

ЖИТОМИРСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТУ ІМЕНІ С.П.КОРОЛЬОВА
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНЖЕНЕРІЇ



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача вищої освіти ступеня «бакалавр» заочної форми навчання
за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Тема: «РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОКАРНОГО ЦЕХУ»

Виконавець: Єгор РУДОВ

м. Житомир

2026

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота виконана на 84 сторінках. Робота складається з 5 розділів та містить 3 ілюстрації, 8 таблиць. При виконанні роботи було використано 14 джерел інформації. Об'єктом розробки в кваліфікаційній роботі є токарний цех машинобудівельного заводу. Метою виконання роботи було розроблення схеми електропостачання цеху. У роботі був проведений розрахунок та вибір силового трансформатора ТП на підставі величини навантажень ЕП на електричну мережу. Спираючись на характеристики приміщення була розроблена система освітлення, розрахована освітлювальна установка.

Результатом виконаної роботи є схема електропостачання токарного цеху машинобудівельного заводу з апаратами комутації, захисту та компенсації реактивної потужності. З метою підвищення рівня безпеки на підприємстві в роботі розглянуті заходи безпеки при експлуатації електроустановок.

Ключові слова: *ЕЛЕКТРИЧНИЙ АПАРАТ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ, ПРИСТРІЙ КОМПЕНСУВАННЯ, ЗАХИСНЕ ЗАЗЕМЛЕННЯ, БЛИСКАВКОЗАХИСТ.*

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		8

ЗМІСТ

Реферат.....	8
Перелік умовних позначень.....	10
Вступ.....	11
1 Обґрунтування вибору схеми електропостачання токарного цеху.....	13
1.1 Загальні вимоги до електричного постачання промислових підприємств	13
1.2 Призначення та склад електричного обладнання.....	15
1.3 Вибір напруги живлення.....	17
2 Розрахунок схеми електропостачання токарного цеху	20
2.1 Розрахунок навантаження цехової мережі.....	20
2.2 Визначення центру електричних навантажень.....	28
2.3 Розрахунок системи освітлення цеху.....	33
3 Вибір елементів та характеристик цехової мережі.....	42
3.1 Вибір цехової трансформаторної підстанції.....	42
3.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі.....	51
3.3 Компенсація реактивної потужності.....	54
3.4 Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі.....	63
4 Розрахунок захисних елементів мережі.....	66
4.1 Розрахунок струмів КЗ в електроустановках напругою до 1000 В.....	66
4.2 Перевірка обраного електрообладнання на стійкість до струмів КЗ.....	70
4.3 Розрахунок заземлення.....	71
4.4 Захист від блискавки.....	75
5 Безпека при експлуатації електроустановок.....	67
Висновки.....	82
Перелік посилань.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АВР – автоматичне включення резерву
АД – асинхронний двигун
ЕА – електричний апарат
ЕД – електродвигун
ЕО – електрообладнання
ЕП – електроприймач
ЕУ – електроустановка
КЗ – коротке замикання
ККУ – комплектні конденсаторні установки
КРП – комплектний розподільний пристрій
КТП – комплектна трансформаторна підстанція
НН – низька напруга
ПЗ – пристрій заземлення
ПС – підстанція
ПУЕ – Правила устаткування електроустановок
РП – розподільний пункт
СЕП – система електропостачання
СН – середня напруга
СРШ – силова розподільча шафа
ЦЕН – центр електричних навантажень
ЦТП – цехова трансформаторна підстанція
ШНВ – шафа низьковольтна ввідна
ШНЛ – шафа низьковольтна лінійна
ШРА – шинопровід розподільчий алюмінієвий
ЩАО – щиток аварійного освітлення
ЩРО – щиток робочого освітлення

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

Електрична енергія є одним із ключових ресурсів сучасної промисловості та відіграє визначальну роль у забезпеченні функціонування виробничих процесів. Значна частка виробленої в державі електроенергії споживається саме промисловими підприємствами, де вона використовується для живлення технологічного обладнання, електроприводів, автоматизованих систем керування, освітлювальних установок та допоміжних механізмів. Розвиток сучасних технологій, автоматизація виробництва та впровадження цифрових систем керування спричиняють постійне зростання потреби у надійному та якісному електропостачанні.

Інтенсивний розвиток промислового сектору супроводжується підвищенням вимог до ефективності функціонування систем електропостачання. У сучасних умовах особливого значення набувають питання забезпечення безперервності електропостачання, підвищення енергетичної ефективності, зниження втрат електричної енергії та підтримання нормативних показників її якості. Надійна система електропостачання є необхідною умовою стабільної роботи виробництва, оскільки навіть короточасні перерви можуть призвести до значних економічних збитків, простою обладнання та порушення технологічного процесу.

Водночас підвищення надійності електропостачання потребує додаткових капіталовкладень, тому під час проектування необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між технічною досконалістю системи та економічною доцільністю її реалізації. Важливим завданням є вибір такої структури системи електропостачання, яка забезпечує нормативний рівень надійності при мінімальних експлуатаційних витратах.

Не менш важливим аспектом є забезпечення належної якості електричної енергії. Відхилення параметрів напруги, частоти та інших показників від встановлених нормативних значень негативно впливають на роботу електрообладнання, знижують його ресурс, збільшують втрати електроенергії та можуть погіршувати якість продукції. Тому під час проектування систем

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

електропостачання особлива увага приділяється питанням контролю та підтримання показників якості електричної енергії на нормативному рівні.

Суттєвий розвиток електротехнічної галузі, силової електроніки, кабельної продукції та сучасного комутаційного обладнання відкриває нові можливості для вдосконалення систем розподілу електроенергії. Використання сучасних комплектних пристроїв, модульних конструкцій та енергоефективного обладнання дозволяє підвищити експлуатаційну надійність електричних мереж, спростити технічне обслуговування та скоротити витрати на модернізацію виробничих об'єктів.

Основною метою проєктування систем електропостачання промислових підприємств є визначення оптимальних параметрів мережі шляхом обґрунтованого вибору рівнів напруги, розрахунку електричних навантажень, вибору силових трансформаторів, електричних мереж, апаратів захисту та засобів регулювання режимів роботи. Особливу увагу приділяють забезпеченню безперебійності живлення відповідальних електроприймачів і раціональному використанню електричної енергії.

У зв'язку з цим темою кваліфікаційної роботи є розроблення системи електропостачання токарного цеху машинобудівного підприємства з урахуванням сучасних вимог щодо надійності, безпеки, енергоефективності та якості електроенергії.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ

1.1 Загальні вимоги до електричного постачання промислових підприємств

При проектуванні системи електропостачання і реконструкції електричних установок повинні розглядатися наступні питання:

- а) перспективи розвитку енергосистем і систем електропостачання з урахуванням раціонального поєднання знов споруджуваних електричних мереж з мережами інших класів напруги, що діють і знов споруджуваними;
- б) забезпечення комплексного централізованого електропостачання всіх споживачів, розташованих в зоні дії електричних мереж, незалежно від їх відомчої приналежності;
- в) зниження втрат електричної енергії;
- г) обмеження струмів короткого замикання граничними рівнями, визначеними на перспективу.

При цьому повинні розглядатися в комплексі зовнішнє і внутрішнє електропостачання з урахуванням можливостей і економічної доцільності технологічного резервування.

При вирішенні питань розвитку системи електропостачання слід враховувати ремонтні, аварійні і післяаварійні режими. При виборі незалежних взаємно резервуючих джерел живлення, що є об'єктами енергосистеми, слід враховувати вірогідність одночасного залежного короткочасного зниження і повного зникнення напруги на час дії релейного захисту, а також повного тривалого під час важких системних аварій.

Якість електроенергії визначається сукупністю її характеристик, при яких приймачі можуть нормально працювати і виконувати закладені в них функції.

Якість електроенергії в значній мірі впливає на технологічний процес промислового виробництва і якість продукції, що випускається, на витрату

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

електроенергії і залежить від живлячої електросистеми і від споживачів тих, що знижують якість електроенергії [1].

Із всіх показників якості електроенергії найбільший вплив на режими роботи електроприймачів має відхилення і коливання напруги.

Під відхиленням напруги розуміється різниця між фактичним і номінальним значенням напруги. В умовах нормальної роботи приймачів електроенергії відхилення напруги від номінального значення допускається в межах від -5 до +10% на затисках електродвигунів і апаратів для їх пуску і управління; від -2,5 до +5% на затисках приладів робочого освітлення; $\pm 5\%$ на затисках іншого устаткування.

Відхилення напруги викликає найбільший збиток серед всіх показників якості. Коливання напруги оцінюються розмахом зміни напруги і частотою зміни напруги. Коливання напруги обумовлені різкими поштовхами споживаної потужності при роботі приймачів з ударним навантаженням (зварювальні апарати, електричні печі, двигуни прокатних верстатів і ін.). Обмежити коливання напруги можна побудовою раціональних схем електропостачання, застосування спеціальних технічних пристроїв і агрегатів з мінімальним впливом на систему електропостачання.

Несиметрія напруги і струмів це нерівність фазної або лінійної напруги (струмів) по амплітуді і куту зрушення між ними. Розрізняють аварійні і експлуатаційні, викликані застосуванням споживачів (індукційні печі, зварювальні апарати). Для симетрії напруги і струмів застосовують рівномірний розподіл однофазних навантажень по фазах, навантаження підключають на окремий трансформатор [2].

Величину рівну різниці між значенням, що діє, і заданим значенням частоти називають відхиленням частоти. У нормальному режимі роботи допускається відхилення частоти в межах $\pm 0,1$ Гц. Короткочасні відхилення частоти можуть досягати $\pm 0,2$ Гц. Причиною зміни частоти в системі електропостачання є дефіцит активної потужності. Характеристикою коливань частоти є розмах коливань, який не повинен перевищувати 0,2 Гц. Основною причиною виникнення коливань

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

частоти є потужні приймачі електроенергії з радіозмінним активним навантаженням, тиристорні перетворювачі головних приводів прокатних станів.

Джерелом несинусоїдальності кривої струму і напруги є: синхронні генератори; силові трансформатори, що працюють при підвищених значеннях магнітної індукції в сердечнику (підвищеній напрузі на виходах); перетворювачі змінного струму в постійний струм і споживачі з нелінійною ВАХ.

Несинусоїдальні струми перенавантажують конденсаторні батареї, ємнісні опори яких зворотно пропорційні порядку гармонік. Наявність вищих гармонік в напрузі і струмах несприятливо діє на ізоляцію електричної машини, трансформаторів, конденсаторів і кабелів. Коефіцієнт спотворення кривої напруги не повинен перевищувати 5% на затисках будь-якого приймача електричної енергії.

Втрати електроенергії в трансформаторах, електродвигунах і іншому устаткуванні неминучі, що пов'язане з принципом роботи цих електроустановок. Проте за рахунок заходів щодо економії електроенергії втрати повинні бути зведені до мінімуму.

1.2 Призначення та склад електричного обладнання

Цехові мережі промислових підприємств виконують на напругу до 1 кВ (найбільш поширеною є напруга 380 В). На вибір схеми і конструктивного виконання цехів мереж роблять вплив такі чинники, як ступінь відповідальності приймачів електроенергії, режими їх роботи і розміщенні по території цеху, номінальні струми і напруга.

По категорії надійності системи електропостачання (СЕР) розділяються на три категорії:

- I категорія – електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей, загрозу для безпеки держави, значний матеріальний збиток, розлад складного технологічного процесу, порушення

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

функціонування особливо важливих елементів комунального господарства, об'єктів зв'язку і телебачення.

Зі складу електроприймачів першої категорії виділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухів і пожежі.

- II категорія – електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів. Електроприймачі II категорії в нормальних режимах повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних взаємно резервуючих джерел живлення.

Для електроприймачів II категорії при порушенні електропостачання від одного з джерел живлення припустимі перерви електропостачання на час, необхідний для включення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

- III категорія – всі інші електроприймачі, які не підпадають під визначення I та II категорії. Для таких електроприймачів достатнього одного джерела живлення за умови, що перерва електропостачання, необхідна для заміни пошкодженого елемента СЕП, не перевищує 1 доби.

Всі електроприймачі токарного цеху машинобудівельного заводу можна віднести до II категорії надійності електропостачання.

При проектуванні системи електропостачання необхідно правильно встановити характер середовища, яке робить вплив на ступінь захисту вживаного устаткування.

Електроустаткування працює за нормальних умов навколишнього середовища, ґрунт в районі цеху – глина з температурою +5° С.

У приміщеннях з нормальним середовищем електроустаткування повинне бути захищене від механічних пошкоджень, а також від випадкових дотиків до голих струмоведущим частин.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Токарний цех по ступеню вибухо- і пожежобезпеки можна віднести до безпечного, оскільки він не має приміщень, де б містилися небезпечні речовини.

По електробезпеці цех відноситься до класу ПО (підвищеної небезпеки), оскільки в цеху дуже багато струмоведучих частин (пил, стружки, тощо) металу, які осідають на ЕО. Також можливе зіткнення обслуговуючого персоналу одночасно з корпусом ЕО і конструкціями, пов'язаними із землею.

Всі приймачі по режиму роботи розділяються на 3 основних типу: тривалий, короткочасний і повторнокороткочасний.

Тривалий режим є основним для більшості ЕО. Це режим, при якому перевищення температури нагріву електроприймача над температурою навколишнього середовища досягає певної величини $\theta_{уст}$. Стала температура вважається такою, якщо вона протягом години не змінювалася. У цьому режимі працюють всі верстати, печі, насоси, компресори і вентилятори [3].

Короткочасний режим роботи характеризується невеликими включеннями і тривалими паузами. У цьому режимі працюють допоміжні механізми верстатів і іншого устаткування.

