів (СП1–СП6) та щита освітлення.

Використання трансформатора ТМ-400 замість надлишкових потужностей дозволяє суттєво знизити капітальні витрати на обладнання та зменшити втрати холостого ходу, що підвищує загальну енергоефективність системи електропостачання механічного цеху

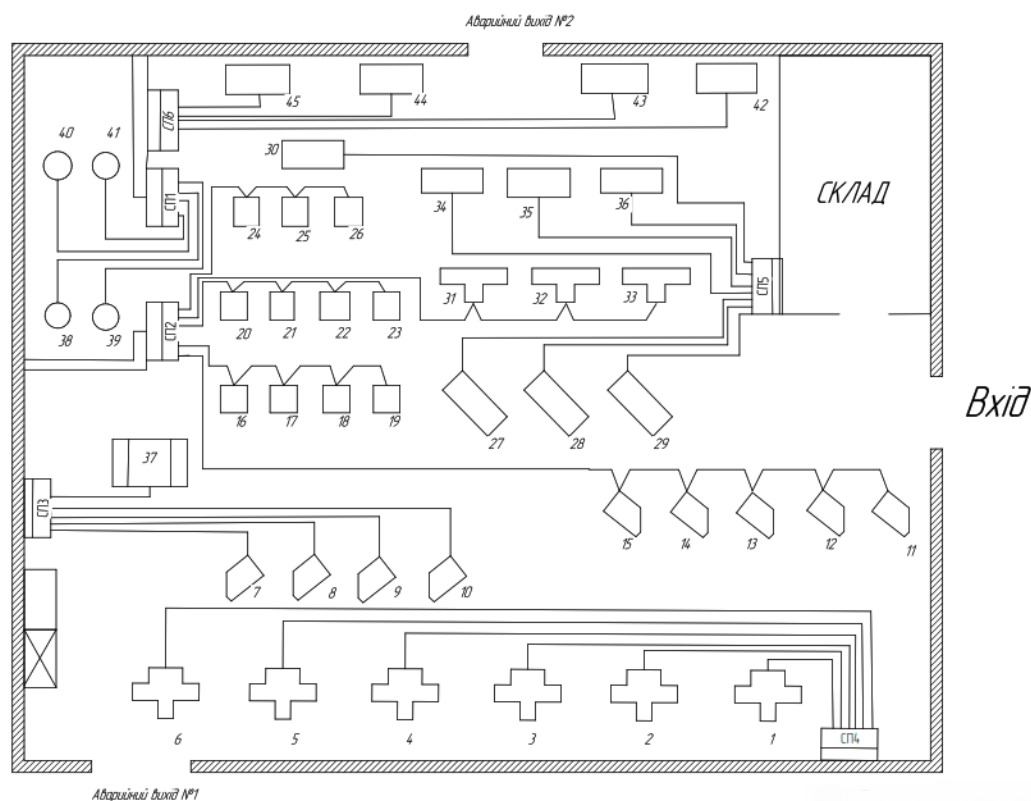


Рисунок 1.2 – План встановлення та підключення ЕП до СП

1.3 Визначення розрахункових навантажень механічного цеху

1.3.1 Методика розрахунку

Визначення розрахункових навантажень для промислового об'єкту виконуємо згідно[5]:

Розраховується сумарна номінальна потужність:

$$P_{\Sigma H} = N \cdot P_{\text{Пом}}, \quad (1.1)$$

Де n - кількість ЕП;

P_{Hi} - номінальна потужність ЕП;

Проміжну потужність визначаємо за допомогою коефіцієнта використання K_B :

$$P_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H}, \quad (1.2)$$

$$Q_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \text{tg}(f), \quad (1.3)$$

де k_B — коефіцієнт використання;

Розрахунок значення групового коефіцієнта використання:

$$K_B = \frac{\sum P_{\Pi}}{\sum P_H}, \quad (1.4)$$

Визначення ефективного числа ЕП(n_e) :

Якщо $\frac{P_{i\max}}{P_{i\min}} \leq 3$; або $n_p > n_f$, то примусово приймаємо значення розрахункової ефективності кількості ЕП рівною фактичній кількості.

Де $\frac{P_{i\max}}{P_{i\min}}$, максимальна та мінімальна потужності окремих електроприймачів.

1.3.2 Вихідні дані для проведення розрахунку

Вихідні дані для проведення розрахунку навантажень механічного цеху представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри електроприймачів цехової мережі

СПі	Номери на плані цеху	Назва ЕП	k_B	$\cos\varphi$	Номінальна потужність p_H , кВт
СП№1	40,41	Вентилятор припливний	0,70	0,85	30
	38,39	Вентилятор витяжний	0,70	0,85	22
СП№2	31-33	Агрегатні верстати	0,20	0,50	10
	16-23	Фрезувальні верстати	0,20	0,65	15
	24-26	Свердлильні верстати	0,14	0,50	4,6
	11-15	Заточувальні верстати	0,16	0,50	3
СП№3	7-10	Обдираючі верстати	0,20	0,60	30
	37	Мостовий кран ТВ=60%	0,06	0,50	51,5
СП№4	1-6	Шліфувальні верстати	0,20	0,85	25
СП№5	27-29	Токарні верстати	0,16	0,50	15
	34-36	Верстат горизонтально- розточний 2АФ4	0,16	0,50	22
	30	Верстат довбальний 7403	0,14	0,50	7,5
СП№6	42,43	Верстат поперечно стругальний 7Б35	0,16	0,50	5,5
	44	Гільйотина ЯВ2126	0,50	0,60	5,5
	45	Пила відрізна 101м	0,50	0,60	2,2

1.3.3 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів цехової мережі.

Розрахунок покажемо на прикладі розрахунку навантажень силового пункту №3 (СП № 3)

Розраховується сумарна номінальна потужність:

Для вентилятор припливний згідно з формулою (1.1):

$$P_{\Sigma H} = N \cdot P_{\text{Пит}} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ кВт}$$

Для вентилятор притяжний:

$$P_{\Sigma H} = N \cdot P_{\text{Пит}} = 2 \cdot 22 = 44 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт реактивної потужності силових споживачів беремо з таблиці 1.2.

Проміжну потужність визначаємо за допомогою коефіцієнта використання K_B :

Для вентилятор приточний за формулою (1.2), (1.3):

$$P_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H} = 0,85 \cdot 60 = 42 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}(f) = 0,85 \cdot 60 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,8^2}}{0,85} = 26,029 \text{ квар}$$

Для вентилятор притяжний обираємо:

$$P_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H} = 0,85 \cdot 44 = 30,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Pi} = K_B \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}(f) = 0,85 \cdot 44 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0,8^2}}{0,85} = 19,088 \text{ квар}$$

Аналогічним чином визначаємо сумарну номінальні та проміжні потужності для решти ЕП силових пунктів. Результати зведемо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Зведені розрахунки СП№1, СП№2, СП№3, СП№4, СП№5 та СП№6

Вихідні дані										Проміжні потужності	
За умовою							Довідкові				
Найм.ЕП	п од	Номінальна потужність кВт				Pнmax/ Pнmin	кВ/Кв	Cos(f)	tg(f)	Pп кВт	Qп кВт
		Pні	PнΣ	Pні max	Pні min						
Вентилятор приточний	2	30	60				0,7	0,85	0,62	42	26,029
Вентилятор притяжний	2	22	44				0,7	0,85	0,62	30,8	19,088
СП1	4		104	60	44	1,36363636	1,4			72,8	45,117
Агрегатні верстати	3	10	30				0,2	0,5	1,73	6	10,392
Свердлильні верстати	3	4,6	13,8				0,14	0,5	1,73	1,932	3,346

Продовження таблиці 1.3

Заточувальні верстати	5	3	15				0,16	0,5	1,73	2,4	4,157
Фрезирувальні верстати	8	15	120				0,2	0,65	1,17	24	28,059
СП2	19		178,8	120	13,8	8,69565217	0,7			72,8	32,216
Обдираючі верстати	4	30	120				0,2	0,6	1,33	24	32,000
Мостовий кран ТВ=25%	1	51,5	51,5				0,06	0,5	1,73	3,09	5,352
СП3	5		171,5	120	51,5	2,33009709	0,26			27,09	37,352
Шліфувальні верстати	6	25	150				0,2	0,85	0,62	30	18,592
СП4	6		150	150	150	1	0,2			30	18,529
Токарні верстати	3	15	72				0,16	0,5	1,73	11,52	19,953
Верстат горизонтально-розточний	3	22	66				0,16	0,5	1,73	10,56	18,290
Верстат довбальний	1	7,5	7,5				0,14	0,5	1,73	1,05	1,819
СП5	7		145,5	72	7,5	9,6	0,46			23,13	40,062
Верстат поперечно-стругальний	2	5,5	11				0,16	0,5	1,73	1,76	3,048
Гільйотина НГ 5233	1	5,5	5,5				0,5	0,6	1,3333	2,75	3,667
Пила відрізна 101м	1	2,2	2,2				0,5	0,6	1,3333	1,1	1,467
СП6	4		18,7	11	2,2	5	7			5,61	8,182

Розраховується значення групового коефіцієнта використання за формулою (1.4):

$$K_B = \frac{\sum P_{\Pi}}{\sum P_H} = \frac{104}{72,8} = 1,4$$

Визначається ефективне число ЕП (n_e):

Якщо $\frac{P_{imax}}{P_{imin}} \leq 3$; або $n_p > n_f$, то примусово приймаємо значення розрахункової ефективності кількості ЕП рівною фактичній кількості.

Перевіримо:

$$\frac{P_{imax}}{P_{imin}} = \frac{40}{30} = 1,33 < 3$$

$$n_e = \frac{(\sum P_{H\Sigma})^2}{\sum N \cdot (P_{\Pi T})^2} = \frac{104^2}{2 \cdot (42)^2 + 2 \cdot (30,8)^2} = 1,9$$

Оскільки $\frac{P_{imax}}{P_{imin}} = \frac{40}{30} = 1,33 < 3$, приймаємо значення рівним $n_e = 5$.

Визначають коефіцієнт розрахункового навантаження (КР) в функції від групового коефіцієнту використання і ефективного числа ЕП. КР визначається методом інтерполяції за довідниковою таблицею.

$$\frac{n_{e0} - n_{e1}}{n_{e2} - n_{e1}} = \frac{K_{P0} - K_{P1}}{K_{P2} - K_{P1}}$$

$$\frac{4 - 3}{5 - 3} = \frac{1 - 1}{1 - 1}$$

$$K_P = 1$$

Знаходимо розрахункову активну потужність за формулою (1.6):

$$P_P = K_P \cdot \sum P_{\Pi} = 1 \cdot 72,8 = 72,8 \text{ кВт}$$

Визначають розрахункову реактивну потужність за формулою (1.7): Коефіцієнт розрахункової потужності може приймати два значення, в залежності від розрахованої ефективної кількості ЕП. У нашому випадку $K_Q = 1,1$, оскільки $n_e < 10$.

$$Q_P = K_Q \cdot \sum Q_{\Pi} = 1,1 \cdot 45,117 = 49,62 \text{ квар}$$

Повну потужність знайдемо за формулою (1.8):

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}$$
$$S_P = \sqrt{72,8^2 + 49,62^2} = 88.102 \text{ kVA}$$

Розрахунковий струм знаходимо за формулою (1.9), приймаючи той факт, що всі ЕП працюють на напрузі 380 В .