Повторнокороткочасний режим – це короткочасні періоди роботи, що чергуються з паузами, при цьому періоди включення не настільки великі, щоб температура перевищила стале значення, але і при паузах не встигає остигнути, зрештою досягаючи середньої величини.

У цьому режимі працюють вантажопідйомні механізми, прокатні стани і зварювальні апарати.

Електроприводи в повторнокороткочасному режимі характеризується відносною тривалістю включення (ПВ)

1.3 Вибір напруги живлення

Для силових електричних мереж промислових підприємств в основному застосовується трифазний змінний струм. При виборі напруги слід враховувати потужність, кількість і розташування електроприймачів, можливість їх спільного

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

живлення, а також технологічні особливості виробництва. Для живлення цехових ТП частіше застосовується напругу 10 кВ. При виборі напруги для живлення безпосередньо електроприймачів необхідно звернути увагу на наступні положення:

а) номінальними напругами, застосовуваними на промислових підприємствах для розподілу електроенергії є 10; 6; 0,66; 0,38; 0,22 кВ.

б) застосовувати на нижчому ступені розподілу електроенергії напругу вище 1кВ рекомендується тільки у випадку, якщо встановлено спеціальне обладнання, що працює при напрузі вище 1 кВ.

На промислових підприємствах мережі напругою до 1 кВ в основному прокладають усередині цехів (внутрішні) і дуже рідко – поза цехами (зовнішні). Зовнішні мережі використовують як мережі зовнішнього освітлення або для живлення окремих ЕП, які розташовані на території підприємства (наприклад, вентиляційні установки).

Особливістю цехової силової мережі НН є досить велика довжина та доступність порівняно з мережею СН, тому від їх устрою залежить не лише надійна робота ЕП, але й безпека людей.

У трифазних електричних мережах напругою до 1 кВ розрізняють мережі з ізольованою нейтраллю (трипровідні) і з глухозаземленою нейтраллю (чотирипровідні). Кожний з цих режимів нейтралі має свої переваги і недоліки.

У мережах НН застосовуються такі співвідношення лінійних та фазних напруг: 0,22/0,127 кВ, 0,38/0,22 та 0,66/0,38 кВ.

Система напруг 0,38/0,22 кВ є основною в ЕУ до 1 кВ і застосовується для живлення ЕП від спільних трансформаторів: ЕД потужністю від 0,1 до 350 кВт, електричного освітлення та різних однофазних ЕП.

Напруга 0,66 кВ застосовується у тих випадках, коли це дає техніко-економічні переваги порівняно з напругою 0,38/0,22 кВ, але упровадженню напруги 0,66 кВ стає на заваді недостатній випуск ЕД та ЕА цієї напруги за кількістю та асортиментом, тому при проектуванні необхідно перевіряти реальність одержання ЕО на 0,66 кВ у необхідній кількості та асортименті [4].

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Напруга 0,66 кВ доцільна на підприємствах, де за умовами розміщення ЕО, технології та навколишнього середовища не можна або нелегко наблизити цехові ПС до ЕП; на підприємствах з великою питомою щільністю електричного навантаження, великою кількістю ЕД потужністю від 200 до 600 кВт.

Слід зазначити, що при застосуванні напруги 0,66 кВ частково можливе збереження електричних мереж напругою 0,38/0,22 кВ для живлення ЕД малої потужності, електричного освітлення і однофазних ЕП напругою 0,22 кВ. Є також варіант встановлення трансформаторів напругою 0,66/0,22 кВ. Застосування двох напруг не стає перешкодою для використання напруги 0,66 кВ.

Тип проводки та спосіб виконання цехової мережі залежить від таких основних факторів: умов навколишнього середовища, місця прокладання мережі, обраної схеми мережі, довжини окремих ділянок, розрахункового перерізу мережі та ін.

При виборі одної з двох рекомендованих напруг необхідно виходити з умови можливості спільного живлення від трансформаторів.

Проаналізувавши вихідні дані, для живлення електрообладнання токарного цеху обираю напругу 0,4 кВ.

Висновок: в даному розділі було проаналізовано основні вимоги до систем електропостачання промислових підприємств, розглянуто особливості виробничого середовища токарного цеху та проведено класифікацію електроприймачів за категоріями надійності електропостачання. Встановлено, що електрообладнання цеху належить до другої категорії надійності, що обумовлює необхідність резервування джерел живлення. На підставі технічного аналізу обрано напругу 10 кВ для живлення цехової трансформаторної підстанції та напругу 0,4 кВ для живлення внутрішньоцехових електроприймачів.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2 РОЗРАХУНОК СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ

2.1 Розрахунок навантаження цехової мережі

Створення будь-якого промислового об'єкту починається з його проектування. Не просте підсумовування встановлених (номінальних) потужностей ЕП підприємства, а визначення очікуваних (розрахункових) значень електричних навантажень є першим і основоположним етапом проектування СЕП. Розрахункова максимальна потужність, споживана електроприймачами підприємства, завжди менше суми номінальних потужностей цих ЕП.

Завищення очікуваних навантажень приводить до здорожчання будівництва, перевитрати провідникового матеріалу і невиправданого збільшення потужності трансформаторів і іншого устаткування. Заниження може привести до зменшення пропускної спроможності електромережі, до зайвих втрат потужності, перегріву проводів, кабелів і трансформаторів, а отже, до скорочення терміну їх служби.

Існуючі методи визначення розрахункових навантажень засновані на обробці експериментальних і практичних даних про електричні навантаження промислових підприємств, що діють [5].

Визначення розрахункових навантажень підприємства в основному проводять методом розрахункових коефіцієнтів. Це метод належить до основних методів розрахунку електричних навантажень. Він є найбільш точним і рекомендується при визначенні розрахункових навантажень для груп ЕП, коли відомі дані кожного ЕП.

Вихідні дані, кількість та встановлені потужності електроприймачів наведені в таблиці 2.1, план цеху подано на рисунку 2.1.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

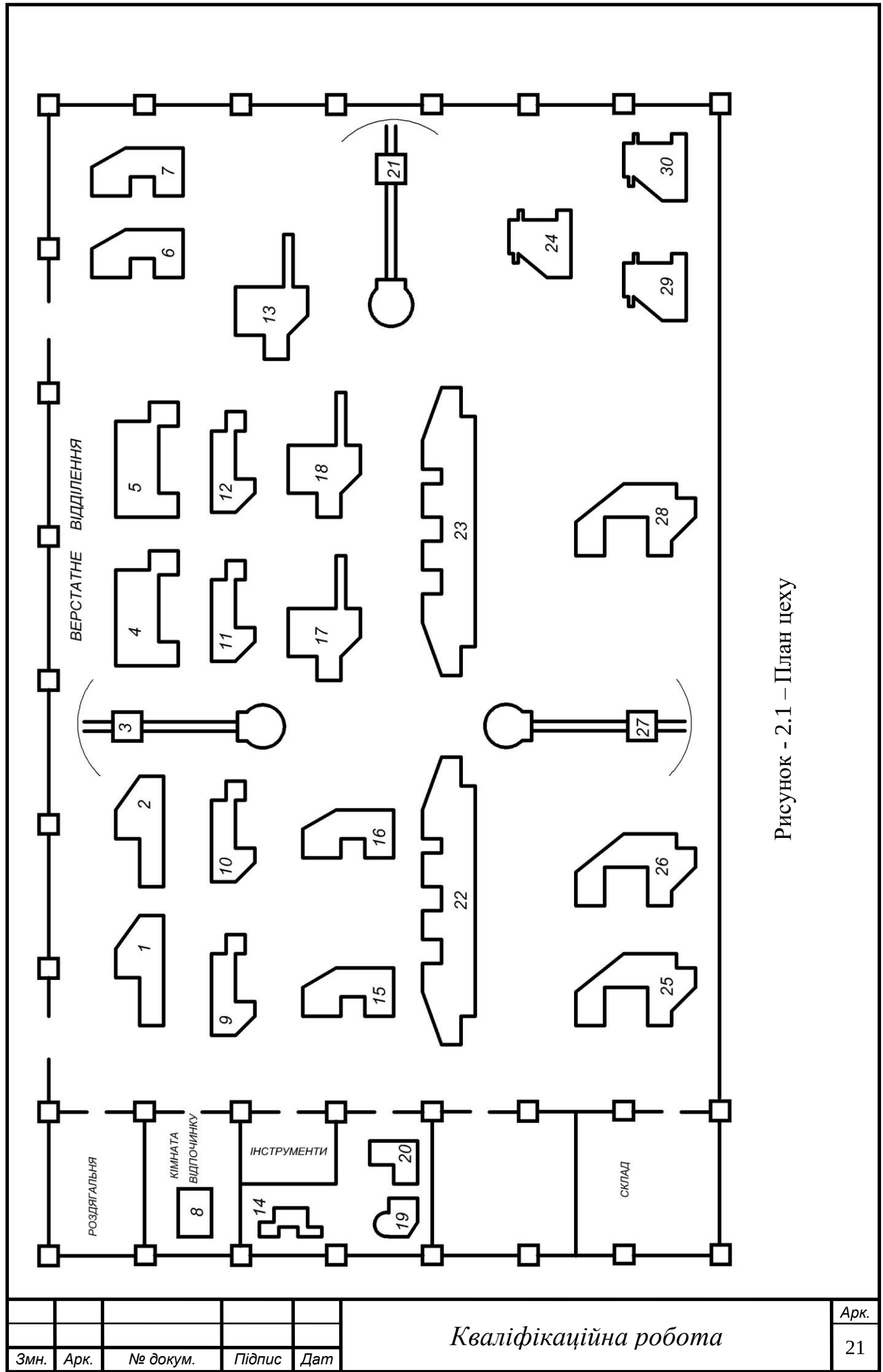


Рисунок - 2.1 – План цеху

Кваліфікаційна робота					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	21

Таблиця 2.1 – Перелік технологічного обладнання

Номер на плані	Найменування електроприймачів	Кількість	P_n , кВт	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	K_ϵ	K_n	примітки
1, 2	Токарно-револьверні багатоцільові верстати	2	14	0,65/1	0,17	0,25	
3, 21, 27	Кран-балка	3	12,2	0,5/1,73	0,13	0,2	ПВ=60%
4, 5	Токарні верстати з ЧПУ	2	8	0,5/1,73	0,13	0,2	
6, 7, 15, 16	Свердлильно-фрезерні верстати	4	6,4	0,5/1,73	0,14	0,2	
8	Кондиціонер	1	4,8	0,8/0,75	0,6	0,7	1-фазний
9, 10, 11, 12	Токарні верстати з ЧПУ збільшеної точності	4	9,2	0,65/1	0,17	0,25	
13, 17, 18	Координатно-свердлильні горизонтальні верстати	3	12,5	0,5/1,73	0,12	0,25	
14	Стругальний верстат	1	15	0,5/1,73	0,14	0,2	
19	Шліфувальний верстат	1	7,5	0,5/1,73	0,16	0,2	
20	Наждачний верстат	1	7,5	0,5/1,73	0,13	0,2	
22, 23	Токарні багатоцільові дротово-патронні модулі	2	18	0,65/1	0,17	0,25	
24, 29, 30	Токарні-вертикальні напівавтомати з ЧПУ	3	18	0,5/1,73	0,14	0,25	
25, 26, 28	Координатно-свердлильні вертикальні верстати	3	11	0,5/1,73	0,13	0,25	

Всіх споживачі розподілимо на 4 групи, електроживлення яких здійснюється від окремих СРШ.

СРШ – 1:

- Визначаємо середню активну та реактивну потужності за найбільш завантажену зміну:

$$P_{cm} = K_{\epsilon} \cdot P_n \quad (2.1)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.2)$$

де K_{ϵ} – коефіцієнт використання; $P_{вст} = P_n$ для електроприймачів з тривалим режимом роботи; $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт потужності;

$$P_{cm1} = 0,14 \cdot 54 = 7,6 \text{ кВт} \quad P_{cm2} = 0,12 \cdot 12,5 = 1,5 \text{ кВт}$$

$$P_{cm3} = 0,14 \cdot 12,8 = 1,8 \text{ кВт} \quad P_{cm4} = 0,13 \cdot 12,2 = 1,6 \text{ кВт}$$

$$\Sigma P_{cm} = 12,5 \text{ кВт} \quad \Sigma P_{вст} = 91,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm1} = 7,6 \cdot 1,73 = 13,1 \text{ кВАр} \quad Q_{cm2} = 1,5 \cdot 1,73 = 2,6 \text{ кВАр}$$

$$Q_{cm3} = 1,8 \cdot 1,73 = 3,1 \text{ кВАр} \quad Q_{cm4} = 1,6 \cdot 1,73 = 2,8 \text{ кВАр}$$

$$\Sigma Q_{cm} = 21,6 \text{ кВАр}$$

- Визначаємо K_{ϵ} для групи електроприймачів:

$$K_{\epsilon p1} = \frac{\sum_1^n K_{\epsilon} \cdot P_{вст.i}}{\sum_1^n P_{вст.i}} \quad (2.3)$$

$$K_{\epsilon p1} = \frac{12,5}{91,5} = 0,14$$

- Визначаємо коефіцієнт максимуму K_m активної потужності:

$$K_m = f \cdot (K_{\epsilon} \cdot n_{ef}), \text{ де } n_{ef} = \frac{(\sum_1^n P_{ni})^2}{\sum_1^n P_{ni}^2} \quad (2.4)$$

$$n_{ef1} = \frac{91,5^2}{3 \cdot 18^2 + 2 \cdot 6,4^2 + 1 \cdot 12,5^2 + 1 \cdot 12,2^2} = 6$$