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{88.102}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 133.86 \text{ A}$$

Аналогічний розрахунок для інших СП зведемо до таблиці 1.4а та таблиці 1.4б.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.4

Вихідні дані																				
За умовою																				
Найм. ЕП	п од	Номінальна потужність кВт				P _н max/ P _н min	Довідкові			Проміжні потужності		N _е розрах	N _е	K _р	Розрахункова потужніс			Розрахунковий струм I _р ,А		
		P _н	P _н Σ	P _н max	P _н min		K _в / K _в	cos (f)	tg (f)	P _п кВт	Q _п кВт				P _р кВт	Q _р квар	S кВ			
Вентилятор приточний	2,000	30,000	60,000				0,700	0,850	0,620	42,000	26,029									
Вентилятор витяжний	2,000	22,000	44,000				0,700	0,850	0,620	30,800	19,088									
СП1Σ	4,000		104,000	60,000	44,000	1,363	1,400			72,800	45,117	1,994	4,000	1,000	45,117	49,629	88,107	133,865		
Агрегатні верстати	3,000	10,000	30,000				0,200	0,500	1,730	6,000	10,392									
Свердильні верстати	3,000	4,600	13,800				0,140	0,500	1,730	1,932	3,346									
Заточувальні верстати	5,000	3,000	15,000				0,160	0,500	1,730	2,400	4,157									
Фрезирувальні верстати	8,000	15,000	120,000				0,200	0,650	1,170	24,000	28,059									
СП2	19,000		178,800	120,000	13,800	8,696	0,700			72,800	32,216	6,722	4,000	1,000	32,216	35,438	80,967	123,017		
Обдирючі верстати	4,000	30,000	120,000				0,200	0,600	1,330	24,000	32,000									
Мостовий кран ТВ=20%	1,000	51,500	51,500				0,060	0,500	1,730	3,090	5,352									
СП3	5,000		171,500	120,000	51,500	2,330	0,260			27,090	37,352	12,713	4,000	1,000	37,352	41,087	49,214	74,773		
Шліфувальні верстати	6,000	25,000	150,000				0,200	0,850	0,620	30,000	18,592									
СП4	6,000		150,000	150,000	150,000	1,000	0,200			30,000	18,529	4,167	4,000	1,000	18,529	20,382	36,269	55,105		
Токарні верстати	3,000	15,000	72,000				0,160	0,500	1,730	11,520	19,953									
Електроермічні	3,000	22,000	66,000				0,160	0,500	1,730	10,560	18,290									
Верстат довбальний	1,000	7,500	7,500				0,140	0,500	1,730	1,050	1,819									
СП5	7,000		145,500	72,000	7,500	9,600	0,460			23,130	40,062	28,851	4,000	1,000	40,062	44,068	49,770	75,617		
																	R _р кВт	Q _р квар	S кВ	
																			Розрахунковий струм I _р ,А	

Продовження таблиці 1.4Продовження таблиці 1.4

Верстат поперечно-строгальний	2,000	5,500	11,000							0,160	0,500	1,730	1,760	3,048									
Гільйотина ЯВ2126	1,000	5,500	5,500							0,500	0,600	1,333	2,750	3,667									
Пила відрізна 101м	1,000	2,200	2,200							0,500	0,600	1,333	1,100	1,467									
СП6	4,000		18,700	11,000	2,200	5,000	7,000						5,610	8,182	23,363	4,000	1,000	8,182	9,000	10,605			16,113
ΣСП	45,000			533,000	269,000	27,989	10,020						231,430	181,458	77,809	24,000	6,000	181,458	164,166	314,932			478,489

Щит освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», вважаючи що обробка механічних деталей потребує достатньо великої точності і гарної якості освітлення, характеризуємо роботу як роботу малої точності, розряду 5 В [11].

Тому загальна освітленість має бути близько 200 лк, як для більшості підприємств.

Для розрахунку освітлення в електромеханічному цеху використаємо метод коефіцієнта використання за [12].

Потрібний потік ламп в кожному світильнику Φ знаходиться з формули:

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{\mu}; \quad (1.10)$$

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{\mu} = \frac{200 \cdot 1,4 \cdot 1575 \cdot 1,1}{0,62} = 782419,354 \text{ (лм)} \quad (1.10)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу

$E_{\min}$ - мінімальна освітленість, лк;

F - площа, приміщення що освітлюється, m^2 ;

z - коефіцієнт нерівності освітленості;

μ - коефіцієнт використання світлового потоку - відношення світлового потоку, який падає на робочу поверхню, до світлового потоку світильників;

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін ρ_{ct} , стелі ρ_c , робочої поверхні ρ_p , та від показника приміщення i , який враховує співвідношення розмірів приміщення [12]

Приймаємо:

$$\rho_{cr} = 0,5$$

$$\rho_c = 0,3$$

$$\rho_p = 0,1$$

Коефіцієнт запасу $K_3 = 1,4$;

Мінімальна освітленість $E_{\min} = 200$ лк;

Коефіцієнт нерівномірності $z = 1,1$;

Площа приміщення:

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Враховуємо те, що під загальну площу підпадають ще два приміщення: вентиляційна камера та склад, але висота стін що відгороджують дані приміщення не перешкоджає встановленню загального освітлення на всю площу приміщення цеху.

$$F = A \cdot B \quad (1.11)$$

$$F = 45 \cdot 35 = 1575 \text{ m}^2 \quad (1.11)$$

де A - довжина цехового приміщення;

B - ширина цехового приміщення;

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

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)'} \quad (1.12)$$

$$h = G - h_c - h_p$$

де $H = 10 \text{ m}$ - висота приміщення цеху;

$h_p = 0,8 \text{ m}$ - висота робочої поверхні над підлогою згідно норм;

Висота мостового крану даної потужності складає 7 m , а тому:

$h_c = 2 \text{ m}$ – відстань світильників від перекриття;

$$h = 10 - 0,8 - 2 = 7,2 \text{ m}$$

Тоді:

$$i = \frac{45 \cdot 35}{7.2 \cdot (45 + 35)} = 1,98$$

$$\eta = 0,62$$

Визначимо світловий потік однієї лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості, лм [12]:

Нормоване значення освітленості для цеху дорівнює 200 лк .

Коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,15$.

Обираємо значення коефіцієнту запасу $k_3 = 1,8$.

Обираємо промисловий світильник серії VIDEX $\Phi_{\text{л}} = 27000 \text{ лм}$, $P_{\text{л}} = 150 \text{ Вт}$

$U = 220 - 240 \text{ В}$, $\cos(\mu) = 0.7$, що представлений на рисунку 1.3



Рисунок 1.3 - промисловий світильник серії VIDEX

Кількість світильників:

$$N_{CB} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (1,14)$$

$$N = \frac{782419,354}{27000} = 28.97 \approx 30 \text{ шт.} \quad (1,14)$$

Рисунок 1.4 - схема розміщення світильників

Розрахункова потужність ЩАО

Для забезпечення аварійного освітлення (10 лк) використаємо промисловий світильник серії VIDEX LED : $\Phi_{\text{л}} = 5400 \text{ лм}$, $P_{\text{л}} = 58 \text{ Вт}$ $U = 220 - 240 \text{ В}$. $\cos(\mu) = 0.7$, що представлений на рисунку 1.5.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ

Арк.

32



Рисунок 1.5 - промисловий світильник серії VIDEX LED

$$\Phi = \frac{E_{\text{мін}} \cdot \kappa_3 \cdot F \cdot z}{n} = \frac{10 \cdot 1.4 \cdot 1575 \cdot 1.1}{0.62} = 39120,96$$

$$N = \frac{39120,96}{5400} = 7.244 \approx 8$$

Знайдемо розрахункову потужність ЩО:

Відповідно [11] (пункту 3.21) приймаємо коефіцієнт попиту аварійного освітлення рівним 1.

Для забезпечення надійної евакуації персоналу та візуального позначення шляхів виходу в умовах аварійного відключення енергопостачання, у проєкті прийнято до встановлення сучасні LED-покажчики фірми VIDEX (серія Exit Light). Враховуючи наявність додаткових приміщень (складу та венткамери), встановлюється 4 таких покажчики потужністю 40 Вт кожен. Дані пристрої оснащені вбудованими Ni-Cd акумуляторами, що гарантують автономну роботу протягом 3 годин, та мають ступінь захисту IP54, що є критичним для запиленого середовища механічного цеху.

Додатково передбачено встановлення 4-х електронних пристроїв звукової сигналізації (сирен) потужністю 10 Вт. Їхні характеристики дозволяють створити необхідний рівень звукового тиску для чіткого оповіщення персоналу на фоні шуму працюючих верстатів. Усе обладнання інтегрується в єдину мережу живлення від ЩАО, що належить до I категорії надійності.

Сумарна розрахункова активна потужність показчиків та систем оповіщення становить 0,2 кВт, що враховано при виборі захисної апаратури та перерізу кабелів.

$$P_{P_{\text{ВИХІД}}} = N \cdot P_N \cdot K_B = 4 \cdot 0.04 \cdot 1 = 0.16 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_{\text{ВИХІД}}} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \text{tg}(\varphi) = 4 \cdot 0.04 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0.4 \text{ квар}$$

$$P_{P_{\text{ЗВУК}}} = N \cdot P_N \cdot K_B = 4 \cdot 0.01 \cdot 1 = 0.04 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_{\text{ЗВУК}}} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \text{tg}(\varphi) = 4 \cdot 0.01 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0.01 \text{ квар}$$

$$P_P = N \cdot P_N \cdot K_B = 40 \cdot 0.2 \cdot 0.95 = 7.6 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ОСВВВАР ОСВВ}} = N \cdot P_N \cdot K_B = 8 \cdot 0.2 \cdot 1 = 1.6 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{РОСНОСОВНЕ}} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \text{tg}(\varphi) = 40 \cdot 0.2 \cdot 0.95 \cdot 0.328 = 2.49 \text{ квар}$$

$$Q_{P_{\text{ОСВ АВАР}}} = N \cdot P_N \cdot K_B \cdot \text{tg}(\varphi) = 8 \cdot 0.2 \cdot 1 \cdot 0.25 = 0.4 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{РЦО} + \text{ЩАО} + \text{ВИХ} + \text{ЗВ}} = Q_{\text{РОВВСН}} + Q_{\text{РСВАВАР}} + Q_{\text{РОСВИХ}} + Q_{\text{РЗВУК}}$$

$$0.16 + 0.04 + 7.6 + 1.6 = 9.4 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{РЦО} + \text{ЩАО} + \text{ВИХ} + \text{ЗВ}} = Q_{\text{РОВВСН}} + Q_{\text{РСВАВАР}} + Q_{\text{РОСВИХ}} + Q_{\text{РЗВУК}}$$

$$= 0.04 + 0.01 + 2.49 + 0.4 = 3.39 \text{ квар}$$

$$S_{\text{РЦО} + \text{ЩАО} + \text{ВИХ} + \text{ЗВ}} = \sqrt{((9.4)^2 + (3.39)^2)} = 9.99 \text{ кВА}$$

$$I_{\text{РЦО} + \text{ЩАО} + \text{ВИХ} + \text{ЗВ}} = \frac{S_{\text{РЦО} + \text{ЩАО} + \text{ВИХ} + \text{ЗВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{0.38}} = \frac{9.99}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 15.18 \text{ А}$$

Цех не потребує встановлення зовнішнього освітлення, адже знаходиться на території підприємства що вже має зовнішню систему освітлення.

1.3.4 Розрахунок навантаження шин низької та високої напруги ТП

$$K_B = \frac{\sum_{\text{СП}=1}^5 \frac{P_{\text{П}i}}{P_{\text{Н}i}}}{\sum_{\text{СП}=1}^5 \frac{P_{\text{П}i}}{P_{\text{Н}i}}} = \frac{231.43}{589.70} = 0.39$$

Знайдемо ефективну кількість ЕП по цеху за спрощеною формулою при умовах:

$$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}} = \frac{68.18}{2.20} = 68.18 > 3$$

$$n_B = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^5 P_{H\text{сп}i}}{P_{H\max}} = \frac{2 \cdot (589.70)}{68.18} = 17.29 \approx 18$$

$$n_B = 18 < n_B = 45$$

$$\kappa_p = 1$$

κ_p визначається методом інтерполяції за довідниковою таблицею .