- Визначаємо розрахункове активне навантаження, тобто максимальне середнє навантаження за інтервал усереднення:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$P_p = K_m \cdot \Sigma P_n \quad (2.5)$$

де K_m – коефіцієнт максимуму

$$P_p = 2,64 \cdot 12,5 = 33 \text{ кВт}$$

- Знаходимо реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_p = Q_{cm}, \text{ якщо } n_{ef} \geq 10 \quad (2.6)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm}, \text{ якщо } n_{ef} < 10 \quad (2.7)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 21,6 = 23,8 \text{ кВАр}$$

- Визначаємо повне розрахункове навантаження:

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.8)$$

$$S = \sqrt{33^2 + 23,8^2} = 40,7 \text{ кВА}$$

СРШ – 2:

- За формулами (2.1), (2.2) визначаємо середню активну та реактивну потужності за найбільш завантажену зміну:

$$P_{cm1} = 0,17 \cdot 9,2 = 1,6 \text{ кВт} \quad P_{cm2} = 0,14 \cdot 12,8 = 1,8 \text{ кВт} \quad P_{cm3} = 0,17 \cdot 18 = 3,1 \text{ кВт}$$

$$P_{cm4} = 0,13 \cdot 22 = 2,9 \text{ кВт} \quad P_{cm5} = 0,13 \cdot 12,2 = 1,6 \text{ кВт}$$

$$\Sigma P_{cm} = 11 \text{ кВт}$$

$$\Sigma P_{вст} = 83,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{cm1} = 1,6 \cdot 1 = 1,6 \text{ кВАр} \quad Q_{cm2} = 1,8 \cdot 1,73 = 3,1 \text{ кВАр} \quad Q_{cm3} = 3,1 \cdot 1 = 3,1 \text{ кВАр}$$

$$Q_{cm4} = 2,9 \cdot 1,73 = 5,1 \text{ кВАр} \quad Q_{cm5} = 1,6 \cdot 1,73 = 2,8 \text{ кВАр}$$

$$\Sigma Q_{cm} = 15,7 \text{ кВАр}$$

- За формулою (2.3) визначаємо K_v для групи електроприймачів:

$$K_{вр2} = \frac{11}{83,4} = 0,13$$

- За формулою (2.4) визначаємо коефіцієнт максимуму K_m активної потужності:

$$n_{ef2} = \frac{83,4^2}{2 \cdot 9,2^2 + 2 \cdot 6,4^2 + 1 \cdot 18^2 + 2 \cdot 11^2 + 1 \cdot 12,2^2} = 7$$

- Визначаємо за формулою (2.5) розрахункове активне навантаження, тобто максимальне середнє навантаження за інтервал усереднення:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$P_p = 2,72 \cdot 11 = 29,9 \text{ кВт}$$

- Знаходимо за формулою (2.7) реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_p = 1,1 \cdot 15,7 = 17,3 \text{ кВАр}$$

- Визначаємо повне розрахункове навантаження за формулою (2.8):

$$S = \sqrt{29,9^2 + 17,3^2} = 34,5 \text{ кВА}$$

СРШ – 3:

- Визначаємо середню активну та реактивну потужності за найбільш завантаженою зміну за формулами (2.1), (2.2):

$$P_{см1} = 0,13 \cdot 16 = 2,1 \text{ кВт} \quad P_{см2} = 0,17 \cdot 18,4 = 3,1 \text{ кВт} \quad P_{см3} = 0,12 \cdot 25 = 3 \text{ кВт}$$

$$P_{см4} = 0,17 \cdot 18 = 3,1 \text{ кВт} \quad P_{см5} = 0,13 \cdot 11 = 1,4 \text{ кВт}$$

$$\Sigma P_{см} = 12,7 \text{ кВт}$$

$$\Sigma P_{вст} = 88,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{см1} = 2,1 \cdot 1,73 = 3,6 \text{ кВАр} \quad Q_{см2} = 3,1 \cdot 1 = 3,1 \text{ кВАр} \quad Q_{см3} = 3 \cdot 1,73 = 5,2 \text{ кВАр}$$

$$Q_{см4} = 3,1 \cdot 1 = 3,1 \text{ кВАр} \quad Q_{см5} = 1,4 \cdot 1,73 = 2,4 \text{ кВАр}$$

$$\Sigma Q_{см} = 17,4 \text{ кВАр}$$

- Визначаємо K_{ϵ} для групи електроприймачів за формулою (2.3):

$$K_{\epsilon p3} = \frac{12,7}{88,4} = 0,14$$

- За формулою (2.4) визначимо коефіцієнт максимуму K_m активної потужності:

$$n_{\epsilon p3} = \frac{88,4^2}{2 \cdot 8^2 + 2 \cdot 9,2^2 + 2 \cdot 12,5^2 + 1 \cdot 18^2 + 1 \cdot 11^2} = 7$$

- Визначаємо розрахункове активне навантаження, тобто максимальне середнє навантаження за інтервал усереднення за формулою (2.5):

$$P_p = 2,39 \cdot 12,7 = 30,4 \text{ кВт}$$

- Знаходимо реактивне розрахункове навантаження за формулою (2.7):

$$Q_p = 1,1 \cdot 17,4 = 19,1 \text{ кВАр}$$

- Визначаємо повне розрахункове навантаження за формулою (2.8):

$$S = \sqrt{30,4^2 + 19,1^2} = 35,8 \text{ кВА}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СРШ – 4:

- Визначаємо середню активну та реактивну потужності за найбільш завантажену зміну за формулами (2.1), (2.2):

$$\begin{aligned}
 P_{см1} &= 0,17 \cdot 28 = 4,8 \text{ кВт} & P_{см2} &= 0,13 \cdot 12,2 = 1,6 \text{ кВт} & P_{см3} &= 0,6 \cdot 4,8 = 2,9 \text{ кВт} \\
 P_{см4} &= 0,14 \cdot 15 = 2,1 \text{ кВт} & P_{см5} &= 0,16 \cdot 7,5 = 1,2 \text{ кВт} & P_{см6} &= 0,13 \cdot 7,5 = 1,1 \text{ кВт} \\
 \Sigma P_{см} &= 13,7 \text{ кВт} & \Sigma P_{вст} &= 75 \text{ кВт} \\
 Q_{см1} &= 4,8 \cdot 1 = 4,8 \text{ кВАр} & Q_{см2} &= 1,6 \cdot 1,73 = 2,8 \text{ кВАр} & Q_{см3} &= 2,9 \cdot 0,75 = 2,2 \text{ кВАр} \\
 Q_{см4} &= 2,1 \cdot 1,73 = 3,6 \text{ кВАр} & Q_{см5} &= 1,2 \cdot 1,73 = 2,1 \text{ кВАр} & Q_{см6} &= 1,1 \cdot 1,73 = 1,3 \text{ кВАр} \\
 \Sigma Q_{см} &= 16,8 \text{ кВАр}
 \end{aligned}$$

- Визначаємо K_e для групи електроприймачів за формулою (2.3):

$$K_{всп3} = \frac{13,7}{75} = 0,18$$

- За формулою (2.4) визначимо коефіцієнт максимуму K_m активної потужності:

$$n_{эф3} = \frac{75^2}{2 \cdot 14^2 + 1 \cdot 12,2^2 + 1 \cdot 4,8^2 + 1 \cdot 15^2 + 1 \cdot 7,5^2 + 1 \cdot 7,5^2} = 6$$

- Визначаємо розрахункове активне навантаження, тобто максимальне середнє навантаження за інтервал усереднення за формулою (2.5):

$$P_p = 2,26 \cdot 13,7 = 31,1 \text{ кВт}$$

- Знаходимо реактивне розрахункове навантаження за формулою (2.7):

$$Q_p = 1,1 \cdot 16,8 = 18,5 \text{ кВАр}$$

- Визначаємо повне розрахункове навантаження за формулою (2.8):

$$S = \sqrt{31,1^2 + 18,5^2} = 36,2 \text{ кВА}$$

Вихідні дані та результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку

№ СРШ та груп ЕП	Кількість	$P_{вст}$		K_{ϵ}	$\cos\varphi/tg\varphi$	Середня потужність		n_{ef}	K_m	Розрахункове навантаження				
		Одного кВт	$\sum$ кВт			$P_{см}$ кВт	$Q_{см}$ кВАр			P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА		
СРШ – 1														
6, 7	2	6,4	12,8	0,14	0,5/1,73	1,8	3,1	6	2,64	33	23,8	40,7		
13	1	12,5	12,5	0,12	0,5/1,73	1,5	2,6							
21	1	12,2	12,2	0,13	0,5/1,73	1,6	2,8							
24, 29, 30	3	18	54	0,14	0,5/1,73	7,6	13,1							
Разом: 7			91,5	0,14		12,5	21,6							
СРШ – 2														
9, 10	2	9,2	18,4	0,17	0,65/1	1,6	1,6	7	2,72	29,9	17,3	34,5		
15, 16	2	6,4	12,8	0,14	0,5/1,73	1,8	3,1							
22	1	18	18	0,17	0,65/1	3,1	3,1							
25, 26	2	11	22	0,13	0,5/1,73	2,9	5,1							
27	1	12,2	12,2	0,13	0,5/1,73	1,6	2,8							
Разом: 8			83,4	0,11		11	15,7							
СРШ – 3														
4, 5	2	8	16	0,13	0,5/1,73	2,1	3,6	7	2,39	30,4	19,1	35,8		
11, 12	2	9,2	18,4	0,17	0,65/1	3,1	3,1							
17, 18	2	12,5	25	0,12	0,5/1,73	3	5,2							
23	1	18	18	0,17	0,65/1	3,1	3,1							
28	1	11	11	0,13	0,5/1,73	1,4	2,4							
Разом: 8			88,4	0,14		12,7	17,4							
СРШ – 4														
1, 2	2	14	28	0,17	0,65/1	4,8	4,8	6	2,26	31,1	18,5	36,2		
3	1	12,2	12,2	0,13	0,5/1,73	1,6	2,8							
8	1	4,8	4,8	0,6	0,8/0,75	2,9	2,2							
14	1	15	15	0,14	0,5/1,73	2,1	3,6							
19	1	7,5	7,5	0,16	0,5/1,73	1,2	2,1							
20	1	7,5	7,5	0,13	0,5/1,73	1,1	1,3							
Разом: 7			75	0,18		13,7	16,8							
$\sum$												124,4	78,7	147,2

					Кваліфікаційна робота			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				27

2.2 Визначення центру електричних навантажень

Розташування електричних щитків, СРШ проектованого цеху повинно сприяти досягненню мінімуму витрат на всю СЕП. Для цього необхідно звести до мінімуму довжину мереж, унаслідок чого вартість втрат енергії та напруги в живильних і розподільних мережах СЕП промислового підприємства також буде мінімальною. З цією метою визначаємо умовні точки на плані цеху, що відповідають центру електричних навантажень цеху.

Для розрахунків врахуємо розрахункове навантаження електричного освітлення, яке визначимо за питомою потужністю.

$$P_p^0 = P_{num} \cdot K_n^0 \cdot S \quad (2.10)$$

де P_p^0 – розрахункова потужність, необхідна для освітлення цеху, кВт; P_{num} – питома норма освітленості цеху, кВт/м²; K_n^0 – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження; S – площа цеху, м².

Обираю $K_n^0 = 1,7$ для люмінесцентних ламп;

$$P_{num} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/м}^2$$

$$P_{p1}^0 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,7 \cdot 1344 = 22,8 \text{ кВт}$$

Для подальшого розрахунку врахуємо 1/4 від потужності загального освітлення для кожної СРШ.

Для СРШ – 1:

$$P_{p\Sigma} = \sum P_{pi} + P_p^0 \quad (2.11)$$

$$Q_{p\Sigma} = P_{p\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cp} \quad (2.12)$$

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \cdot K_{pM} \quad (2.13)$$

$$P_{p\Sigma 1} = 33 + 5,7 = 38,7 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma 1} = 38,7 \cdot 0,54 = 20,9 \text{ кВАр}$$

$$S_{p1} = \sqrt{38,7^2 + 20,9^2} \cdot 1 = 44,1 \text{ кВА}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

Для СРШ – 2:

$$P_{p\Sigma 2} = 29,9 + 5,7 = 35,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma 2} = 35,6 \cdot 0,54 = 19,2 \text{ кВАр}$$

$$S_{p2} = \sqrt{35,6^2 + 19,2^2} \cdot 1 = 40,4 \text{ кВА}$$

Для СРШ – 3

$$P_{p\Sigma 3} = 30,4 + 5,7 = 36,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma 3} = 36,1 \cdot 0,54 = 19,5 \text{ кВАр}$$

$$S_{p3} = \sqrt{36,1^2 + 19,5^2} \cdot 1 = 41,1 \text{ кВА}$$

Для СРШ – 4

$$P_{p\Sigma 4} = 31,1 + 5,7 = 36,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma 4} = 36,8 \cdot 0,54 = 19,9 \text{ кВАр}$$

$$S_{p4} = \sqrt{36,8^2 + 19,9^2} \cdot 1 = 41,8 \text{ кВА}$$

Для вибору місць розташування СРШ побудуємо картограму навантажень цеху визначимо центр електричних навантажень цеху.