Потужності на шинах низької напруги трансформатора:

$$P_{P_{HH}} = \kappa_p \sum_{i=1}^5 P_{Pi} + P_{P_{OCB}} + \text{ЩАО+ВИХ+ЗВ}$$

$$P_{P_{HH}} = 1 \cdot (231.43) + 9,9 = 241.33 \text{ кВт}$$

$$Q_{P_{HH}} = \kappa_p \sum_{i=1}^5 Q_{Pi} + Q_{P_{OCB}} + \text{ЩАО+ВИХ+ЗВ}$$

$$Q_{P_{HH}} = 1 \cdot (193.44) + 3,39 = 196.83 \text{ Квар}$$

$$S_{P_{HH}} = \sqrt{(P_{P_{HH}}^2 + Q_{P_{HH}}^2)} = \sqrt{241.33^2 + 196.83^2} = 311.41 \text{ КВА}$$

Струм навантаження на шині НН трансформатора:

$$I_{P_{HH}} = \frac{S_{P_{HH}}}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{311.41}{0,38 \cdot \sqrt{3}} = 473.13 \text{ А}$$

Втрати активної та реактивної потужності визначаються стандартними коефіцієнтами $0.02 \cdot S_{P_{HH}}$ та $0.1 \cdot S_{P_{HH}}$ відповідно.

$$\Delta P = 0,02 \cdot S_{P_{HH}} = 0,02 \cdot 311.41 = 6.22 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = 0,1 \cdot S_{P_{HH}} = 0,1 \cdot 311.41 = 31.141 \text{ квар}$$

Навантаження на шини ВН трансформатора:

$$S_{P_{ВН}} = \sqrt{(\Delta P + P_{P_{HH}})^2 + (\Delta Q + Q_{P_{HH}})^2}$$

$$S_{P_{ВН}} = \sqrt{(6.22 + 311.41)^2 + (31.141 + 196.83)^2} = 390.97$$

$$I_{P_{ВН}} = \frac{S_{P_{ВН}}}{U_2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{390.97}{10 \cdot \sqrt{3}} = 22.51$$

Таблиця 1.5

Вихідні дані														Розрахунковий струм Ір ,А						
Найм. ЕП	п од	За умовою						Довідкові			Проміжні потужності				N _e розрах	N _e	K _φ	Розрахункова потужніс		
		P _{нi}	P _{нΣ}	P _{нmax}	P _{нmin}	P _{нmax} / P _{нmin}	K _в / K _б	cos (f)	tg (f)	P _{пкВт}	Q _{пкВт}	P _p кВт	Q _φ квар					S кВ		
Вентилятор приточний	2,000	30,000	60,000				0,700	0,850	0,620	42,000	26,029									
Вентилятор витяжний	2,000	22,000	44,000				0,700	0,850	0,620	30,800	19,088									
СП1Σ	4,000		104,000	60,000	44,000	1,363	1,400			72,800	45,117	1,994	4,000	1,000	45,117	49,629	88,107		133,865	
Агрегатні верстати	3,000	10,000	30,000				0,200	0,500	1,730	6,000	10,392									
Свердильні верстати	3,000	4,600	13,800				0,140	0,500	1,730	1,932	3,346									
Заточувальні верстати	5,000	3,000	15,000				0,160	0,500	1,730	2,400	4,157									
Фрезирувальні верстати	8,000	15,000	120,000				0,200	0,650	1,170	24,000	28,059									
СП2	19,000		178,800	120,000	13,800	8,696	0,700			72,800	32,216	6,722	4,000	1,000	32,216	35,438	80,967		123,017	
Обдирючі верстати	4,000	30,000	120,000				0,200	0,600	1,330	24,000	32,000									
Мостовий кран ТВ=20%	1,000	51,500	51,500				0,060	0,500	1,730	3,090	5,352									
СП3	5,000		171,500	120,000	51,500	2,330	0,260			27,090	37,352	12,713	4,000	1,000	37,352	41,087	49,214		74,773	
Шліфувальні верстати	6,000	25,000	150,000				0,200	0,850	0,620	30,000	18,592									
СП4	6,000		150,000	150,000	150,000	1,000	0,200			30,000	18,529	4,167	4,000	1,000	18,529	20,382	36,269		55,105	

Токарні верстати	3,000	15,000	72,000					0,160	0,500	1,730	11,520	19,953							
Електротермічні	3,000	22,000	66,000					0,160	0,500	1,730	10,560	18,290							
Верстат довбальний	1,000	7,500	7,500					0,140	0,500	1,730	1,050	1,819							
СП5	7,000		145,500	72,000	7,500	9,600	0,460				23,130	40,062	28,851	4,000	1,000	40,062	44,068	49,770	75,617
Верстат поперечно-строгальний	2,000	5,500	11,000				0,160	0,500	1,730		1,760	3,048							
Гільйотина ЯВ2126	1,000	5,500	5,500				0,500	0,600	1,333		2,750	3,667							
Пила відрізна 101м	1,000	2,200	2,200				0,500	0,600	1,333		1,100	1,467							
СП6	4,000		18,700	11,000	2,200	5,000	7,000				5,610	8,182	23,363	4,000	1,000	8,182	9,000	10,605	16,113
ΣСП	45,000			533,000	269,000	27,989	10,020				231,430	181,458	77,809	24,000	6,000	181,458	164,166	314,932	478,489
ЩО+ЩАО+ВИХІД+ЗВУК																9,400	3,390	9,990	15,180
шини НН																241,420	196,830	311,410	473,130
Втрати STR																6,220	31,414		
шини ВН																247 640	228,244	390,970	22,510

1.4 Вибір трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності

1.4.1 Вибір засобів компенсації реактивної потужності

Згідно ДБН В.2.5-23:2010 [5] задовільне значення коефіцієнта потужності має бути рівним 0,95 ($\cos \varphi = 0,95$).

Необхідно розрахувати коефіцієнт активної потужності для шин НН цехового трансформатора.

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{\text{НН}}}{S_{\text{НН}}} = \frac{241.33}{311.41} = 0,77$$

Згідно з попередніми розрахунками (таблиця 1.5) механічний цех споживає 196.83 квар реактивної потужності, тому для зменшення економічних витрат та покращення якості електропостачання необхідне встановлення конденсаторної установки.

Обираємо конденсаторну установку УКРМ-0,4-200 квар середня вартість 114286 грн, [13] технічні характеристики наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - технічні характеристики конденсаторної установки

Технічні характеристики УКРМ-0,4-200-6-20	
Номинальна потужність, квар	200
Потужність мінімальної ступені, квар	20
Кількість ступенів	6
Набір конденсаторних батарей	20+20+40+40+40+40

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{\text{НН}}}{S_{\text{НН}}} = \frac{241.33}{247.64} = 0.97$$

Таблиця 1.7

Вихідні дані															Розрахунковий струм Ір _А				
За умовою															Розрахункова потужність				
Найм. ЕП	n од	Номинальна потужність кВт					P _{нmax} / P _{нmin}	K _в / K _з	Довідкові		Проміжні потужності		N _е розрах	N _е	K _р	P _p кВт	Q _p квар	S кВт	
		P _{нi}	P _{нΣ}	P _{нmax}	P _{нmin}	cos (f)			tg (f)	P _{пкВт}	Q _{пкВт}								
Вентилятор приточний	2,000	30,000	60,000					0,700	0,850	0,620	42,000	26,029							
Вентилятор витяжний	2,000	22,000	44,000					0,700	0,850	0,620	30,800	19,088							
СП1Σ	4,000		104,000	60,000	44,000	1,363	1,400				72,800	45,117	1,994	4,000	1,000	45,117	49,629	88,107	133,865
Агрегатні верстати	3,000	10,000	30,000					0,200	0,500	1,730	6,000	10,392							
Свердлильні верстати	3,000	4,600	13,800					0,140	0,500	1,730	1,932	3,346							
Заточувальні верстати	5,000	3,000	15,000					0,160	0,500	1,730	2,400	4,157							
Фрезирувальні верстати	8,000	15,000	120,000					0,200	0,650	1,170	24,000	28,059							
СП2	19,000		178,800	120,000	13,800	8,696	0,700				72,800	32,216	6,722	4,000	1,000	32,216	35,438	80,967	123,017
Обдиральні верстати	4,000	30,000	120,000					0,200	0,600	1,330	24,000	32,000							
Мостовий кран ТВ=20%	1,000	51,500	51,500					0,060	0,500	1,730	3,090	5,352							
СП3	5,000		171,500	120,000	51,500	2,330	0,260				27,090	37,352	12,713	4,000	1,000	37,352	41,087	49,214	74,773
Шліфувальні верстати	6,000	25,000	150,000					0,200	0,850	0,620	30,000	18,592							
СП4	6,000		150,000	150,000	150,000	1,000	0,200				30,000	18,529	4,167	4,000	1,000	18,529	20,382	36,269	55,105

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Арк.
40

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Впровадження автоматизованої конденсаторної установки УКРМ-0,4-200 є ключовим етапом модернізації енергосистеми механічного цеху. Інвестиція в дане обладнання (середньою вартістю 114 286 грн) є високоефективною, оскільки дозволяє радикально знизити навантаження на цехову трансформаторну підстанцію та розподільні мережі. Завдяки компенсації 196,83 квар реактивної потужності, вдається досягти підвищення коефіцієнта потужності до 0,97, що значно зменшує втрати енергії та запобігає передчасному зносу ізоляції кабелів. З огляду на масштаб виробництва та сумарний енергозберігаючий ефект, орієнтовний термін повернення капіталовкладень становить один рік.

Після установки відповідного компенсуючого пристрою необхідно провести перерахунок таблиці 1.5 і внести відповідні корективи до таблиці 1.7.

1.4.2 Вибір цехового трансформатора

Вибір трансформатора реалізується згідно ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015 (пункт 11.16) [7].

Знайдемо густину навантаження цеху:

$$\rho = \frac{S_{P_{HH}}}{S_{A*B}} = \frac{247,64}{1575} = 0,157 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

Відповідно до [7] можемо обрати трансформатор ТМ-400/10/0,4 технічні характеристики представлені в таблиці 1.8. Оскільки електроприймачі цеху відносяться до третьої категорії надійності електропостачання, доцільно встановити один трансформатор відповідної потужності.

Розрахуємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$K_{3TI} = \frac{S_{P_{BH}}}{S_{H_{TP}}} = \frac{247,64}{400} = 0,61$$

Таблиця 1.8 - Технічні характеристики ТМ-400/10/0,4

Тип	Потужність, кВА	Номинальна напруга обмотки ВН, кВ	Номинальна напруга обмотки ВН,кВ	U _k %	I _{xx} %	Витрати холостого ход, Вт	Втрати короткого замиканн, Вт
ТМ 400	400	10	0,4	5,5	1,9	920	5900

Головні переваги трансформаторів ТМ 400 кВА:

Оптимальний коефіцієнт завантаження: При навантаженні 247,64 кВА коефіцієнт завантаження трансформатора потужністю 400 кВА становить приблизно 0,62, що є технічно та економічно найбільш вигідним режимом роботи (близьким до ідеального діапазону 0,6–0,7).

Тривалий термін експлуатації: Трансформатори серії ТМ розраховані на довгу службу, яка становить не менше 30 років при дотриманні нормальних умов роботи.

Зручність та швидкість монтажу: Конструкція передбачає наявність спеціальних санчат для переміщення та контактних з'єднань на виводах високої (ВН) та низької (НН) напруги, що дозволяє підключати кабелі без використання наконечників.

Економічна ефективність: Використання трансформатора 400 кВА замість 1000 кВА дозволяє суттєво знизити втрати неробочого ходу (холостого ходу) та зменшити капітальні витрати на придбання обладнання.

Надійність для споживачів III категорії: Оскільки 90% електроприймачів вашого цеху відносяться до III категорії надійності, встановлення одного трансформатора відповідної потужності є повністю обґрунтованим рішенням.

Стійкість до перевантажень: Масляне охолодження забезпечує хороше відведення тепла від обмоток, що дозволяє трансформатору стабільно працювати при короткочасних змінах навантаження, характерних для верстатного парку.

1.4.3 Обґрунтування виду виконання та комплектації підстанції механічного цеху

Враховуючи результати розрахунку електричних навантажень після впровадження системи компенсації реактивної потужності ($S_p = 247,64$ кВА), для електропостачання механічного цеху обрано комплектну трансформаторну підстанцію (КТП) тупикового типу потужністю 400 кВА напругою 10/0,4 кВ.

Обґрунтування вибору:

Потужність: Вибір трансформатора ТМ-400 є оптимальним, оскільки забезпечує коефіцієнт завантаження $K_z = 0,62$. Це дозволяє обладнанню працювати в найбільш економічному режимі з максимальним ККД, зберігаючи при цьому необхідний резерв (близько 38%) для можливого розширення виробництва.

Тип виконання: Оскільки 90% електроприймачів цеху належать до III категорії надійності, згідно з вимогами ПУЕ, встановлення однієї КТП тупикового типу є достатнім та технічно обґрунтованим рішенням.

Розміщення: КТП розташовується на території підприємства на відстані 10 метрів від будівлі цеху. Таке наближення до центру електричних навантажень мінімізує довжину кабельних ліній 0,4 кВ, що суттєво знижує втрати напруги та енергії в мережі.

Комплектація обраної КТП-400:

Силовий блок: Масляний трансформатор серії ТМ-400/10/0,4-У1. Він відрізняється високою надійністю, стійкістю до перевантажень та тривалим терміном експлуатації (не менше 30 років).

Висока напруга (ВН): Шафа вводу обладнана високовольтними запобіжниками серії ПКТ. Для забезпечення безпечного обслуговування на опорі перед КТП передбачено встановлення роз'єднувача РЛНДз-10/630.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Низька напруга (НН): Розподільчий пристрій (РУНН) укомплектований автоматичними вимикачами для захисту ліній, що живлять силові пункти СП№1–СП№6. Також встановлено вузол обліку електроенергії з багатотарифним лічильником та контрольно-вимірювальні прилади (амперметри, вольтметр).

1.5 Визначення центру навантаження

Розрахунок центру електричних навантажень (ЦЕН) проводиться для того, щоб знайти найкраще місце для встановлення трансформаторної підстанції. Чим ближче підстанція знаходиться до цього центру, тим коротшими будуть кабельні лінії, що дозволяє значно зменшити втрати напруги та зекономити на вартості провідників.

Порядок визначення: Для пошуку оптимальної точки було проаналізовано розташування та потужність усіх груп обладнання цеху (від СП№1 до СП№6) та мережі освітлення. Загальна активна потужність, що враховувалася, становить 241,33 кВт. Місце розташування кожної групи споживачів визначалося безпосередньо за планом розміщення верстатів на рисунку 1.1.

Результати та прийняте рішення: Аналіз показав, що центр навантажень знаходиться в зоні, де зосереджені найпотужніші споживачі — шліфувальні та обдирні верстати.

Оскільки всередині цеху немає вільного місця для монтажу підстанції через високу щільність обладнання, було прийнято рішення розмістити підстанцію КТП-400 ззовні будівлі. Вона встановлюється на відстані 10 метрів від стіни цеху, максимально близько до розрахованої точки центру навантажень. Таке розташування забезпечує ефективну роботу мережі та надійне живлення всього верстатного парку.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.6 Розрахунок живильних і розподільних електричних мереж

1.6.1 Вибір ліній живлення електроприймачів

Для вибору кабелю необхідно знайти номінальний струм кожного ЕП окремо. Зведемо розрахунки в таблицю 1.10.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos(\mu)} \quad (2.16)$$

Таблиця 1.10 - Розрахункові номінальні струми ЕП

Електроприймач	Струм(А)
Вентилятор приточний	53,62
Вентилятор витяжний	39,32
Агрегатні верстати	30,39
Свердлильні верстати	13,98
Заточувальні верстати	9,12
Фрезувальні верстати	35,06
Обдираючі верстати	75,96
Мостовий кран ТВ=25%	156,49
Шліфувальні верстати	44,69
Токарні верстати	45,58
Розточувальні Верстати	66,85
Версат довбальний	22,79
Верстат поперечно стругальний	16,71
Гільотина	13,92
Пила відрізна	5,57

Враховуючи наявність механічних відходів,пилу та наявності великої кількості потужних електроприймачів, лінії живлення ЕП будемо прокладати в підлозі з використанням металевих труб. Застосовуємо кабель АВВГ (мінімально допустимі перерізи кабелів обираємо з ПУЕ [3] таблиця 1.3.12).

Для внутрішньо цехового освітлення більш доцільно обрати кабель ВВГ, що буде заправлений в гофру та прокладений вздовж стін і підведений до світильників.

Таким же чином буде виконане аварійне освітлення і звукова сигналізація.

Також необхідно обрати шафи силових пунктів та щити освітлення, основного та аварійного з відповідним класом захисту IP53 враховуючи наявність шкідливих чинників. Обране обладнання зводимо до таблиці 1.11.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.11 – Обладнання цехової розподільної мережі 0,4 кВ

СП і ЕП	Електроприймачі	I_{nom} , А	Силова шафа (IP53)	Автомат. вимикач	Кабель (марка, переріз, I_{add})	Труба/ гофра d , мм
СП1	Вентилятор припливний	53,62	СПМ 75-3У3	ВА 2003 80А	АВВГ 4х16 (67А)	25
	Вентилятор витяжний	39,32		ВА 2003 63А	АВВГ 4х10 (50А)	20
СП2	Агрегатний верстат	30,39	СПМ 75-1У3	ВА 2003 40А	АВВГ 4х10 (50А)	20
	Свердлильний верстат	13,98		ВА 2003 20А	АВВГ 4х4 (29А)	16
	Заточувальний верстат	9,12		ВА 2003 16А	АВВГ 4х4 (29А)	16
	Фрезувальний верстат	35,06		ВА 2003 50А	АВВГ 4х10 (50А)	20
СП3	Обдираючий верстат	75,96	СПМ 75-7У3	ВА 2004 100А	АВВГ 4х35 (93А)	32
	Мостовий кран	156,49		ВА 2004 200А	АВВГ 4х70 (143А)	50
СП4	Шліфувальний верстат	44,69	СПМ 75-7У3	ВА 2003 63А	АВВГ 4х16 (67А)	25
СП5	Токарний верстат	45,58	СПМ 75-5У3	ВА 2003 63А	АВВГ 4х16 (67А)	25
	Горизонт.- розточувальний	66,85		ВА 2003 80А	АВВГ 4х25 (80А)	32
	Верстат довбальний	22,79		ВА 2003 32А	АВВГ 4х6 (37А)	20
СП6	Поперечно-стругальний	16,71	СПМ 75-1У3	ВА 2003 25А	АВВГ 4х4 (29А)	16
	Гільйотина	13,92		ВА 2003 20А	АВВГ 4х4 (29А)	16
	Пила відрізна	5,57		ВА 2003 10А	АВВГ 4х4 (29А)	16
ЩО	Основне освітлення	12,20	OVT-ELS	ВА 47-29 16А	ВВГ 3х2,5 (25А)	16
ЩАО	Аварійне освітлення	1,08	OVT-ELS	ВА 46 6А	ВВГ 3х1,5 (19А)	1

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ

Арк.

46

1.6.2 Вибір ліній живлення силових пунктів

КТП2 розташована на території підприємства і знаходиться на відстані 10 м від цеху. Від шин НН прокладено кабельні лінії 10 кВ, що забезпечують живлення СП.

Глибина прокладання кабельної лінії нормується згідно [3].

Для вибору кабельних ліній необхідно використати номінальні струми для кожного СП, що представлені раніше в таблиці 1.5. Після вибору типу кабелю необхідно виконати перевірку за допустимим струмом, враховуючи умови прокладання кабелю.

Вихідні дані та розраховані параметри представлені в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Розрахунок елементів мережі 10 кВ

Силовий пункт	Відстань L, м	Струм I_p , А	Марка та переріз кабелю	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	I_{add} , А	ΔU , %
СП1	25	133,86	АВВГ 4х70	0,443	0,082	162	0,45
СП2	25	123,01	АВВГ 4х70	0,443	0,082	162	0,42
СП3	35	74,77	АВВГ 4х35	0,868	0,089	108	0,61
СП4	25	55,10	АВВГ 4х25	1,210	0,092	87	0,48
СП5	50	75,61	АВВГ 4х35	0,868	0,089	108	0,88
СП6	65	16,11	АВВГ 4х16	1,910	0,102	67	0,60
ЩО+ЩАО	15	15,18	АВВГ 4х10	3,110	0,105	50	0,20

K_1 – Коефіцієнт, що враховує фактичні термічні умови експлуатації, приймаємо $K_1=1,06$, вважаючи, що середньорічна температура в регіоні експлуатації $+5^\circ\text{C}$;

K_2 – Коефіцієнт, що враховує кількість прокладених кабелів. Оскільки кабель 1 приймаємо коефіцієнт рівним 1.

$$162 \cdot 1,06 \cdot 1 = 171,12 \geq 133,86$$

Умова виконується.

Виконаємо перевірку на втрату напруги.

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}}$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$$

$$\Delta U = \frac{Pp \cdot r_0 + Qp \cdot x_0}{U_H^2} \cdot L \cdot 100\%$$

де – Р – активна потужність що передається по лінії, кВт;

Q – реактивна потужність передається по лінії, квар;

R – питомий активний опір кабельної лінії, Ом/км;

X – питомий індуктивний опір кабельної лінії, Ом/км;

L – довжина кабельної лінії, км

Uл – лінійна напруга мережі, В;

$$\Delta U = \frac{72,8 \cdot 0,443 + 49,6 \cdot 0,082}{0,38^2} \cdot 0,025 = \frac{32,25 + 4,06}{0,1444} \cdot 0,025 \approx 0,45\%$$

$$0,45\% < 5\%$$

Розрахунки для інших СП представлені в таблиці 1.11.