Вибираємо масштаб побудови картограми навантажень. Прийmemo $m_p = 0,085 \text{ кВт/м}^2$. Тоді радіус кола навантаження токарного цеху при даному масштабі:

$$r = \sqrt{\frac{P_{p\Sigma}}{\pi \cdot m_p}} \quad (2.14)$$

$$r = \sqrt{\frac{147,2}{\pi \cdot 0,085}} = 23,5 \text{ м}$$

Визначимо радіус навантаження кожної з СРШ за формулою (2.14):

Для СРШ – 1:

$$r_1 = \sqrt{\frac{38,7}{\pi \cdot 0,085}} = 12 \text{ м}$$

Для СРШ – 2:

$$r_2 = \sqrt{\frac{35,6}{\pi \cdot 0,085}} = 11,5 \text{ м}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

Для СРШ – 3:

$$r_3 = \sqrt{\frac{36,1}{\pi \cdot 0,085}} = 11,5 \text{ м}$$

Для СРШ – 4:

$$r_4 = \sqrt{\frac{36,8}{\pi \cdot 0,085}} = 11,5 \text{ м}$$

Центри електричних навантажень (Ц.Е.Н.) знаходяться за формулами [10]:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p \sum i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p \sum i}} \quad (2.15)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p \sum i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p \sum i}} \quad (2.16)$$

де: $\sum_{i=1}^n P_{p \sum i}$ – сумарна активна розрахункова потужність групи електроприймачів, кВт; $\sum_{i=1}^n P_{p \sum i}$ – сумарна активна розрахункова потужність цеху (РП), кВт; X_i, Y_i – координати i -тої ділянки відповідно по x і y .

Для СРШ – 1:

$$X_1 = \frac{18 \cdot 40,4 + 18 \cdot 45,4 + 18 \cdot 42,2 + 6,4 \cdot 42 + 6,4 \cdot 45,4 + 12,5 \cdot 39,2 + 12,2 \cdot 43,4}{3 \cdot 18 + 2 \cdot 6,4 + 12,5 + 12,2} = 43 \text{ м}$$

$$Y_1 = \frac{18 \cdot 2,8 + 18 \cdot 2,8 + 18 \cdot 7,5 + 6,4 \cdot 24 + 6,4 \cdot 24 + 12,5 \cdot 18,7 + 12,2 \cdot 13,7}{3 \cdot 18 + 2 \cdot 6,4 + 12,5 + 12,2} = 10 \text{ м}$$

Для СРШ – 2:

$$X_2 = \frac{9,2 \cdot 10,8 + 9,2 \cdot 17,2 + 6,4 \cdot 45,4 + 6,4 \cdot 42 + 18 \cdot 14,8 + 11 \cdot 12 + 11 \cdot 17 + 12,2 \cdot 22,2}{2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 6,4 + 18 + 2 \cdot 11 + 12,2} = 20 \text{ м}$$

$$Y_2 = \frac{9,2 \cdot 20,5 + 9,2 \cdot 20,5 + 6,4 \cdot 15,3 + 6,4 \cdot 15,3 + 18 \cdot 11 + 11 \cdot 3,6 + 11 \cdot 3,6 + 12,2 \cdot 13,7}{2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 6,4 + 18 + 2 \cdot 11 + 12,2} = 12 \text{ м}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для СРШ – 3:

$$X_3 = \frac{8 \cdot 26,6 + 8 \cdot 33 + 9,2 \cdot 26,6 + 9,2 \cdot 32,8 + 12,5 \cdot 25,8 + 12,5 \cdot 32,6 + 18 \cdot 30,2 + 11 \cdot 31,4}{2 \cdot 8 + 2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 12,5 + 18 + 11} = 30 \text{ м}$$

$$Y_3 = \frac{8 \cdot 24 + 8 \cdot 24 + 9,2 \cdot 20,5 + 9,2 \cdot 20,5 + 12,5 \cdot 16,5 + 12,5 \cdot 16,5 + 18 \cdot 11 + 11 \cdot 3,6}{2 \cdot 8 + 2 \cdot 9,2 + 2 \cdot 12,5 + 18 + 11} = 16 \text{ м}$$

Для СРШ – 4:

$$X_4 = \frac{14 \cdot 12,2 + 14 \cdot 18 + 12,2 \cdot 22 + 4,8 \cdot 1,8 + 15 \cdot 1,6 + 7,5 \cdot 1,4 + 7,5 \cdot 4,2}{2 \cdot 14 + 12,2 + 4,8 + 15 + 7,5 + 7,5} = 10 \text{ м}$$

$$Y_4 = \frac{14 \cdot 24 + 14 \cdot 24 + 12,2 \cdot 22 + 4,8 \cdot 21,6 + 15 \cdot 18 + 7,5 \cdot 13,1 + 7,5 \cdot 13,3}{2 \cdot 14 + 12,2 + 4,8 + 15 + 7,5 + 7,5} = 20 \text{ м}$$

Для цеху:

$$X_0 = \frac{38,7 \cdot 43 + 35,6 \cdot 20 + 36,1 \cdot 30 + 36,8 \cdot 10}{38,7 + 35,6 + 36,1 + 36,8} = 26 \text{ м}$$

$$Y_0 = \frac{38,7 \cdot 10 + 35,6 \cdot 12 + 36,1 \cdot 16 + 36,8 \cdot 20}{38,7 + 35,6 + 36,1 + 36,8} = 15 \text{ м}$$

Отримані результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Дані розрахунків координат та радіусу ЦЕН токарного цеху

№ СРШ та груп ЕП	P_{pi} , кВт	P_p^0 , кВт	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	S_p , кВА	r , м	X, м	Y, м
СРШ – 1	33	22,8	38,7	20,9	44,1	12	43	10
СРШ – 2	29,9		35,6	19,2	40,4	11,5	20	12
СРШ – 3	30,4		36,1	19,5	41,1	11,5	30	16
СРШ – 4	31,1		36,8	19,9	41,8	11,5	10	20
За цех	124,4	22,8	147,2	79,5	167,3	23,5	26	15

Розраховані координати зображені на рисунку 2.2.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		31

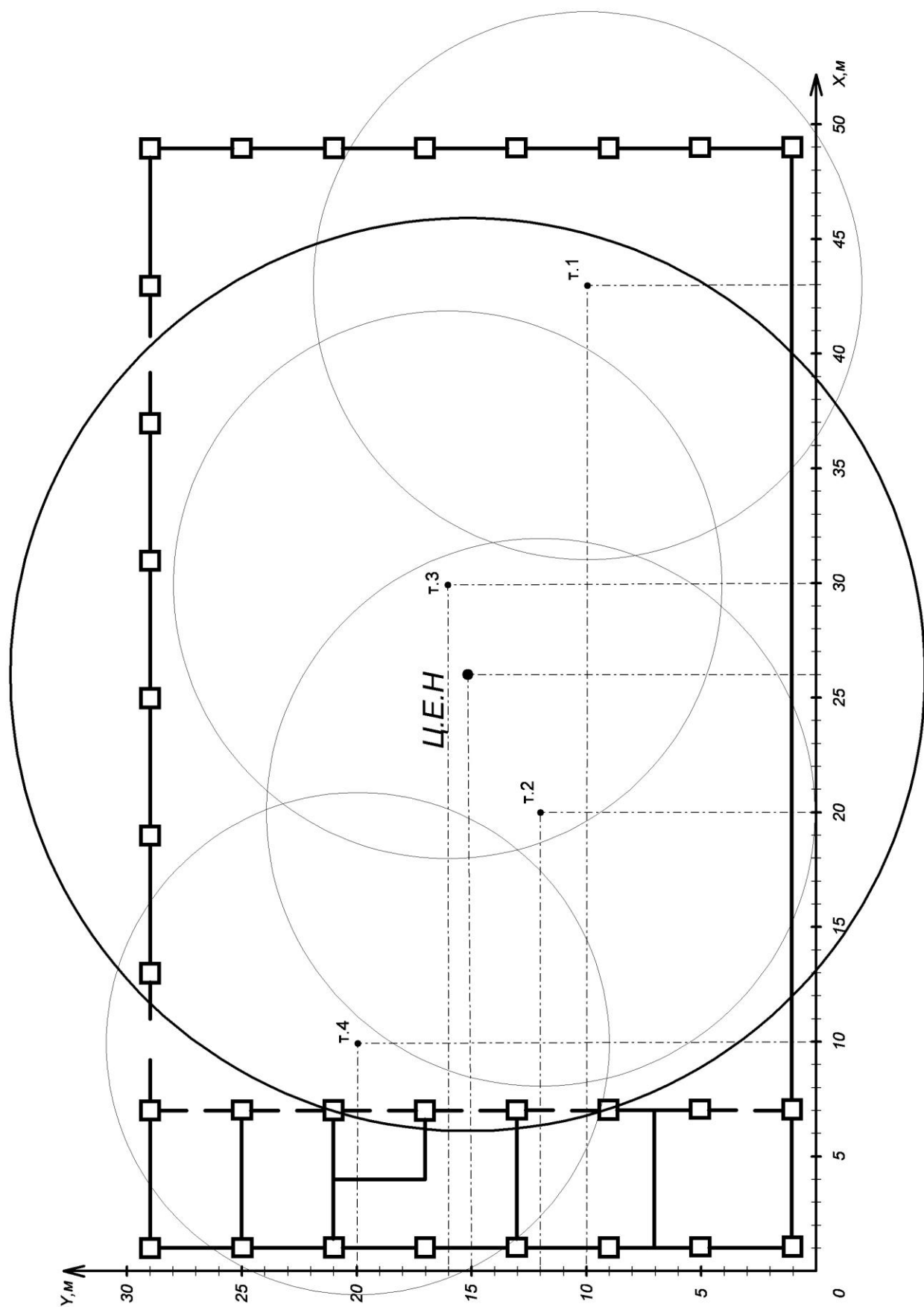


Рисунок 2.2 – Картограма навантаження цеху

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Кваліфікаційна робота

2.3 Розрахунок системи освітлення цеху

Вибір джерел світла (ДС) визначається вимогами до якості світлового середовища (колірна температура, індекс кольоропередачі, показник засліпленості) і здійснюється на підставі порівняння техніко-економічних показників сучасних світлових приладів. При цьому пріоритет необхідно віддавати світлодіодним (LED) джерелам світла як найбільш енергоефективним, що мають світлову віддачу понад 120–140 лм/Вт і забезпечують мінімальне питоме споживання електроенергії.

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018, загальне (незалежно від прийнятої системи освітлення) штучне освітлення виробничих приміщень, призначених для постійного перебування людей, повинне забезпечуватися світлодіодними джерелами світла або енергоефективними розрядними лампами.

Застосування ламп розжарювання допускається лише в окремих випадках, коли за умовами технологічного процесу, специфіки середовища або особливих вимог до оформлення інтер'єру використання світлодіодних або розрядних джерел світла є технічно неможливим.

Світлодіодні джерела світла завдяки їх високій надійності та якості спектру рекомендується застосовувати у наступних випадках:

- а) у приміщеннях, де робота пов'язана з високою та тривалою напругою зору (складальні, верстатні ділянки);
- б) у приміщеннях, де потрібне точне розпізнавання кольірних відтінків (індекс $R_a \geq 80$);
- в) у приміщеннях без природного світла та з важкими умовами експлуатації;

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

г) для аварійного та евакуаційного освітлення, враховуючи їх здатність до миттєвого перезапалювання та роботу від систем безперебійного живлення.

При виборі світлодіодних світильників необхідно враховувати температурний режим приміщення та стабільність напруги живлення. У гарячих цехах слід використовувати світильники з відповідним тепловідводом. Для високих виробничих приміщень ($H \geq 6$ м) застосовуються промислові LED-світильники з фокусуючою оптикою, що дозволяють ефективно спрямовувати світловий потік у робочу зону.

Натрієві лампи (ДНаТ) через їх специфічний монохроматичний спектр доцільно застосовувати лише для зовнішнього освітлення територій підприємства або у складських приміщеннях, де вимоги до кольоропередачі мінімальні, а пріоритетом є висока проникаюча здатність світла в умовах туману чи запиленості.

Для аварійного освітлення (освітлення безпеки та евакуаційного) застосовуються світлодіодні світильники з автономними блоками живлення або підключені до окремої мережі. Якщо робоче освітлення виконане світлодіодами, то й аварійне також виконується на базі LED-технологій, що забезпечує уніфікацію обслуговування.

Відповідно до викладеного вище, зробимо вибір джерел світла для системи загального рівномірного та аварійного освітлення цеху. В основному приміщенні (верстатне відділення) як джерело світла обрані світлодіодні світильники промислової серії з наступних міркувань: вони мають найвищу світлову віддачу; велика висота приміщення ($H=9$ м) вимагає мінімальних витрат на обслуговування; LED-модулі забезпечують високий індекс кольоропередачі, що необхідно для роботи на верстатах; система дозволяє інтегрувати датчики присутності та освітленості.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вибір нормованої освітленості робочих місць є ключовим етапом проектування. При завищених значеннях зростають капітальні витрати та втрати енергії. Занижене освітлення стає причиною стомлюваності, появи браку та зниження продуктивності праці. Основним нормативним документом для вибору норм освітленості є ДБН В.2.5-28:2018.

Оскільки в процесі експлуатації відбувається поступове зменшення світлового потоку через старіння світлодіодів та запилення світильників, початкова освітленість при розрахунку приймається вищою за нормовану шляхом введення коефіцієнта експлуатації (коефіцієнта запасу). Його значення регламентоване нормами і залежить від характеру середовища та періодичності очищення. Для світлодіодних установок у виробничих приміщеннях цей коефіцієнт зазвичай знаходиться в межах 1,2...1,5.

Таблиця 2.4 – Вибір мінімальних рівнів освітленості приміщень і коефіцієнтів запасу

Найменування приміщення		Площина нормування освітленості і її висота від підлоги, м		Нормовані значення	
				Освітленість,	Коефіцієнт
					Арк. 35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

		лк	запасу K_3 , о.е
Верстатне відділення	Г-робоча поверхня 0,8	400	1,4
Роздягальня	Г-0,0	100	1,2
Кімната відпочинку	Г-0,8	200	1,2
Інструментальна комора	Г-0,8	200	1,3
Токарна кімната	Г-0,8	300	1,4
ЦТП	В-1,5	200	1,2
Склад	Г-0,0	150	1,3

Виконаємо попередній вибір типу світильників робочого та евакуаційного освітлення для приміщень цеху з урахуванням сучасних стандартів енергоефективності.