Схема приєднання СП до ТП наведена на рисунку 1.8

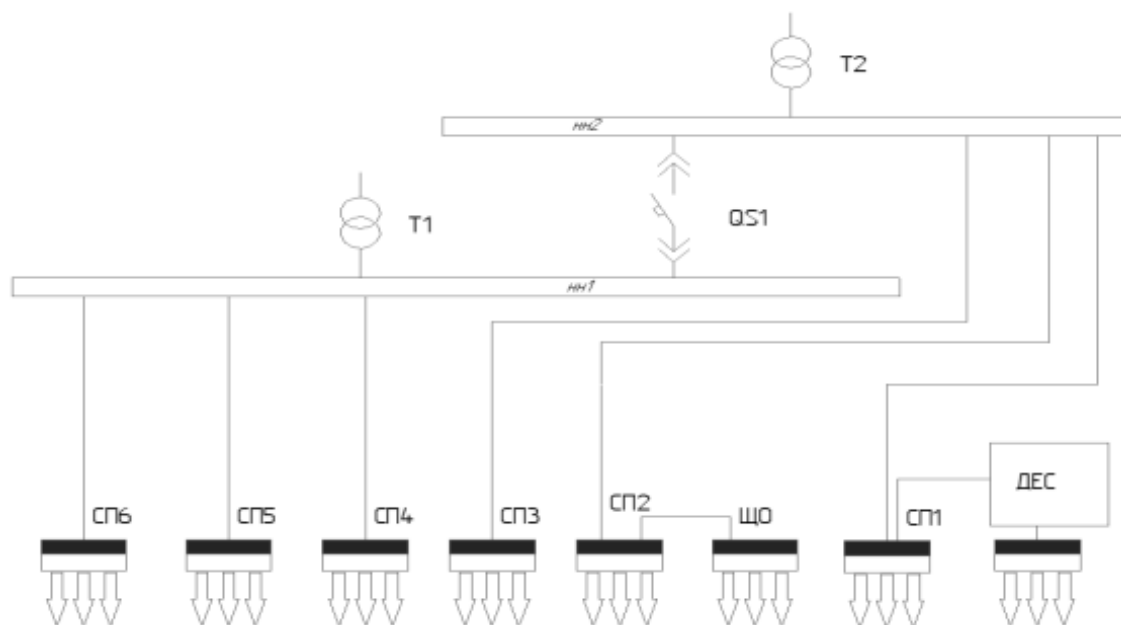


Рисунок 1.8 – Схема приєднання СП до ТП

1.6.3 Вибір кабелю живлення цехової ТП

Цехова трансформаторна підстанція КТП-400 отримує живлення від заводського розподільного пункту (РП) напругою 10 кВ. Відстань від РП до об'єкта проєктування становить 0,8 км. Вибір живильної лінії високої напруги

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ

Арк.

48

(ВН) виконується за розрахунковим струмом нормального режиму та перевіряється на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Для зовнішнього електропостачання в мережах 10 кВ найбільш доцільним є використання кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену. Обираємо трижильний кабель марки АПвП 3х35/16-10 (алюмінієві жили, переріз 35 мм², номінальна напруга 10 кВ). Даний переріз є мінімально допустимим для мереж 10 кВ за умовами механічної міцності та термічної стійкості до струмів КЗ.

Перевіримо обраний кабель за умовами допустимого струму нормального режиму:

$$I_{\text{КТП}} < I_{\text{Доп}} \cdot K_1 \cdot K_2$$

де:

K₁ - Коефіцієнт, що враховує фактичні термічні умови експлуатації, приймаємо K₁=1,06, вважаючи, що середньорічна температура в регіоні експлуатації +5С.

K₂ - Коефіцієнт, що враховує кількість прокладених кабелів. Оскільки кабель 1, приймаємо коефіцієнт рівним 1.

$$119 \cdot 1,06 \cdot 1,0 = 126,14 \text{ А} \geq 14,31 \text{ А}$$

Умова виконується

Перевірка на втрату напруги: Враховуючи малу величину робочого струму (14,31 А) та довжину лінії (0,8 км), втрата напруги в кабелі ВН становить менше 0,5%, що значно нижче допустимих 5% і не впливає на якість напруги на затискачах трансформатора.

1.6.4 Вибір комутаційної апаратури розподільної мережі

Автоматичні вимикачі (АВ) використовуються для проведення струму у нормальному режимі та автоматичного роз'єднання електричних кіл при виникненні коротких замикань, тривалих перевантажень або значному зниженні напруги.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для надійного захисту мережі механічного цеху вибір АВ проводиться за наступними критеріями:

1. За напругою: Номінальна напруга вимикача повинна бути не меншою за напругу мережі ($U_{ном} \geq 380 \text{ В}$).

2. За розрахунковим струмом: Номінальний струм вимикача повинен перевищувати тривалий розрахунковий струм лінії ($I_{ном.авт} \geq I_p$).

3. За струмом розціплювача: Струм теплового розціплювача обирається з умови $I_p \geq 1,1 \cdot I_p$ для запобігання хибним спрацюванням при нормальних коливаннях навантаження.

Для захисту магістральних ліній від КТП-400 до силових пунктів обрано автоматичні вимикачі серій ВА-2003 та ВА-2004, які відрізняються високою комутаційною здатністю (25 кА). Розрахункові дані для вибору апаратів захисту зведені в таблицю 1.13.

Таблиця 1.13 – Вибір автоматичних вимикачів для СП[15],[16]

Силовий Пункт	Розрахунковий струм I_p , А	Автоматичний вимикач (тип, номінал струму)
СП 1	133,86	ВА-2004 3Р 160А 25кА
СП 2	123,01	ВА-2004 3Р 160А 25кА
СП 3	74,77	ВА-2003 3Р 100А 25кА
СП 4	55,10	ВА-2003 3Р 80А 25кА
СП 5	75,61	ВА-2003 3Р 100А 25кА
СП 6	16,11	ВА-2003 3Р 25А 25кА
ЩО	12,20	ВА47-29 1Р 16А
ЩАО	1,08	ВА46 2Р 6А

В якості комутаційних апаратів з видимим розривом кола для забезпечення безпеки при виконанні ремонтних робіт на шинах НН КТП використовуються роз'єднувачі (або блоки «запобіжник-вимикач»). Вони дозволяють візуально

підтвердити знеструмлення лінії перед початком обслуговування. Вибір роз'єднувачів серії ВР32 проведено в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Вибір роз'єднувачів для шин НН КТП [16]

№ СП	Розрахунковий струм I_p , А	Марка роз'єднувача та номінал струму
СП 1	133,86	ВР32-35 В31250 250А
СП 2	123,01	ВР32-35 В31250 250А
СП 3	74,77	ВРП32-31 В31250 100А
СП 4	55,10	ВРП32-31 В31250 100А
СП 5	75,61	ВРП32-31 В31250 100А
СП 6	16,11	ВРП32-31 В31250 100А

1.6.5 Вибір апаратури живильної мережі

Вибір комутаційної та захисної апаратури живильної мережі виконується для обох сторін трансформаторної підстанції: високої напруги (ВН — 10 кВ) та низької напруги (НН — 0,4 кВ).

Згідно з комплектацією обраної підстанції тупикового типу, для створення видимого розриву кола та забезпечення безпеки під час обслуговування на ввідній лінії встановлюється роз'єднувач зовнішньої установки серії РЛНДз-10/630. Він дозволяє вмикати та вимикати знеструмлені ділянки мережі, а також заземлювати їх за допомогою стаціонарних заземлювачів. Для захисту силового трансформатора від коротких замикань на стороні ВН використовуються запобіжники серії ПКТ.

Технічні характеристики роз'єднувача наведені в таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Основні технічні характеристики РЛНДз-10/630

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Максимальна робоча напруга, кВ	12
Номінальний струм, А	630
Ресурс механічної стійкості, тисяч циклів	10
Тип приводу	ручний
Вага, кг	30

1.6.6 Вибір трансформатора струму

Трансформатори струму (ТС) призначені для масштабного перетворення змінного струму високої величини у струм, придатний для підключення стандартних вимірювальних приладів (амперметрів, лічильників) та реле захисту.

Вибір ТС для вводу низької напруги механічного цеху виконується за наступними умовами:

За напругою: $U_{nom} \geq U_c$ (0,66 кВ $\geq$ 0,4 кВ).

За струмом: Номінальний первинний струм ТС повинен бути не меншим за максимальний робочий струм електроустановки: I

$I_{nom} \geq I_{max}$.

Згідно з отриманим значенням, до встановлення приймаються три трансформатори струму опорного типу марки Т-0,66 з коефіцієнтом трансформації 600/5. Клас точності 0,5S обрано для забезпечення високої точності комерційного обліку електроенергії.

Технічні характеристики обраного обладнання наведені в таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Технічні характеристики трансформатора струму Т-0,66 600/5

Параметр	Значення
Тип трансформатора	Т-0,66
Номінальна напруга, кВ	0,66
Клас точності	0,5S
Номінальний первинний струм, А	600
Номінальний вторинний струм, А	5
Номінальне вторинне навантаження, ВА	5
Частота мережі, Гц	50

Обрані трансформатори струму забезпечують роботу вимірювальних приладів у нормальному класі точності та витримують максимальне навантаження підстанції КТП-400 без перегріву первинної обмотки.

1.7 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротке замикання (КЗ) являє собою аварійний режим роботи системи електропостачання, що супроводжується різким зростанням сили струму через випадкове з'єднання фаз між собою або з землею. Оскільки струми КЗ у багато разів перевищують номінальні робочі значення, їх точний розрахунок є критично необхідним для забезпечення пожежної безпеки, надійності обладнання та захисту персоналу механічного цеху.

Основна мета розрахунку струмів КЗ у проєкті:

1. Визначення максимальних струмів: Це дозволяє перевірити обране обладнання (автоматичні вимикачі, роз'єднувачі) та кабельні лінії на термічну та електродинамічну стійкість. Обрані апарати повинні витримувати ударну дію струму КЗ без руйнування конструкції.

2. Визначення мінімальних струмів: Розрахунок мінімально можливих значень (зазвичай однофазного КЗ у найвіддаленішій точці) необхідний для перевірки чутливості засобів захисту. Це гарантує, що автоматичні вимикачі вчасно відключають пошкоджену ділянку мережі.

Методика проведення розрахунків: Згідно з вимогами нормативної документації, розрахунок струмів КЗ для системи механічного цеху виконується двома методами залежно від рівня напруги:

Для мереж вище 1 кВ (сторона 10 кВ): Розрахунок проводиться у відносних базисних одиницях. За базисну потужність приймається потужність системи ($S_b = 4700$ МВА), що дозволяє спростити обчислення параметрів високовольтного кабелю та вводу в ТП.

Для мереж нижче 1 кВ (сторона 0,4 кВ): Розрахунок виконується в іменованих одиницях (мОм) із урахуванням активних та індуктивних опорів усіх елементів ланцюга: трансформатора, магістральних кабелів, шин та контактних з'єднань.

Такий комплексний підхід забезпечує високу точність результатів, що є основою для фінальної перевірки селективності захисту та стійкості всієї системи електропостачання цеху.

1.7.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1 кВ

Для перевірки високовольтного обладнання та живильного кабелю проводиться розрахунок трифазного короткого замикання (КЗ) у точці К1 (на шинах 10 кВ цехової підстанції).

1.7.1.1 Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

На розрахункову схему наносимо основні параметри елементів системи електропостачання. Розрахунок проводимо з точністю до третього знаку після коми. Вихідні дані розрахункової схеми для точки К1 (шини 10 кВ) представлені в таблиці 1.17.

Таблиця 1.17 – Вихідні дані елементів розрахункової схеми

Елемент мережі	Кількість та переріз жил, мм ²	l_0 , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{доп}$, А
Енергосистема	—	—	—	—	—
Кабельна лінія 10 кВ	АПвП 3х35	0,8	0,868	0,095	132

Приймаємо за базисну потужність $S_б = 4700$ МВА (згідно з потужністю вимкнення вимикача системи) та базисну напругу $U_б = 10,5$ кВ.

Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення:

- Опір енергосистеми: Оскільки базисна потужність прийнята рівною потужності КЗ системи ($S_{sc}=4700$ МВА), реактивний опір системи у відносних одиницях становить:

$$X_s = \frac{S_б}{S_{sc}} = \frac{4700}{4700} = 1,000$$

- Опір кабельної лінії 10 кВ: Розраховується на основі питомого індуктивного опору кабелю ($x_0=0,095$ Ом/км) та його довжини ($L=0,8$ км)

$$X_L = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_б}{U_б^2} = 0,095 \cdot 0,8 \cdot \frac{4700}{10,5^2} = 0,076 \cdot 42,630 = 3,240$$

- Сумарний реактивний опір до точки К1:

$$X_{\Sigma} = X_s + X_L = 1,0 + 3,24 = 4,24$$

Отримане значення сумарного опору $X_{\Sigma} = 4,24$ буде використане в наступному пункті для визначення сили струму та ударної потужності трифазного КЗ на стороні високої напруги трансформатора.

1.7.1.2. Вибір електрообладнання КТП і живильних мереж

На основі розрахованих значень струмів короткого замикання та робочих навантажень механічного цеху, проведено вибір комутаційної, захисної та вимірювальної апаратури для комплектної трансформаторної підстанції КТП-400.

1. Обладнання сторони високої напруги (10 кВ): У шафу вводу високої напруги (УВН) встановлюємо вимикач навантаження з ручним приводом та високовольтні запобіжники для захисту силового трансформатора від внутрішніх пошкоджень та КЗ на ошибовці.

Запобіжник: Обираємо запобіжник серії ПКТ 101-10-31,5-12,5 УЗ. Номінальний струм плавкої вставки (31,5 А) обраний з умовою відлаштування від номінального струму трансформатора ТМ-400 ($I_{nomVN}=23,1$ А) та пускових струмів.

Роз'єднувач: Перед вводом у КТП на опорі встановлюється РЛНДз-10/630.

2. Обладнання сторони низької напруги (0,4 кВ): У шафу вводу низької напруги (РУНН) встановлюємо апаратуру захисту, контролю та обліку електроенергії.

Ввідний автоматичний вимикач: Обираємо селективний автомат серії ВА 55-41 на номінальний струм 630 А. Він забезпечує захист від КЗ на шинах та перевантаження трансформатора.

Трансформатори струму: Для роботи приладів обліку та амперметрів встановлюємо три ТС типу Т-0,66 600/5 (клас точності 0,5S).

Контрольно-вимірювальні прилади:

Лічильник електричної енергії: трифазний багатотарифний СЕ303 R33 (Енергомера).

Вольтметр: Э8021 (межа вимірювання 450 В).

Амперметри: Э8021 (600/5 А) — встановлюються у кожній фазі для контролю симетрії навантаження.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Розрахунок та вибір живильних ліній для основних розподільчих пунктів: Вибір кабелів виконується за розрахунковим струмом (I_p) та перевіряється за економічною щільністю струму та умовами прокладання.

Фідер СП1 (найбільш завантажений): Розрахунковий струм: $I_p=133,86$ А. Обираємо автоматичний вимикач ВА-2004 160А. Кабель живлення: АВВГ 4х70. Перевірка за допустимим струмом: $162 \text{ А} \cdot 1,06 > 133,86 \text{ А}$ — Умова виконується.

Фідер СП2: Розрахунковий струм: $I_p=123,01$ А. Обираємо автоматичний вимикач ВА-2004 160А. Кабель живлення: АВВГ 4х70. Перевірка: $162 \text{ А} \cdot 1,06 > 123,01 \text{ А}$ — Умова виконується.

Нижче наведено зведену таблицю обраного обладнання для РУНН КТП-400.

Таблиця 1.18 – Специфікація основного електрообладнання ввідної шафи КТП

Найменування обладнання	Тип, марка	Характеристики
Автоматичний вимикач (ввід)	ВА 55-41	630 А, 0,4 кВ
Трансформатор струму	Т-0,66	600/5 А
Лічильник електроенергії	СЕ303 R33	багатотарифний
Амперметр щитовий	Э8021	600/5 А
Вольтметр щитовий	Э8021	450 В
Запобіжник високовольтний	ПКТ-101	10 кВ, 31,5 А

1.7.1.3. Розрахунок перетину жил і вибір живильного кабелю КТП

Вибір перерізу жил кабельної лінії 10 кВ, що забезпечує живлення проектованої підстанції КТП-400, виконується за умовою економічної щільності струму з подальшою обов'язковою перевіркою провідника на термічну стійкість до дії струмів короткого замикання (K_3).

1. Визначення розрахункового струму на стороні високої напруги (ВН): Розрахунок проводиться за повною потужністю цеху після компенсації реактивної потужності ($S_p = 247,64$ кВА) за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{247,64}{1,73 \cdot 10} = 14,30 \text{ А}$$

2. Визначення економічного перерізу жил кабелю (S_e): Економічно доцільний переріз визначається за формулою:

$$S_e = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{14,30}{1,4} = 10,21 \text{ мм}^2$$

де $j_{ек} = 1,4$ А/мм² — економічна щільність струму для кабелів з алюмінієвими жилами при числі годин використання максимуму навантаження понад 5000 год/рік.

3. Перевірка перерізу на термічну стійкість до струмів КЗ (S_{min}): Мінімально допустимий переріз провідника за умовою термічної стабільності в аварійному режимі визначається за формулою :

$$S_{min} = \frac{I \cdot \sqrt{t_{пр}}}{C} = \frac{4300 \cdot \sqrt{0,16}}{85} = \frac{4300 \cdot 0,4}{85} = 20,24 \text{ мм}^2$$

де:

$I = 4,3$ кА - сталий струм короткого замикання (прийнято за параметрами енергосистеми);

$t_{пр} = 0,16$ с - приведений час проходження струму КЗ;

$C = 85$ - коефіцієнт, що враховує матеріал (алюміній) та ізоляцію кабелю (зшитий поліетилен).

4. Остаточний вибір кабелю: Порівнюючи розраховані значення ($S_e = 10,21$ мм² та $S_{min} = 20,24$ мм²), бачимо, що визначальною умовою є термічна стійкість під час КЗ. Необхідний переріз має бути не менше 20,24 мм².

Згідно зі стандартною шкалою перерізів та враховуючи вимоги до механічної міцності ліній напругою 10 кВ, до встановлення приймаємо трижильний кабель з алюмінієвими жилами та ізоляцією зі зшитого поліетилену: Марка кабелю: АПвП 3х35/16-10.

Обраний переріз 35 мм² повністю задовольняє всім технічним умовам:

35 мм² > 10,21 мм² (економічна доцільність виконується);

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

35 мм²>20,24 мм² (термічна стійкість при КЗ забезпечена).

Для надійного електропостачання механічного цеху обрано кабель АПвП 3х35, який гарантує стабільну роботу системи в нормальному режимі та витримує термічні навантаження в разі аварійних ситуацій.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Висновки до розділу 1

У першому розділі було розроблено систему електропостачання механічного цеху промислового підприємства. На основі проведених досліджень та розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз споживачів: Визначено основні вимоги до надійності та якості електропостачання. Більшість електроприймачів цеху (90%) належать до III категорії надійності, що дозволяє використовувати однострансформаторну схему живлення.

2. Розрахунок навантажень: Виконано розрахунок електричних навантажень методом упорядкованих діаграм. Загальна потужність цеху після впровадження системи компенсації реактивної потужності склала $S_p=247,64$ кВА.

3. Вибір обладнання ТП: Згідно з розрахунковим навантаженням, обрано силовий масляний трансформатор ТМ-400/10/0,4. Коефіцієнт його завантаження в нормальному режимі становить 0,62, що є технічно та економічно оптимальним показником. Для об'єкта проектування прийнята комплектна трансформаторна підстанція КТП-400 тупикового типу.

4. Проектування мереж: Здійснено вибір та перевірку комутаційного обладнання (автоматичні вимикачі серій ВА-2003, ВА-2004, ВА 55-41) та кабельної продукції. Для розподільної мережі 0,4 кВ обрано кабелі марки АВВГ, а для живильної лінії 10 кВ — сучасний кабель зі зшитого поліетилену АПвП 3х35. Всі лінії перевірені за умовами допустимого нагріву та втрат напруги, які не перевищують нормативні 5% (максимальна втрата склала 0,88%).

5. Перевірка стійкості: Розраховано струми короткого замикання для точок на стороні 10 кВ [1.7.1.1]. Перевірка підтвердила термічну стійкість обраного високовольтного кабелю до дії струмів КЗ ($S_{min}=20,24 \text{ мм}^2 < 35 \text{ мм}^2$) [1.7.1.3].

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

6. Обґрунтування подальших розробок: Аналіз технологічного процесу показав наявність споживачів (вентиляція, окремі верстати), які потребують підвищеної надійності живлення. Оскільки базова схема не передбачає автоматичного резервування, прийнято рішення розробити систему гарантованого електропостачання у наступному розділі проекту.

2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

					4-ЕТ(т)-23.2026.141.001.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект модернізації системи електропостачання механічного цеху	Літ.		Арк.	Аркушів		
Розробив		Бойченко О.В.						62	80		
Перевірив		Бєляновська О.А.				УДУНТ ННІ «УДХТУ» каф. енергетики					
Реуєнз.		Доманський І.В.									
Н. контр.		Стоян О.І.									
Затвердив		Ковальов С.В.									

2 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ГАРАНТОВАНОГО

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

2.1 Можливості та основні завдання для забезпечення гарантованого живлення

В умовах сучасної промисловості питання безперебійності енергопостачання набуває критичного значення, особливо для об'єктів із високою інтенсивністю технологічних процесів. Для механічного цеху, що розглядається, будь-яка раптова зупинка живлення може призвести не лише до економічних збитків через простої, а й до порушення вимог безпеки праці.

Хоча основна частина верстатного парку цеху (90% споживачів) належить до III категорії надійності, аналіз технологічного циклу дозволив виділити групу споживачів, що потребують особливого статусу. До них належать вентиляційні установки (СП1) та системи аварійного освітлення (ЩАО). Оскільки обробка металу супроводжується утворенням значної кількості дрібнодисперсного пилу, безперервна робота витяжної вентиляції є необхідною для запобігання загрозі здоров'ю персоналу.

Система гарантованого живлення (СГЖ) у даному проєкті визначається як комплекс технічних засобів та організаційних заходів, що забезпечують автоматичне відновлення подачі енергії при зникненні напруги на основному вводі від КТП-400.

До складу запропонованої системи входять:

Резервна генераторна установка — автономне джерело енергії (дизель-генератор);

Система автоматичного введення резерву (АВР) — інтелектуальний блок, що здійснює перемикання навантаження;

Розподільна кабельна мережа — лінії, що безпосередньо з'єднують резервне джерело зі споживачами СП1.

Основними завданнями цього розділу є:

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Технічний аналіз поточної схеми електропостачання та визначення оптимальних точок підключення локальної системи резервування.

Порівняльне дослідження ефективності різних джерел енергії (ВДЕ проти традиційних паливних генераторів) для умов конкретного промислового об'єкта.

Розрахунок технічних параметрів та вибір конкретної моделі обладнання, що здатне забезпечити пускові струми вентиляційних двигунів при аварійному режимі.

Реалізація цих завдань дозволить сформувати стійку до зовнішніх збоїв енергосистему, яка гарантуватиме безпечну зупинку або продовження роботи критичних вузлів цеху у разі системних аварій у зовнішніх мережах.

2.2 Аналіз основних засобів забезпечення гарантованого живлення

Для підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів механічного цеху необхідно розглянути можливість впровадження локальних систем живлення, які здатні працювати автономно у разі аварій в основній мережі. Сучасні технічні рішення дозволяють використовувати як традиційні джерела енергії, так і відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

Умовно всі доступні джерела можна розділити на дві групи:

Нетрадиційні (ВДЕ): сонячні електростанції (СЕС), вітрові та мікро-гідроелектростанції з системами акумуляції.