Для основного приміщення (верстатне відділення) вибираємо промислові світлодіодні світильники типу «High Bay». Вони є найбільш економічними та технологічними, оскільки поєднують у собі високу світлову віддачу (понад 140 лм/Вт) при мінімальному споживанні електроенергії та тривалому терміні служби. Світлодіодні модулі забезпечують високий індекс кольоропередачі ($R_a \geq 80$), що суттєво покращує умови праці та безпеку на токарній дільниці порівняно з традиційними газорозрядними лампами.

Для допоміжних приміщень як джерела світла вибираємо лінійні світлодіодні світильники або LED-панелі. Оскільки висота цих приміщень не перевищує 6 метрів, таке рішення дозволяє досягти високої рівномірності освітлення та відповідного зорового комфорту.

В основному приміщенні встановлюємо енергоефективні світлодіодні світильники у вологозахищеному та пилонепроникному виконанні (клас захисту не нижче IP65), що відповідає специфіці металообробного виробництва.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

У допоміжних приміщеннях встановлюємо світлодіодні світильники накладного або вбудованого типу, які найкраще відповідають призначенню адміністративно-побутових та технічних зон. Світильники підбираються з відповідним класом захисту згідно з категоріями приміщень за умовами навколишнього середовища (див. табл. 2.5).

У приміщенні цехової трансформаторної підстанції (ТП) встановлюємо настінні світлодіодні світильники спрямованого світла. Це зумовлено конструктивними особливостями приміщення: наявністю трансформаторів та іншого обладнання значної висоти, що унеможлиблює безпечне обслуговування стельових приладів. Настінне розміщення забезпечує якісне освітлення фасадів щитів керування та безпеку персоналу під час експлуатації та оглядів устаткування.

Результати вибору заносимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір світильників робочого й аварійного (евакуаційного) освітлення

Найменування приміщення	Розміри приміщення, м		Тип світильника		Система захисту IP
	Висота Н	А×В	Тип джерела світла		
			Загальне	Аварійне	
Верстатне відділення	9	42×28	Світлодіодний (High Bay)	Світлодіодний (High Bay) з ДБЖ	65
			LED	LED	
Роздягальня	3	6×4	Світлодіодна панель	—	20
			LED		
Кімната	3	6×4	Світлодіодна	—	20

відпочинку			панель		
			LED		
Інструментальна	3	4×3	Світлодіодний лінійний	—	40
			LED		
Кімната для точіння ріжучого інструменту	3	8×4,5	Світлодіодний лінійний	—	54
			LED		
ЦТП	4	6×6	Світлодіодний настінний	—	40
			LED		
Склад	3	6×6	Світлодіодний лінійний	—	54
			LED		

Висота підвісу світильників над робочою поверхнею (H_p) — розрахункова висота встановлення світлових приладів, яка суттєво визначає світлотехнічні та техніко-економічні показники проекрованої освітлювальної установки.

Мінімальна висота підвісу обмежена нормативними вимогами щодо обмеження прямого блиску та показника засліпленості (UGR). Максимальна висота обмежена конструктивними розмірами приміщення, необхідністю забезпечення нормованої освітленості та умовами безпечного технічного обслуговування світлових приладів.

Для розрахунку аварійного (евакуаційного) освітлення використаємо точковий метод. Даний метод дозволяє точно визначити значення освітленості у специфічних точках (на шляхах евакуації, біля виходів) та розрахувати необхідний світловий потік джерела світла або окремого світильника.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Розраховані та обрані дані світлотехнічного розрахунку робочого й евакуаційного освітлення приміщень цеху заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Світлотехнічний розрахунок освітлення приміщень

Найменування приміщення	Тип світильника джерела світла	світильників	$E_{но}$ м ЛК	K_z	Світловий потік, клм		Потужність, кВт	
					Φ_l	$\Phi_{уст}$	P_l	$P_{уст}$
Верстатне відділення	LED High Bay	24	400	1,4	21	504	0,15	3,6
	LED High Bay з ДБЖ	8	50	1,4	21	168	0,15	1,2
Побутова кімната	LED Панелі	4	200	1,2	3,6	14,4	0,036	0,144
	—	—						
Роздягальня	LED Панелі	4	100	1,2	3	12	0,028	0,112
	—	—						
Інструментальна	LED Лінійний	4	200	1,3	4,5	18	0,036	0,144
	—	—						
Кімната для точіння ріжучого іструменту	LED Лінійний	8	300	1,4	5,2	41,6	0,042	0,336
	—	—						
ЦТП	LED Настінний точковий	6	200	1,2	3,2	19,2	0,024	0,144
	—	—						
Склад	LED Лінійний	6	150	1,3	4	24	0,032	0,192
	—	—						

Живлення електричного освітлення здійснюється від загальних трифазних силових трансформаторів із глухозаземленою нейтраллю з номінальною

напругою на низькій стороні 400/230 В. Мережі електричного освітлення поділяються на живильні, розподільні та групові.

Електричні освітлювальні мережі характеризуються наступними параметрами:

- типами систем струмовідних провідників;
- типами систем заземлення;
- способами та пристроями захисту від пожежі та вибуху.

Відповідно до ПУЕ, живлення електроприймачів виконується від мережі 400/230 В із системою заземлення TN-S або TN-C-S. Для ремонтного та місцевого освітлення з лампами розжарювання або сучасними LED-модулями використовується безпечна напруга (не вище 50 В) від понижувальних трансформаторів з електрично розділеними обмотками або автономних джерел. Для забезпечення електробезпеки один із виводів або нейтраль вторинної обмотки трансформатора мають бути заземлені.

Світильники робочого та аварійного освітлення у виробничих будівлях повинні живитися від незалежних джерел. Світильники евакуаційного освітлення приєднуються до мережі, не пов'язаної з робочим освітленням, починаючи від щита підстанції або ввідно-розподільного пристрою (ВРП).

Живильні мережі для освітлювальних та силових установок рекомендується виконувати окремими лініями. На початку кожної живильної та групової лінії встановлюються апарати захисту. При живленні від КТП поблизу підстанції встановлюються магістральні щитки з автоматичними вимикачами, від яких живляться групові щитки.

Схема живлення освітлення цеху розроблена з урахуванням надійності, безпеки та економічності. Живлення здійснюється від КТП окремо від силової мережі з використанням системи заземлення TN-S. Для живильної мережі основного та допоміжних приміщень застосовано трифазну систему, де світильники підключаються на фазну напругу 230 В.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Живлення групових щитків робочого освітлення (ГЩО) виконується через магістральний щиток безпосередньо від трансформатора Т1. Щитки аварійного освітлення (ЩОа) живляться від трансформатора Т2. У мережу включені штепсельні розетки загального призначення (230 В). У допоміжних приміщеннях встановлені вимикачі (зазвичай подвійні) біля входу всередині приміщення.

Щитки освітлення розташовані максимально близько до центру електричних навантажень, у зручних для обслуговування місцях (біля входів, на колонах), що мінімізує довжину мереж та втрати напруги. Електропроводка у виробничих приміщеннях виконана відкрито по будівельних конструкціях (фермах, стінах) з урахуванням умов навколишнього середовища.

У другому розділі проведено розрахунок електричного навантаження токарного цеху. Встановлено, що повне навантаження технологічного обладнання становить $S_H = 147,2$ кВА. З урахуванням впровадження енергоефективної світлотехнічної установки на базі LED-світильників, сумарне навантаження цеху становить 152,1 кВА. За результатами розрахунків побудовано картограму навантажень та визначено оптимальні місця встановлення розподільних пунктів.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Вибір цехової трансформаторної підстанції

Трансформаторні підстанції є одним із ключових елементів систем електропостачання промислових підприємств. Їх призначення полягає у прийманні електроенергії від зовнішньої мережі, перетворенні рівня напруги та подальшому розподілі електроенергії між споживачами.

Основним обладнанням цехових підстанцій є силові трансформатори, які забезпечують пониження напруги від мережі середнього класу до рівня, необхідного для живлення електроприймачів. Правильний вибір кількості та потужності трансформаторів значною мірою визначає технічну ефективність і економічність усієї системи електропостачання.

Під час вибору трансформаторів необхідно враховувати категорію надійності електроприймачів, величину розрахункового навантаження, можливість компенсації реактивної потужності, характер графіка електроспоживання, допустимі перевантаження в аварійних режимах та перспективи розвитку виробництва.

Одним із найважливіших критеріїв є забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання. Для споживачів другої категорії необхідно передбачати резервування джерел живлення, що дозволяє мінімізувати наслідки аварійних ситуацій та забезпечити безперервність виробничого процесу.

Вибір місця встановлення підстанції здійснюється з урахуванням центру електричних навантажень, архітектурно-будівельних особливостей підприємства та вимог щодо безпеки експлуатації.

Число і потужність трансформаторів ЦТП, а також місце їх розташування обирається з урахуванням ряду факторів, основні з яких: величина розрахункового навантаження, компенсація реактивного навантаження, надійність електропостачання, питома густина електричного навантаження,

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

особливості розміщення технологічного устаткування в цеху, архітектурно-будівельні і експлуатаційні вимоги.

Основний критерій, який визначає число трансформаторів на ЦТП – категорія безперебійності електропостачання електроприймачів, які живляться від даної підстанції.

При відносно невеликій кількості електроприймачів категорії I (до 20-30%) рекомендується приймати однострансформаторні підстанції. Резервування категорії I і II забезпечується по лініям нижчої напруги від сусідніх ТП.

При перевазі електроприймачів I категорії і наявності споживачів особливої групи, а також зосередженого цехового навантаження з високою питомою щільністю навантажень (вище $0,5 - 0,7 \text{ кВА/м}^2$) необхідно встановлювати двохтрансформаторні підстанції.

В деяких випадках рішення можуть прийматися не так однозначно, особливо при наявності складського резерву.

Встановлення двох трансформаторів на ЦТП диктується не умовою резервування електроприймачів, а необхідністю обліку кроку номінальної потужності трансформаторів по шкалі ДСТУ.

Згідно ДСТУ 14209-85 і ДСТУ 11677-75 цехові трансформатори мають наступні номінальні потужності: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА [10].

При щільності питомого навантаження цеху до $0,2 \text{ кВА/м}^2$ доцільно використовувати трансформатори потужністю 630 – 1000 кВА, а при щільності $0,2 - 0,3 \text{ кВА/м}^2$ та вище – трансформатори потужністю 1600 – 2500 кВА. Трансформатори потужністю менш 630 кВА використовуються при малій щільності навантажень в основному на невеликих підприємствах. Правильно визначити число і потужність цехових трансформаторів можна тільки техніко-економічними розрахунками з урахуванням викладених критеріїв. В залежності від вихідних даних необхідно розрізнявати два методи вибору номінальної потужності трансформаторів:

- по заданому добовому графіку навантаження цеху (блоку цехів);

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- по розрахунковому максимальному навантаженню.

Треба зазначити, що принципи підходу до вибору номінальної потужності трансформаторів на одно- або двохтрансформаторних підстанціях різні.

Трансформатори для цехових ТП по першому методу вибираються на підставі характеристик добового графіка навантаження: середньодобового навантаження, максимального навантаження і тривалості максимального навантаження.

3.1.1 Вибір силового трансформатора цехової ТП

Цех, що розраховується, відноситься до II категорії надійності електропостачання, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів. Електроприймачі II категорії в нормальних режимах повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних взаємно резервуючих джерел живлення.

Номінальна потужність трансформатора визначається за виразом:

$$S_{н.тр} = \frac{P_{розр}}{n \cdot \beta_m \cdot \cos \varphi} \quad (3.1)$$

де $S_{н.тр}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА; $P_{розр}$ – розрахункова максимальна потужність цеху, кВт; β_m – коефіцієнт завантаження трансформатора; n – кількість трансформаторів

Враховуючи, що $S_p = 147,2$ кВт, та рекомендований коефіцієнт завантаження $\beta_m = 0,8$, розрахуємо потужність трансформаторів:

$$S_{н.тр} = \frac{147,2}{2 \cdot 0,8 \cdot 0,92} = 100,1 \text{ кВА}$$

Приймаємо до установки два трансформатори марки ТМ 100/10. Довідникові параметри обраного трансформатора заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика трансформатора

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тип трансформатора	S _{ном} , кВА	Напруга, кВ		Втрати, кВт		I _{хх} , %	U _{кз} , %
		ВН	НН	P _{хх}	P _{кз}		
ТМ-100/10	100	10	0,4	0,31	1,97	2,6	4,5

Обрані трансформатори перевіряємо за коефіцієнтом завантаження в нормальному та аварійному режимах і порівнюємо з припустимими:

$$K_{зав.нр} = \frac{S_p}{2 \cdot S_{нтр}} \leq 0,5 \div 0,9 \quad (3.2)$$

де $K_{зав.нр}$ – коефіцієнт завантаження.

$$K_{зав.нр} = \frac{167,3}{2 \cdot 100} = 0,8$$

$$K_{зав.ав.р} = \frac{S_p}{S_{нтр}} \leq 1,4 \div 1,6 \quad (3.2)$$

де $K_{зав.ав.р}$ – коефіцієнт завантаження.

$$K_{зав.ав.р} = \frac{167,3}{100} = 1,6$$

Обидві умови виконуються.

Таким чином для живлення токарного цеху вибираю два трифазних масляних двообмоткових трансформатори загального призначення для комплектних трансформаторних підстанцій ТМ-100/10 з номінальною потужністю $S_{ном} = 100$ кВА і вищою напругою 10кВ.