Традиційні: дизельні (ДЕС) або бензинові електростанції.

Загальна структура системи резервного живлення на основі ВДЕ, яка включає інвертор, контролер заряду та блок акумуляторних батарей (АКБ), представлена на рисунку 2.1.

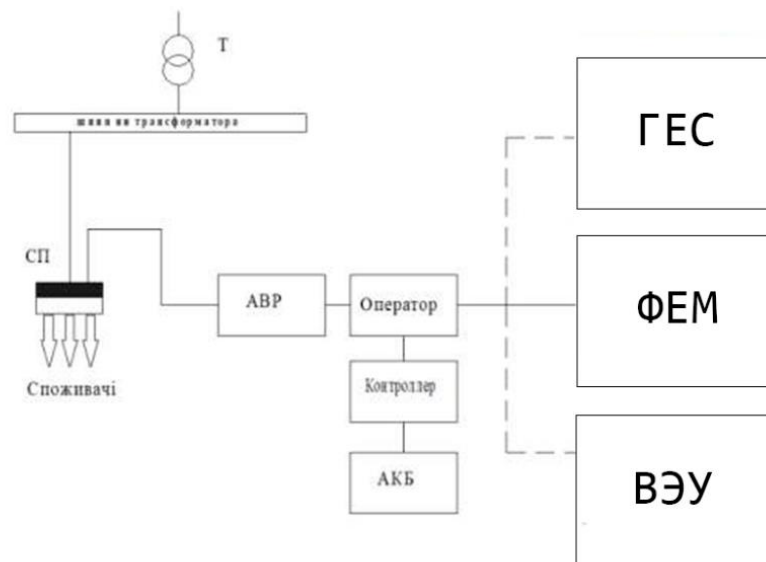


Рисунок 2.1 - Умовне зображення системи резервного живлення з використанням ВДЕ

Альтернативним та найбільш розповсюдженим варіантом для промислових об'єктів є використання дизельних генераторів, обладнаних системою автоматичного запуску та блоком АВР (Рисунок 2.2).

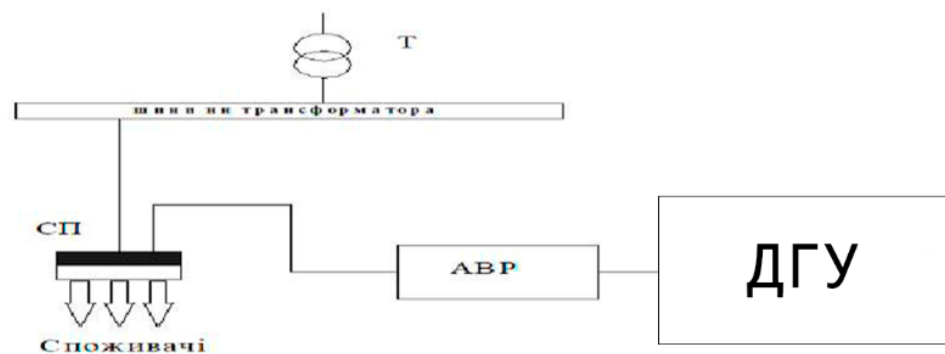


Рисунок 2.2 – Умовне зображення системи резервного живлення від дизельної підстанції

Враховуючи високу вартість капіталовкладень у систему сонячної генерації (панелі, АКБ великої ємності) та потребу у миттєвому прийнятті значного навантаження від вентиляційних систем у будь-який час доби, для механічного цеху обрано дизельну електростанцію. Це рішення є економічно доцільнішим та технічно надійнішим для промислових умов об'єкта.

2.3 Вибір та розрахунок гарантованого джерела живлення

Для вибору потужності дизельної електростанції необхідно визначити розрахункове навантаження групи споживачів, що потребують безперебійного живлення. У даному проєкті до таких споживачів віднесено припливну та витяжну вентиляцію (СП1).

Вихідні дані для розрахунку ДЕС представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові дані для СП1 з таблиці 1.4 розділу 1

Найменування ЕП	n , од	P_H , кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Вентилятор припливний	2	80,0	64,0	48,0	—	—
Вентилятор витяжний	2	60,0	48,0	36,0	—	—
Разом по СП1	4	140,0	112,0	92,4	145,2	220,6

Методика розрахунку:

Максимальна розрахункова потужність ДЕС визначається з урахуванням втрат у мережі ($k_{loss}=1,05$) та власних потреб станції ($\eta_{own}=0,97$)

$$S_{DES} = \frac{S_p \cdot k_{loss}}{\eta_{own}} = \frac{145,2 \cdot 1,05}{0,97} = 157,18 \text{ кВА}$$

Запас потужності: Оскільки при використанні ДЕС у режимі резерву навантаження має бути в межах 70-90% від номіналу, приймаємо коефіцієнт запасу 1,25:

$$S_{nom.DES} \geq 157,17 \cdot 1,25 = 196,47 \text{ кВА}$$

Згідно з розрахунком, до встановлення приймається дизельний генератор марки Cummins C220 D5 номінальною потужністю 220 кВА. Зовнішній вигляд обраної установки представлено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Дизельний генератор серії Cummins

Особливості комплектації обраної установки наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні особливості та комплектація ДЕС Cummins C220 D5

Елемент	Характеристика
Блок АВР	Забезпечує автоматичний запуск та перемикання живлення резерву.
Корпус	Вологозахищений IP54 та шумопоглинаючий.
Панель управління	Багатофункціональна панель для контролю параметрів.

Для детального розуміння взаємодії ДЕС із загальною системою електропостачання цеху розроблено функціональну схему (Рисунок 2.4).

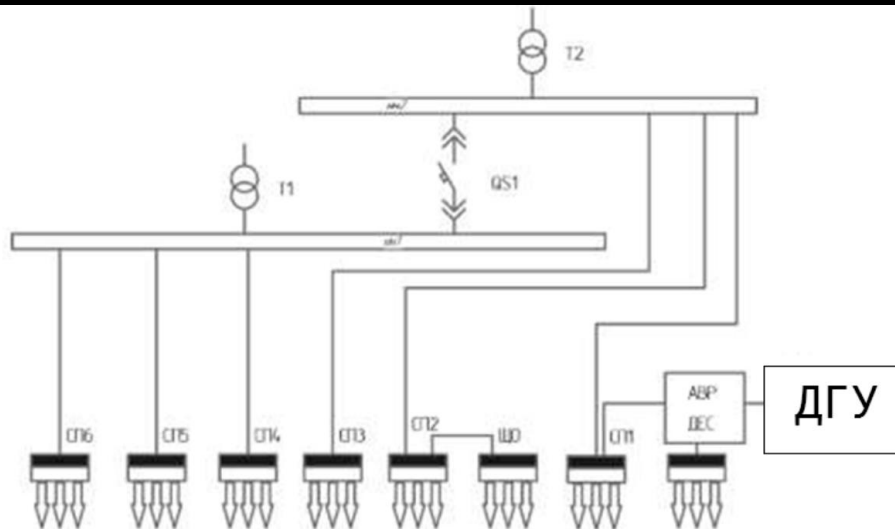


Рисунок 2.4 – Функціональна схема електроживлення окремих споживачів від ДЕС

Враховуючи розрахунковий струм $I_p=220,6$ А, для з'єднання ДЕС із розподільчим пунктом СП1 обираємо кабель марки АВВГ 4х120. Допустимий струм кабелю при прокладанні в землі становить 224 А, що задовольняє технічним умовам.

Для оцінки економічної доцільності та обсягу капітальних інвестицій у систему резервування, розраховано орієнтовну вартість основних елементів та робіт у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вартість основних елементів системи гарантованого живлення

Найменування елемента	Тип, марка	Вартість, грн
Дизельний генератор	Cummins C220 D5 (220 кВА)	520 000
Розподільний щит з блоком АВР	ЩР-АВР 250А	15 000
Кабельна продукція	АВВГ 4х120 (11 м)	3 000
Автоматичні вимикачі захисту	ВА88-35 3Р (250А)	6 000
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	—	16 000
Разом		560 000

Термін окупності:

$$T = \frac{KP}{E - BE_{\text{exp}}} = \frac{560000}{245000 - (12400 + 17600)} = \frac{560000}{245000 - 30000} = \frac{560000}{215000} = 2,6 \quad \text{рік}$$

Розрахунок за формулою терміну окупності продемонстрував, що капітальні вкладення повністю повертаються за рахунок збережених коштів протягом 2,6 року. З огляду на нормативний термін служби обладнання (понад 20 років), даний проєкт модернізації є високоефективним і рекомендованим до реалізації, оскільки забезпечує сталий розвиток виробництва та стабільність фінансових показників підприємства.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено комплексне дослідження та формування системи гарантованого електропостачання для найбільш відповідальних споживачів механічного цеху. На основі виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

Аналіз надійності: Встановлено, що незважаючи на приналежність основної частини обладнання до III категорії, системи вентиляції (СП1) та аварійного освітлення (ЩАО) потребують статусу I категорії надійності через шкідливі умови виробництва (металевий пил).

Розрахунок параметрів: Розрахункове навантаження групи споживачів, що підлягають резервуванню, склало $S_p = 145,2$ кВА. З урахуванням коефіцієнтів втрат у мережі, власних потреб станції та необхідного коефіцієнта запасу (1,25), потужність резервного джерела повинна бути не менше 196,5 кВА.

Вибір обладнання: До встановлення прийнято дизельний генератор Cummins C220 D5 номінальною потужністю 220 кВА у всепогодному шумопоглинаючому кожусі (IP54). Для забезпечення автоматичного відновлення живлення протягом 15 секунд передбачено використання блоку АВР та відповідної функціональної схеми підключення.

Економічна ефективність: Загальна вартість впровадження системи гарантованого живлення склала 560 000 грн. Розрахунковий термін окупності проєкту становить 2,6 роки, що підтверджує його високу ефективність за рахунок мінімізації збитків від виробничого браку та простоїв обладнання під час аварійних відключень

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

					4-ЕТ(т)-23.2026.141.001.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект модернізації системи електропостачання механічного цеху	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив	Бойченко О.В.								
Перевірів	Беляновська О.А						71	80	
Реуєнз.	Доманський І.В.					УДУНТ ННІ «УДХТУ» каф. енергетики			
Н. контр.	Стоян О.І.								
Затвердив	Ковальов С.В.								

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

3.1 Правила безпечної експлуатації електроустановок

Організація безпечної експлуатації електроустановок механічного цеху базується на суворому дотриманні нормативних вимог, що спрямовані на запобігання виробничому травматизму. Електротехнічний персонал, який обслуговує проектувану КТП-400 та внутрішні мережі, повинен пройти спеціальне навчання та регулярну перевірку знань з електробезпеки.

Ключові вимоги безпеки:

Допуск до робіт: До самостійного виконання операцій в електроустановках допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд та мають відповідну групу з електробезпеки (не нижче III для оперативного персоналу).

Обов'язки персоналу: Кожен працівник зобов'язаний контролювати стан інструментів, засобів захисту (діелектричні рукавички, килимки) та негайно повідомляти керівництво про будь-які несправності в роботі ДЕС або трансформатора.

Відповідальність: Забороняється виконувати завдання, що суперечать правилам безпеки. Керівники робіт несуть персональну дисциплінарну та адміністративну відповідальність за забезпечення безпечного середовища на об'єкті.

3.2 Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів

Технічна експлуатація енергосистеми цеху має забезпечувати її надійність та економічність. Особлива увага приділяється етапу введення обладнання в роботу та плановим перевіркам.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3.2.1 Прийняття електроустановок в експлуатацію та порядок їх підключення

Перед першим поданням напруги на об'єкт модернізації необхідно виконати наступні заходи:

1. Проектна відповідність: Схема підключення КТП-400 та резервної ДЕС має повністю відповідати технічним умовам, виданим оператором системи розподілу (ОСР).