3.1.2 Вибір високовольтних вимикачів і перерізу кабелю

Вимикачі в залежності від застосованих в їх середовищ для гасіння дуги та ізолюючи середовищ розподіляють на масляні, повітряні, елегазові, вакуумні та вимикачі з магнітним гасінням дуги.

В мережах 6 – 20 кВ застосовують малооб'ємні масляні вимикачі, вимикачі з магнітним гасінням дуги або вакуумні.

На лінії напругою 10 кВ, що живить ЦТП, необхідно вибрати та перевірити вимикач. Вимикач обирається по номінальній напрузі, струму, типу, роду

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		45

установки і перевіряється по електродинамічній, термічній стійкості і здібності відключати в режимі КЗ.

Відомі наступні приєднання цехових ТП до живлячих високовольтних ліній: глухе, через роз'єднувач-запобігач, вимикач навантаження з запобігачем. Останній застосовується частіше всього в магістральних схемах електропостачання.

Проведемо вибір високовольтного вимикача за номінальною напругою і розрахунковим струмом нормального та після аварійного режимів.

$$U_{ном.в} \geq U_{max} \quad (3.8)$$

$$I_{ном.в} \geq I_{max} \quad (3.9)$$

Визначимо струми для нормального і після аварійного режимів на ліній підприємства для токарного цеху напругою 10 кВ і 0,4кВ:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (3.10)$$

$$I_{max} = 2 \cdot I_p \quad (3.11)$$

$$I_{p10} = \frac{167,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,7 \text{ А} \quad I_{max10} = 2 \cdot 9,7 = 19,4 \text{ А}$$

Для установки на стороні 10 кВ, вибираю електричний вимикач типу FPH121604 з $I_{ном} = 400 \text{ А}$ та повним часом відключення вимикача 70 мс.

Перевіримо вибраний вимикач за умовою:

$$I_{доп} \geq I_{max} \quad (3.12)$$

$$400 \geq 19,4$$

Для вибору перерізу кабелю, який живить ЦТП з трансформатором 10/0,4 кВ, як струм нормального режиму $I_{ном}$ при радіальній схемі, незалежно від числа трансформаторів ЦТП, приймається номінальний первинний струм трансформатора, який визначається за паспортними даними трансформатора або за формулою:

$$I_{ном} = I_{ном.Т1} = \frac{S_{нтр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.Т1}} \quad (3.13)$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де $S_{нтр}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА; $U_{ном.Т1}$ – номінальна напруга первинної обмотки трансформатора, кВ

$$I_{норм} = I_{ном.Т1} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \text{ А}$$

Економічно вигідний переріз кабелю вибираємо за економічною щільністю струму:

$$S_{ек} = \frac{I_{норм}}{J_{ек}} \quad (3.14)$$

де $I_{норм}$ – струм нормального режиму, А; $J_{ек}$ – економічна щільність струму, для ізолюваних провідників з паперовою ізоляцією $J_{ек} = 1,2$ при $T_m > 5000$ год.

$$S_{ек} = \frac{9,2}{1,2} = 7,7 \text{ мм}^2$$

Розрахунковий економічно вигідний переріз кабелю $S_{ек}$ округляємо до найближчого стандартного перерізу $S_{ст}$. З таблиці 1.3.13 ПУЕ вибираю кабель з алюмінієвими жилами з паперовою просоченою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААШв–10(3х16), прокладений в землі з $I_{доп} = 75$ А.

Перевіримо переріз кабелю у режимі максимального навантаження. Струм для даного перерізу кабелю буде визначатися за формулою:

$$I'_{доп} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot I_{доп} \quad (3.15)$$

де $K_{сер}$ – поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища; $K_{пр}$ – поправковий коефіцієнт на прокладання кабелю приймаємо $K_{пр} = 1$;

$$I'_{доп} = 0,94 \cdot 1 \cdot 75 = 70,5 \text{ А}$$

Умова перевірки кабелю $I'_{доп} \geq I_{розр}$ $9,2 < 70,5$ виконується.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Комутаційно-захисна апаратура провідників цехової мережі

Лінія	$S_{роз.},$ кВА	$I_{роз.},$ А	$I_{max.},$ А	$S_{ек.},$ мм ²	Марка проводу	$I_{доп.},$ А	Марка вимикача
ГПП – ЦТП	167,3	9,7	19,4	16	ААШв–10(3х16)	75	FPX121604

					Кваліфікаційна робота		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			47

3.1.3 Вибір розподільчого пристрою НН цехової ТП

Розподільний пристрій НН КТП складається з стандартних силових шаф: ШНВ та ШНЛ. У ШНВ обов'язково є автомат вводу та лінійні автомати, а для відгалужувальних ліній у ШНЛ встановлюються лінійні автомати. Крім того у шафах встановлюються ТС, вимірювальні прилади.

Проведемо вибір ввідного автомата за номінальною напругою та розрахунковим струмом нормального та після аварійного режимів за формулами (3.8, 3.9).

Визначимо струми для нормального і після аварійного режимів на лінії 0,4кВ за формулами (3.10), (3.11):

$$I_{p0,4} = \frac{167,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 254,5 \text{ А} \quad I_{max0,4} = 2 \cdot 254,5 = 509 \text{ А}$$

Для установки на стороні 0,4 кВ вибираю автоматичний вимикач типу ВА52-39 в якого $I_{ном} = 630 \text{ А}$.

Перевіримо вибраний автомат за формулою (3.12):

$$630 \geq 509$$

Вибраний автомат відповідає умові.

Проведемо розрахунок та вибір лінійних автоматів, які захищають живильні лінії до СРШ1, СРШ2, СРШ3 та СРШ4.

Лінія до СРШ1:

- Розрахунковий максимальний струм:

$$I_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (3.16)$$

де $S_{\text{м}}$ – розрахункова максимальна потужність (табл. 2.2), кВА.

$$I_{\text{м}} = \frac{40,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 61,9 \text{ А}$$

- Найбільший пусковий струм:

$$I_{\text{н.мах}} = 5 \cdot I_{\text{н.ном}} \quad (3.17)$$

де $I_{\text{н.мах}}$ – номінальний струм ЕП, пусковий струм якого найбільший

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$I_{н.мах} = \frac{P_{вст.мах}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} \quad (3.18)$$

$$I_{н.мах} = \frac{18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5} = 54,8 \text{ А}$$

$$I_{п.макс} = 5 \cdot 54,8 = 274 \text{ А}$$

- Піковий струм лінії СРШ1:

$$I_n \approx I_m + I_{п.макс} \quad (3.19)$$

$$I_n = 54,8 + 274 = 328,8 \text{ А}$$

- Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-39 з номінальним струмом $I_{ном} = 630 \text{ А}$ і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч} = 400 \text{ А}$.
Для ВА52-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Лінія до СРШ2:

- Розрахунковий максимальний струм за формулою (3.16):

$$I_m = \frac{34,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 52,5 \text{ А}$$

- Найбільший пусковий струм за формулами (3.17), (3.18):

$$I_{н.мах} = \frac{18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 42,1 \text{ А}$$

$$I_{п.мах} = 5 \cdot 42,1 = 210,5 \text{ А}$$

- Піковий струм лінії СРШ2 за формулою (3.19):

$$I_n = 52,5 + 210,5 = 263 \text{ А}$$

- Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-39 з номінальним струмом $I_{ном} = 630 \text{ А}$ і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч} = 320 \text{ А}$.
Для ВА52-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Лінія до СРШ3:

- Розрахунковий максимальний струм за формулою (3.16):

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		49

$$I_m = \frac{35,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 54,5 \text{ A}$$

- Найбільший пусковий струм за формулами (3.17), (3.18):

$$I_{n.max} = \frac{18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 42,1 \text{ A}$$

$$I_{n.max} = 5 \cdot 42,1 = 210 \text{ A}$$

- Піковий струм лінії СРШ3 за формулою (3.19):

$$I_n = 54,5 + 210 = 264,5 \text{ A}$$

- Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-35 з номінальним струмом $I_{ном} = 250 \text{ A}$ і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч} = 320 \text{ A}$.

Для ВА52-35 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Лінія до СРШ4:

- Розрахунковий максимальний струм за формулою (3.16):

$$I_m = \frac{36,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 55,1 \text{ A}$$

- Найбільший пусковий струм за формулами (3.17), (3.18):

$$I_{n.max} = \frac{14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 32,8 \text{ A}$$

$$I_{n.max} = 5 \cdot 32,8 = 164 \text{ A}$$

- Піковий струм лінії СРШ4 за формулою (3.19):

$$I_n = 55,1 + 164 = 219,1 \text{ A}$$

- Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-39 з номінальним струмом $I_{ном} = 630 \text{ A}$ і номінальним струмом розчеплювача $I_{н.розч} = 250 \text{ A}$.

Для ВА52-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 45 кА.

Отримані результати заносимо до таблиці 3.3.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 3.3 – Результат вибору автоматів розподільчого пристрою НН КТП

Живильна лінія	Тип апарата	$U_{ном},$ В	$I_{ном.в},$ А	$I_{н.розч},$ А	$I_{н.відк},$ кА
до ШНВ	ВА52-39	660	630	630	45
до СРШ1	ВА52-39	660	630	400	45
до СРШ2	ВА52-39	660	320	320	45
до СРШ3	ВА52-35	660	320	320	45
до СРШ4	ВА52-35	660	250	250	45

3.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз живильної мережі в основному вибирають за умовами нагрівання або за економічною щільністю струму лише в разі досить великої кількості годин використання максимуму навантаження (понад 4000 – 5000 год), яка в цехових електричних мережах буває досить рідко.

Основною умовою вибору перерізу провідників є величина нагрівання їх електричним струмом у нормальному, форсованому та аварійному режимах. Якщо температура нагрівання перевищить допустиму, то залежно від величини перевищення й тривалості часу елемент може бути пошкоджений, що спричинить порушення нормальної роботи системи, а вгіршому випадку (загорання ізоляції) може призвести до пожежі.

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не розрахункового:

$$I'_{дон} \geq I_{розр} \quad (3.20)$$

Допустимий тривалий струм для кабелів з врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається з урахуванням поправкового коефіцієнта $K_{нопр}$ так:

$$I'_{дон} = K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot K_{нопр} \cdot I_{дон} \quad (3.21)$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51

де $K_{сер}$ – поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища;
 K_{np} – поправковий коефіцієнт на прокладання кабелю приймаємо $K_{np} = 1$; $K_{нопр}$ – поправковий коефіцієнт вводиться при визначенні $I'_{нопр}$ для чотирижильних кабелів з пласмасовою ізоляцією до 1 кВ, якщо допустимі тривалі струми взяті з таблиці 1.3.7 ПУЕ як для трижильних кабелів.

Розрахунковий струм для лінії, яка живить СРШ1 $I_{м1} = 61,9$ А. З таблиці 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст} = 25$ мм² допустимий струм $I_{дон} = 75$ А. За формулою (3.21)

$$I'_{дон} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 75 = 64,9 \text{ А}$$

$$I'_{дон} = 64,9 \text{ А} > I_{м1} = 61,9 \text{ А}$$

Умова виконується, тому вибираємо кабель для живлення СРШ1 марки АВВГ 4х25 Ск.

Розрахунковий струм для лінії, яка живить СРШ2 $I_{м2} = 52,5$ А. За таблицею 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст} = 16$ мм² допустимий струм $I_{дон} = 60$ А. За формулою (3.21)

$$I'_{дон} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 60 = 51,9 \text{ А}$$

$$I'_{дон} = 51,9 \text{ А} < I_{м2} = 52,5 \text{ А}$$

Умова не виконується, тому вибираємо найближчий більший стандартний переріз струмопровідної жили $S_{ст} = 25$ мм² з допустимим струмом $I_{дон} = 75$ А, та перевіряємо за формулою (3.21):

$$I'_{дон} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 75 = 64,9 \text{ А}$$

$$I'_{дон} = 64,9 \text{ А} > I_{м2} = 52,5 \text{ А}$$

Умова виконується. Вибираю кабель для живлення СРШ2 марки АВВГ 4х25 Ск.

Для СРШ3 $I_{м3} = 54,5$ А. За таблицею 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{ст} = 16$ мм² допустимий струм $I_{дон} = 60$ А. За формулою (3.21)

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$I'_{\text{доп}} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 60 = 51,9 \text{ А}$$

$$I'_{\text{доп}} = 51,9 \text{ А} < I_{\text{мз}} = 54,5 \text{ А}$$

Умова не виконується, тому вибираємо найближчий більший стандартний переріз струмопровідної жили $S_{\text{см}} = 25 \text{ мм}^2$ з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$, та перевіряємо за формулою (3.21):

$$I'_{\text{доп}} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 75 = 64,9 \text{ А}$$

$$I'_{\text{доп}} = 64,9 \text{ А} > I_{\text{мз}} = 54,5 \text{ А}$$

Умова виконується. Вибираю кабель для живлення СРШЗ марки АВВГ 4х25 Ск.

Для СРШ4 $I_{\text{м4}} = 55,1 \text{ А}$. За таблицею 1.3.7 ПУЕ вибираємо трижильний кабель при прокладанні в повітрі із стандартним перерізом $S_{\text{см}} = 16 \text{ мм}^2$ допустимий струм $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$. За формулою (3.21)

$$I'_{\text{доп}} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 60 = 51,9 \text{ А}$$

$$I'_{\text{доп}} = 51,9 \text{ А} < I_{\text{мз}} = 55,1 \text{ А}$$

Умова не виконується, тому вибираємо найближчий більший стандартний переріз струмопровідної жили $S_{\text{см}} = 25 \text{ мм}^2$ з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$, та перевіряємо за формулою (3.21):

$$I'_{\text{доп}} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 75 = 64,9 \text{ А}$$

$$I'_{\text{доп}} = 64,9 \text{ А} > I_{\text{мз}} = 55,1 \text{ А}$$

Умова виконується. Вибираю кабель для живлення СРШ4 марки АВВГ 4х25 Ск.

Результати заносимо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір перерізу кабелів живильної мережі

Кабель до ПРЕ	$S_{\text{см}}, \text{мм}^2$	$I'_{\text{доп}}, \text{А}$	$I_{\text{м}}, \text{А}$	Тип кабелю
до СРШ1	25	64,9	61,9	АВВГ 4х25 Ск
до СРШ2	25	64,9	52,5	АВВГ 4х25 Ск
до СРШ3	25	64,9	54,5	АВВГ 4х25 Ск
до СРШ4	25	64,9	55,1	АВВГ 4х25 Ск

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

3.3 Компенсація реактивної потужності

3.3.1 Загальні відомості про реактивну потужність

Велика частина промислових приймачів у процесі роботи споживає з мережі, крім активної потужності P , реактивну потужність Q . Основними споживачами реактивної потужності є асинхронні двигуни (60-65% загального споживання реактивної потужності), трансформатори (20-25%), повітряні електричні мережі, реактори, перетворювачі й інші установки (близько 10%).

Реактивна потужність – складова повної потужності, яка залежить від параметрів, схеми та режиму роботи електричної мережі, спричиняє додаткові втрати активної електроенергії та показників якості електроенергії [13].

Варто пам'ятати про умовності тлумачення Q як потужності. Тільки активна потужність P може виконувати роботу і перетворюватися в механічну, теплову, світлову і хімічну енергію. Активна потужність обумовлена перетворенням енергії первинного двигуна, отриманої від природного джерела, в електроенергію. Реактивна потужність не перетворюється в інші види потужності, не вимагає для її виробництва витрати інших видів енергії, не виконує роботу і тому умовно називається потужністю [10].

Аналогія реактивної потужності з активною полягає в подібності аналітичного виразу, в тому, що електроприймачі споживають не тільки активну, але і реактивну потужність, тому що процеси передачі і споживання електроенергії нерозривно зв'язані з виникненням магнітних і електричних полів, у залежності і активної, і реактивної потужності від напруги і частоти у відповідності зі статичними характеристиками, у залежності втрат у мережах від потоків і активної, і реактивної потужності, в однаковому способі виміру активної і реактивної потужності [10]. Для розрахунку режимів у ланцюгах синусоїдального струму реактивна потужність є дуже зручною характеристикою, широко використовуваною на практиці [12].

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

У залежності від характеру електроустаткування його реактивне навантаження може складати до 130% стосовно активного. З цього можна зробити висновок про те, що існують нормативні показники, які характеризують реактивну потужність – коефіцієнт потужності і коефіцієнт реактивної потужності $\cos\varphi$ і $\tan\varphi$ відповідно:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3.22)$$

Значення коефіцієнта потужності до і після компенсації приведені в таблиці 3.5. В оптимальному режимі показник повинний прагнути до одиниці і відповідати нормативним вимогам.

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта потужності з і без компенсації

$\cos\varphi$, без компенсації	$\cos\varphi$ з компенсацією	Зниження величини струму і повної потужності, %	Зниження величини теплових втрат, %
0,5	0,9	44	69
0,5	1,0	50	75
0,6	0,9	33	55
0,6	1,0	40	64
0,7	0,9	22	39
0,7	1,0	30	51
0,8	1,0	20	36

Таким чином, видно, що при відсутності компенсації реактивної потужності (КРП) споживач переплачує за споживання реактивної енергії 30–40% загальної вартості [10].

Для реактивної потужності прийняті такі поняття, як споживання, генерація, передача, втрати, баланс [12]. Вважається, що якщо струм відстає по фазі від напруги (індуктивний характер навантаження), то реактивна потужність споживається і має позитивний знак, а якщо струм випереджає напругу (ємнісний характер навантаження), то реактивна потужність генерується і має від'ємний знак. З точки зору генерації і споживання між реактивною і активною потужністю існує велика різниця. Якщо значна частина активної потужності споживається

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

приймачами і лише незначна втрачається в елементах мережі і устаткування, то втрати реактивної потужності в елементах мережі можуть прирівнюватись до реактивної потужності, споживаної приймачами.

З огляду на ці обставини передача значної реактивної потужності по лініях електропередачі і через трансформатори не вигідна по наступним основним причинам [11]:

а) виникають додаткові втрати активної потужності й енергії у всіх елементах системи електропостачання, обумовлені завантаженням їх реактивною потужністю. Так, при передачі активної P і реактивної Q потужностей через елемент мережі з опором R втрати активної потужності складуть:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p \quad (3.23)$$

Додаткові втрати активної потужності ΔP_p викликані протіканням реактивної потужності Q , пропорційні її квадрату.

б) виникають додаткові втрати напруги, що особливо істотні в мережах районного значення. Наприклад, при передачі потужностей P і Q через елемент мережі з активним опором R і реактивним X втрати напруги складуть:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p \quad (3.24)$$

де ΔU_a – втрати напруги, обумовлені активною потужністю; ΔU_p – втрати напруги, обумовлені реактивною потужністю.

Додаткові втрати напруги ΔU_p збільшують відхилення напруги на затисках приймача від номінального значення при змінах навантажень і режимів електричної мережі. Це вимагає збільшення потужності, а отже, і вартості засобів регулювання напруги.

в) завантаження реактивною потужністю ліній електропередачі і трансформаторів зменшує їхню пропускну здатність і вимагає додаткових заходів щодо збільшення пропускну здатності мережі (збільшення перерізів проводів повітряних і кабельних ліній, збільшення номінальної потужності чи числа трансформаторів підстанцій і т.п.) [12].

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Приведені обставини змушують, наскільки це технічно і економічно доцільно, наближати джерела реактивної потужності до місць її споживання. Це розвантажує значну частину ліній електропередачі і трансформаторів від реактивної потужності, що рівносильно збільшенню коефіцієнта потужності. Мінімально допустима величина коефіцієнта потужності $\cos\varphi$ для промислових підприємств на вводах живлення повинна знаходитися в межах 0,92 – 0,95.

Оптимальну величину коефіцієнта потужності на підприємстві отримують шляхом компенсації реактивної потужності як природними шляхами (за рахунок поліпшення режиму роботи приймачів, застосування двигунів більш удосконалених конструкцій, усунення недовантаження двигунів і трансформаторів і т.п.), так і за рахунок установки спеціальних пристроїв, що компенсують [6], (джерел реактивної потужності) у відповідних точках системи електропостачання.

Найбільш доцільним є таке розміщення компенсуючих пристроїв, при якому забезпечується мінімум річних витрат [3]. При визначенні витрат варто враховувати, що, з одного боку, установка компенсуючого пристрою (КП), збільшує річні витрати за рахунок капіталовкладень у цей пристрій і вартості втрат у ньому, а з іншого боку – річні витрати зменшуються за рахунок зниження втрат у всьому ланцюзі електропостачання від джерела живлення до місця установки КП.

3.3.2 Способи підвищення коефіцієнта потужності

Поліпшення коефіцієнта потужності промислового підприємства можливо досягти лише при правильному поєднанні різних способів його підвищення, кожний з яких повинний бути технічно й економічно обґрунтований. Заходи щодо підвищення коефіцієнта потужності можна розділити на наступні групи [12]:

а) зменшення споживання реактивної потужності приймачами електричної енергії без застосування КП;

б) застосування пристроїв, що компенсують.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Заходи щодо зменшення споживання приймачами реактивної потужності без застосування КП повинні розглядатися в першу чергу, оскільки для їхнього здійснення, як правило, не потрібно значних капітальних витрат. До них відносяться наступні:

- упорядкування технологічного процесу, що веде до покращення енергетичного режиму устаткування;
- заміна мало завантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;
- зниження напруги в двигунах, систематично працюючих з малим завантаженням;
- обмеження холостої роботи двигунів і зварювальних трансформаторів;
- застосування синхронних двигунів замість асинхронних у випадках, коли це можливо за умовами технологічного процесу;
- підвищення якості ремонту двигунів;
- заміна мало завантажених трансформаторів.

Однак у ряді галузей промисловості не представляється можливим тільки цими способами довести значення коефіцієнта потужності до величини 0,92-0,95 і виникає необхідність установки на підприємствах спеціальних пристроїв, що компенсують – джерел реактивної потужності. Установка їх виконується лише після того, як здійснені способи підвищення коефіцієнта потужності безпосередньо в самих приймачів електроенергії.

Застосування на підприємствах будь-якого виду компенсуючого пристрою допускається тільки з дозволу енергетичної системи, від якої забезпечується електроенергією дане підприємство [6]. Споживачі електроенергії на підставі перевірки режимів роботи устаткування застосовують найбільш доцільні способи підвищення коефіцієнта потужності.

До основних джерел реактивної потужності відносяться синхронні машини, батареї конденсаторів, тиристорні компенсатори [6].

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Синхронні компенсатори є синхронними двигунами полегшеної конструкції без навантаження на валу. Вони можуть працювати як у режимі генерації реактивної потужності (при збудженні компенсатора), так і в режимі її споживання (при недозбудженні).

В даний час виготовляються синхронні компенсатори потужністю від 5000 до 10000 кВАр. Втрати активної потужності в синхронних компенсаторах при їхньому повному завантаженні в залежності від номінальної потужності знаходяться в межах 0,011 – 0,03 кВт/кВАр.

До недоліків синхронних компенсаторів варто віднести здорожчання й ускладнення експлуатації (у порівнянні, наприклад з конденсаторними батареями) і значний шум під час роботи.

Позитивними властивостями синхронних компенсаторів як джерел реактивної потужності є можливість плавного й автоматичного регулювання, незалежність генерації реактивної потужності від напруги на їхніх шинах, достатня термічна і динамічна стійкість обмоток компенсаторів під час К.З., можливість відновлення ушкоджених синхронних компенсаторів шляхом проведення ремонтних робіт.

Питома вартість синхронних компенсаторів значно збільшується при зменшенні їхньої номінальної потужності. Ця обставина, а також великі втрати активної потужності в них обумовлюють використання синхронних компенсаторів лише значних потужностей на великих підстанціях [3].

Синхронні двигуни є ефективним засобом компенсації реактивної потужності (КРП). Вони можуть працювати як в режимі генерації (при перезбудженні двигуна), так і в режимі споживання реактивної потужності (при недозбудженні). Виробництво реактивної енергії відбувається за рахунок їх перезбудження напругою 6 – 10 кВ. Але при цьому зростають втрати енергії, викликані передусім нагріванням ротора синхронного двигуна. Тому використовувати будь-які низьковольтні синхронні двигуни, а також високовольтні потужністю до 1600 кВт недоцільно. Втрати активної потужності в двигуні залежать від генерованої реактивної, при чому, чим менша номінальна

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

потужність двигуна, тим більші ці втрати. На сьогодні для компенсації реактивної потужності вони майже не застосовуються [12].

Конденсатори – спеціальні ємності, призначені для генерації реактивної потужності. По своїй дії вони еквівалентні перезбудженому синхронному компенсатору і можуть працювати лише як генератори реактивної потужності.

Потужність конденсаторів в одному елементі складає 25 – 100 кВАр. З таких елементів збираються батареї необхідної потужності [12].

Широке застосування конденсаторних установок (КУ) пояснюється їхніми перевагами в порівнянні з іншими існуючими в промисловості способами КРП:

а) невеликі, практично постійні в зоні номінальної температури навколишнього середовища, питомі втрати активної потужності, що не перевищують 5 Вт на 1 кВАр компенсуємої потужності, тобто не більше 0,5% (для порівняння: у синхронних компенсаторах це значення досягає 10% номінальної потужності компенсатора, а в синхронних двигунах, що працюють у режимі перезбудження - 7%);

б) відсутність обертових частин, простота монтажу й експлуатації;

в) відносно невисокі капіталовкладення;

г) великий діапазон підбору необхідної потужності;

д) можливість установки в будь-яких точках електромережі;

е) безшумність роботи і т.д. Крім того, на відміну від конденсаторів і синхронних двигунів, КРП за допомогою конденсаторів дозволяє розширити функціональні можливості пристроїв компенсації.

До недоліків конденсаторів варто віднести:

а) залежність генерованої реактивної потужності від напруги;

б) чутливість до підвищень живильної напруги;

в) недостатню міцність, особливо при коротких замиканнях і перенапругах.

Щоб уникнути істотного зростання витрат на відключаючу апаратуру, вимірювальні прилади і т.д. не рекомендується установка батарей конденсаторів 6-10 кВ потужністю менше 400 кВАр (при приєднанні конденсаторів за

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

допомогою окремого вимикача) і менше 100 кВАр при приєднанні конденсаторів через загальний вимикач із силовим трансформатором, асинхронним двигуном і іншими приймачами [9].

Тиристорні компенсатори реактивної потужності являють собою трифазний керований випрямляючий міст, навантаженням якого є реактор з малим значенням активного опору.

Основною перевагою тиристорних компенсаторів, порівняно з іншими джерелами реактивної енергії, є їх швидкодія. Це відкриває перспективу їх використання для регулювання напруги і зниження її коливань в мережах промислових підприємств з різкозмінним навантаженням.

До недоліків слід віднести їх високу вартість і внесення спотворень в криву напруги мережі за рахунок появи вищих гармонік. Втрати активної потужності в тиристорних компенсаторах в 2 – 2,5 рази більші, ніж в конденсаторах. Тому вони частіше використовуються для зменшення коливань напруги в мережах промислових підприємств з різкозмінним навантаженням [2].