2. Пусконаладжувальні роботи: На всьому технологічному обладнанні та автоматиці (блок АВР, селективні вимикачі ВА 55-41) мають бути проведені випробування згідно з регламентом.

3. Перевірка умов: До початку індивідуальних випробувань необхідно переконатися в наявності безпечних проходів, завершенні монтажу заземлюючих провідників та готовності санітарно-побутових приміщень для персоналу.

4. Комплексне випробування: Електроустановка вважається прийнятою після успішної роботи під навантаженням протягом нормативного часу (для мереж 10 кВ — 24 години).

3.3 Розрахунок захисного заземлення та огляд можливостей блискавкозахисту механічного цеху та дизельної електростанції

Забезпечення електробезпеки персоналу та захист обладнання від атмосферних розрядів є критично важливими при експлуатації модернізованої системи електропостачання. Оскільки резервна дизельна електростанція (ДЕС) розташована поруч із будівлею, її система заземлення об'єднується із загальним заземлюючим пристроєм (ЗП) механічного цеху.

3.3.1 Заходи з блискавкозахисту

Аналіз грозової діяльності на території розташування об'єкта (40–60 годин на рік) дозволяє віднести будівлю цеху до III категорії блискавкозахисту (зона Б). Комплекс заходів включає:

Блискавкоприймачі: Встановлення двох стержневих приймачів висотою 1,5 м, закріплених на бічних стінах цеху.

Стумовідводи: Від кожного приймача прокладається по два спуски обмідненим дротом діаметром 8 мм, що з'єднуються із зовнішнім контуром заземлення. Кріплення виконується затискачами GL-11704A з кроком 0,6–1 м.

3.3.2 Розрахунок пристрою заземлення

Для цеху розмірами 45х35 м заземлюючий пристрій виконується у вигляді замкнутого контуру (горизонтальний електрод) із забитими вертикальними електродами.

Вихідні дані:

Питомий опір ґрунту (суглинок): $\rho=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Допустимий опір ЗП: $R_{\text{доп}} \leq 4 \text{ Ом}$.

Вертикальні заземлювачі (ВЗ): Сталеві стержні $l_{\text{вз}}=3 \text{ м}$, діаметр $d=16 \text{ мм}$.

Горизонтальний заземлювач (ГЗ): Сталева смуга $4 \times 30 \text{ мм}$, довжина по периметру $L \approx 160 \text{ м}$, глибина закладання $t=0,5 \text{ м}$.

Результати розрахунку:

- Опір одного вертикального електрода ($R_{\text{вз1}}$): З урахуванням заглиблення та питомого опору ґрунту, опір одного стержня становить 28,68 Ом.
- Опір горизонтальної смуги ($R_{\text{гз}}$): Для контуру довжиною 160 м опір розтіканню смуги становить 1,65 Ом. Оскільки це значення вже менше за нормативні 4 Ом, горизонтальний заземлювач є основним елементом захисту.

3. Необхідна кількість вертикальних електродів: Незважаючи на низький опір смуги, згідно з правилами улаштування та для вирівнювання потенціалів у місцях спусків блискавкозахисту, приймаємо до встановлення 4 вертикальних електроди (по кутах будівлі та біля ДЕС).
4. Сумарний опір системи заземлення (R_{Σ}): З урахуванням паралельного з'єднання смуги та 4-х стержнів, а також коефіцієнтів використання: $R_{\Sigma} \approx 1,23$ Ом Умова $R_{\Sigma} \leq 4$ Ом виконується.

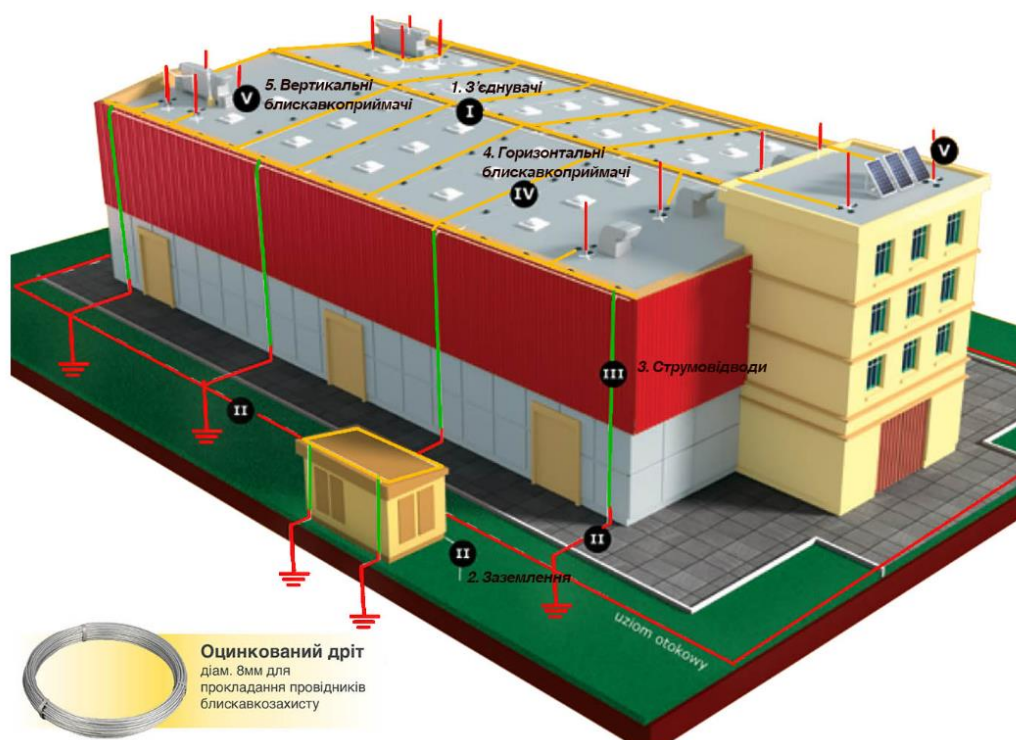


Рисунок 3.1 – Розташування елементів блискавкозахисту і заземлення

Обрана конфігурація заземлюючого пристрою забезпечує надійний захист персоналу від ураження електричним струмом та стійку роботу автоматики АВР і обладнання КТП-400 у будь-яку пору року.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ

Арк.

75

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено комплекс заходів з охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації електроустановок механічного цеху. На основі проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

Організаційні заходи: Встановлено, що до обслуговування КТП-400 та дизельної електростанції допускається лише кваліфікований персонал (віком від 18 років), який пройшов спеціальне навчання та має групу з електробезпеки не нижче III. Визначено обов'язковість використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та регулярної перевірки знань.

Технічна експлуатація: Визначено порядок введення обладнання в роботу. Зокрема, встановлено, що для успішного прийняття в експлуатацію живильних ліній 0,4 кВ вони повинні пройти комплексне випробування під робочою напругою протягом 24 годин.

Блискавкозахист: На основі аналізу інтенсивності грозової діяльності (40–60 годин на рік) об'єкт віднесено до III категорії блискавкозахисту (зона Б). Запропоновано систему із двох стержневих блискавкоприймачів висотою 1,5 м та чотирьох струмовідводів.

Захисне заземлення: Виконано розрахунок суміщеного заземлюючого пристрою для цеху та ДЕС. Встановлено, що при використанні замкнутого контуру розміром 45x35 м та 4-х вертикальних електродів довжиною 3 м, сумарний опір становить 1,23 Ом (що значно менше нормативних 4 Ом). Це гарантує надійний захист персоналу від ураження струмом та стабільну роботу автоматики АВР.

Економічна доцільність: Підтверджено, що впровадження системи безпеки та гарантованого живлення є виправданим. Зокрема, окупність дизельного генератора Cummins C220 D5 за рахунок мінімізації збитків від аварійних зупинок техпроцесу становить 2,6 роки.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту було проведено комплексну модернізацію системи електропостачання механічного цеху. На основі розрахунків та техніко-економічного аналізу можна зробити наступні загальні висновки:

Розрахунок навантажень та вибір ТП: Визначено розрахункову потужність цеху, яка після впровадження заходів з енергозбереження склала $S_p=247,64$ кВА. Для надійного живлення об'єкта обрано силовий трансформатор ТМ-400/10/0,4, що забезпечує оптимальний коефіцієнт завантаження 0,62 та має значний резерв для подальшого розширення виробництва.

Компенсація реактивної потужності: Встановлення автоматизованої конденсаторної установки УКРМ-0,4-200 потужністю 200 квар дозволило підвищити коефіцієнт потужності цеху з 0,77 до 0,97. Це рішення мінімізує втрати енергії в мережах та забезпечує окупність інвестицій протягом одного року.

Гарантоване електропостачання: Для споживачів I категорії (системи вентиляції СП1) спроектовано систему автономного живлення на базі дизельної електростанції Cummins C220 D5 (220 кВА). Використання блоку АВР гарантує автоматичне відновлення подачі напруги протягом 15 секунд, що запобігає аварійним зупинкам техпроцесу та забезпечує безпеку персоналу.

Електротехнічне обладнання та мережі: Виконано вибір розподільчих шаф серії СПМ 75 та захисної апаратури (автоматичні вимикачі ВА 2003, ВА 55-41). Розраховано та перевірено кабельні лінії 0,4 кВ (марки АВВГ) та живильну лінію 10 кВ (кабель АПвП 3х35), які відповідають умовам допустимого нагріву та термічної стійкості до струмів КЗ.

Охорона праці та безпека: Розроблено систему захисного заземлення з опором 1,23 Ом, що значно нижче нормативних 4 Ом, та систему

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

блискавкозахисту III категорії. Це забезпечує повний захист персоналу та обладнання від ураження електричним струмом та атмосферних розрядів.

Економічна ефективність: Загальна вартість системи гарантованого живлення склала 560 000 грн. Впровадження проекту дозволяє суттєво знизити виробничий брак, а розрахунковий термін окупності основних інвестицій (ДЕС) становить 2,6 роки, що підтверджує доцільність модернізації.

Проект модернізації дозволяє створити енергоефективну, надійну та безпечну систему електропостачання, яка повністю відповідає сучасним нормативним вимогам та специфіці промислового виробництва.

					4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IEC 60364-1:2005. Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions.
2. IEC 60364-4-41:2005. Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock.
3. IEC 60364-5-54:2011. Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors.
4. IEEE Std 142-1991. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems (Green Book).
5. IEC 62305-1:2010. Protection against lightning – Part 1: General principles.
6. IEC 62305-2:2010. Protection against lightning – Part 2: Risk management.
7. IEC 62305-3:2010. Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
8. IEC 62305-4:2010. Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
9. Lightning Protection Guide. 3rd updated Edition. Neumarkt: DEHN + SÖHNE, 2014. 488 p..
10. EN 50522:2010. Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c..
11. IEC 61439-1:2011. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules.
12. IEC 61000-4-5:2005. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test.
13. ISO 8995-1:2002 (E) / CIE S 008/E:2001. Lighting of Work Places - Part 1: Indoor. (Міжнародний стандарт освітлення робочих місць).
14. Design of lightning protection and grounding for an industrial building. ZANDZ Technical Centre.
15. Technical Manual: Cummins Power Generation. Diesel Generator Sets C220-C250 D5 Series. (Міжнародний каталог обладнання).

					<i>4-ET(m)-23.2026.141.001.ПЗ</i>	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

16. OBO Bettermann. Selection Guide: Surge protection, Lightning protection, and Earthing systems.
17. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
18. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015.
19. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ, 2014.
20. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ, 1998.