Отже, як ми бачимо шляхів компенсації реактивних навантажень є багато, але не всі є економічно вигідними: втрати активної потужності, капіталовкладення змушують обмежувати використання деяких з них.

В даний час здобули найбільшого поширення для компенсації реактивної потужності конденсаторні установки. Тому, в подальшому за основний компенсуючий пристрій виберемо саме їх.

3.3.3 Розрахунок компенсації реактивної потужності

Встановлення КП в мережах промислових підприємств як відомо, один з найбільш ефективних способів зниження втрат електроенергії. Загальною задачею при проектуванні компенсації реактивної потужності являється знаходження оптимального рішення, яке відповідає мінімуму витрат на джерела і втрати електроенергії при виконанні всіх технічних обмежень (для всіх режимів роботи значення напруги у всіх точках мережі і струмів і всіх її елементах не повинні

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

виходити за допустимі межі і, крім того, самі джерела реактивної потужності не повинні перевантажуватись).

Для компенсації реактивної потужності визначимо необхідну потужність конденсаторних батарей.

Перевіряємо мінімально необхідне число трансформаторів в цеховій ТП:

$$N_o = \frac{P_{p\Sigma}}{\beta_{н.тр} \cdot S_{н.тр}} \quad (3.25)$$

де $P_{p\Sigma}$ – сумарна середня активна потужність, споживана в найбільш завантажену зміну в мережах напругою до 1000 В, кВт; $\beta_{н.тр}$ – нормативний коефіцієнт завантаження трансформаторів; $S_{н.тр}$ – номінальна потужність одного трансформатора, кВА, яка вибирається залежно від густини навантаження в цеху.

$$N_o = \frac{147,2}{0,8 \cdot 100} = 1,84$$

вибираємо $N_o = 2$.

Оскільки в більшості випадків $S_{н.тр} > S_p$, то через вибраний трансформатор 10/0,4 кВ доцільно передавати реактивну потужність від її джерел 6–10 кВ у мережу до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження $\beta_{н.тр} = 0,8$. Ця реактивна потужність визначається як [12]:

$$Q_m = \sqrt{(N_o \cdot \beta_{н.тр} \cdot S_{н.тр})^2 - P_{p\Sigma}^2} \quad (3.26)$$

$$Q_m = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 100)^2 - 147,2^2} = 62,7 \text{ кВАр}$$

Потужність НК з номінальною напругою 0,4 кВ визначається:

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_m \quad (3.27)$$

$$Q_{нк} = 79,5 - 62,7 = 16,8 \text{ кВАр}$$

Таким чином для компенсації реактивної потужності вибираємо дві стандартні ККУ типу УКР-0,4-12,5/3-2,5-21УЗ з номінальною потужністю 12,5кВАр та ступенем регулювання – 3.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3.4 Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі

В залежності від схеми цехові мережі поділяють на радіальні, магістральні і змішані.

Радіальними називають мережі, в яких для передачі електричної енергії до споживача використовується окрема лінія. В радіальних цехових мережах лінії електропередач виконують кабелями. Відгалудження до окремих ЕП можуть виконуватися кабелями або проводами. При відсутності небезпеки механічних пошкоджень рекомендується відкрите прокладання ізольованих проводів і неброньованих кабелів. При наявності небезпеки механічних пошкоджень повинні застосовуватися броньовані кабелі або ж прокладання проводів в трубах.

Радіальні схеми забезпечують високу надійність електропостачання. Однак вони вимагають великих витрат на електрообладнання і монтаж.

Магістральними називають мережі, в яких для передачі електроенергії до декількох споживачів використовується одна лінія електропередачі. Широкого поширення набули магістральні цехові мережі, виконані комплектними шинопроводами. Їх застосування дозволяє відмовитися від великої кількості кабельних ліній.

На основі аналізу розміщення технологічного обладнання токарного цеху вибираю радіальну схему цехової мережі. Передбачається використання комплектних розподільних шинопроводів; кабелі від ТП до шинопроводів і СРШ прокладені в землі у трубах. Приєднання ЕП до шинопровода (РП) здійснюється проводом, прокладеним в трубах. Для захисту ліній живлення електроприймачів передбачаємо використання селективних вимикачів.

Живлення цеху буде здійснюватись двома лініями 10 кВ. В якості ЦТП обрано дві комплектних ТП внутрішньої установки. Вибрана КТП складається з трьох основних вузлів: ввідного пристрою СН (шафа вводу 10 кВ), в яку встановлений елегазовий вимикач FPRX121604; силового трансформатора типу ТМ-160/6-10 і розподільного пристрою НН. Розподільний пристрій НН КТП

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

складається з стандартних силових шаф: ШНВ та ШНЛ. Шафа обліку електроенергії кріпиться до шафи вводу НН.

Також в приміщенні ЦТП буде встановлено ККУ, яка приєднується до шин розподільчого пристрою НН цехової підстанції. Підключення до шин здійснюється автоматичним вимикачем ВА52-35.

В ШНВ встановлений автоматичний вимикач типу ВА52-39. В ШНЛ встановлені лінійні автоматичні вимикачі: ВА52-39 – 2 шт, ВА52-35 – 1 шт.

Комутація електричного обладнання КТП здійснюється збірними шинами типу ШРА4-630-32.

Від ШНЛ через кабелі здійснюється живлення чотирьох СРШ, від яких здійснюється живлення електричного обладнання цеху.

До СРШ1 підключено 7 споживачів електричної енергії загальною потужністю 40,7 кВА.

До СРШ2 підключено 8 споживачів електричної енергії загальною потужністю 34,5 кВА.

До СРШ3 підключено 8 споживачів електричної енергії загальною потужністю 35,8 кВА.

До СРШ4 підключено 7 споживачів електричної енергії загальною потужністю 36,2 кВА.

В якості лічильника обираємо трифазний багатотарифний лічильник активної і реактивної енергії для трифазних промислових споживачів ZMG 410 (405) CR 44 0007 (3×57-415V, 5(10)A). Двонаправлений облік активної і реактивної енергії клас точності 1,0 (чи 0,5).

Структурну схему електропостачання цеха з розрахованими елементами захисту та вибраними провідниками зображено на рисунку 3.1.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

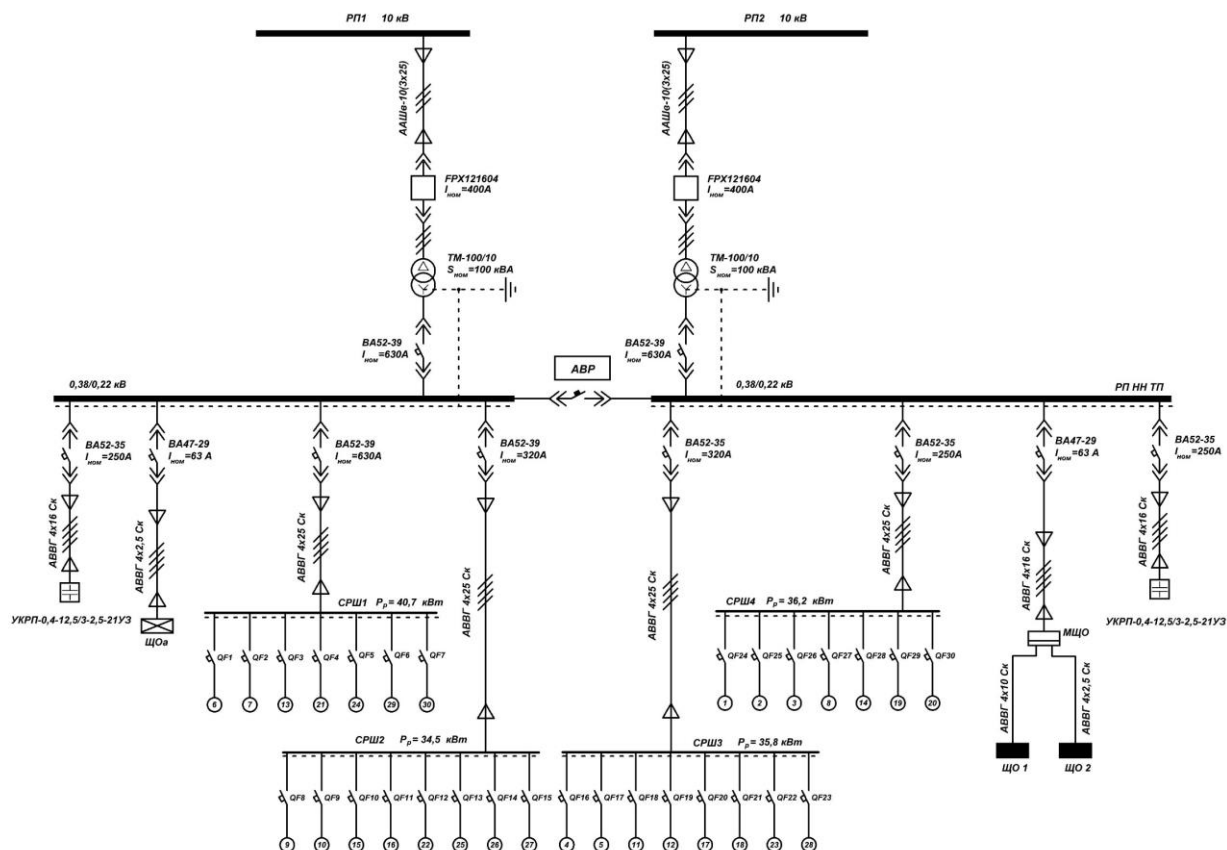


Рисунок 3.1 – Схема електропостачання цеху

Висновок: таким чином, в розділі було розраховано та обрано силовий трансформатор ТМ – 100/10 з номінальною потужністю $S_n = 100$ кВА. Виходячи з категорії надійності електропостачання електроспоживачів цеху було обрано для установки два трансформатори.

Також проведено розрахунок автоматичних вимикачів для СРШ та електричних кабелів для живлення електроспоживачів токарного цеху. Для компенсації реактивної потужності обрано дві комплектні конденсаторні установки типу УКР-0,4-12,5/3-2,5-21УЗ з номінальною потужністю 12,5кВАр та ступенем регулювання – 3.

Головним результатом розрахунків є розроблення схеми електропостачання, яка забезпечує як одночасне так і почергове включення електроспоживачів, надійне постачання їх електроенергією, а також облік споживаної електроенергії.

4 РОЗРАХУНОК ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ

Ефективність функціонування виробничого підприємства значною мірою залежить від створення безпечних та комфортних умов праці. Під час експлуатації технологічного обладнання на працівників можуть впливати різноманітні виробничі фактори, які за певних умов становлять потенційну небезпеку для здоров'я та життя персоналу.

Токарний цех належить до виробничих приміщень, у яких виконуються операції механічної обробки металів. У процесі роботи виникають шум, вібрація, металева стружка, пил та інші фактори, здатні негативно впливати на умови праці. Крім того, використання електричного обладнання створює ризик ураження електричним струмом у разі порушення правил експлуатації або виникнення аварійних ситуацій.

Для забезпечення безпечної роботи необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на усунення або зниження впливу небезпечних виробничих факторів до допустимого рівня.

4.1 Розрахунок струмів КЗ в електроустановках напругою до 1000 В

Розрахунок струмів КЗ в електроустановках напругою до 1 кВ ведемо в іменованих одиницях. При розрахунку повинні враховуватися активні опори ланцюга КЗ (повітряних і кабельних ліній, обмоток силових трансформаторів, трансформаторів струму, шин і комутаційної апаратури) [9].

Розрахункова схема та схема заміщення для розрахунку струмів КЗ зображена на рисунку 4.1.

Визначимо повні опори в точках К1, К2, К3.

В точці К1:

Повний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$Z_{mp} = \frac{U_{\%} \cdot U_{\phi}^2}{100 \cdot S_{ном}} \quad (4.1)$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де U_k % – напруга КЗ трансформатора; $U_{\bar{o}}$ – базова напруга, кВ; $S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$Z_{mp} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 0,16} = 45 \text{ МОм}$$

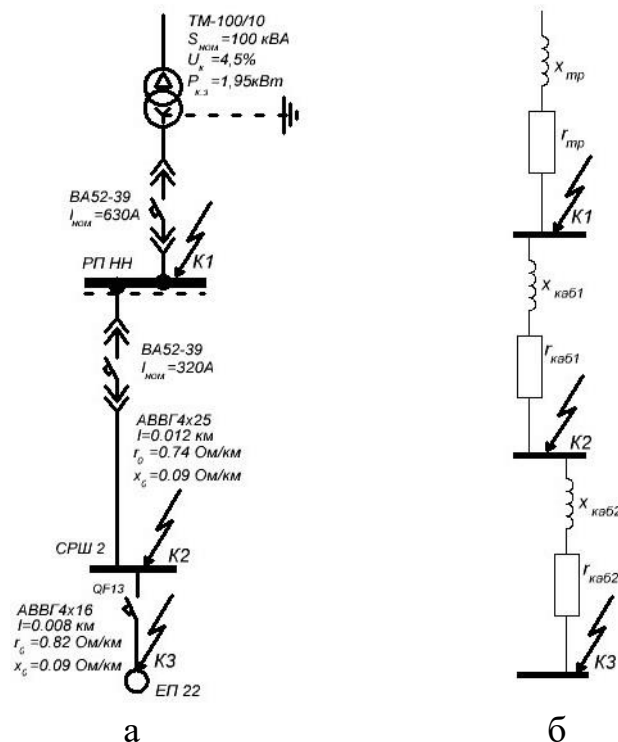


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема (а) і схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Активний опір трансформатора обчислимо за формулою:

$$r_{mp} = \frac{P_{кз} \cdot U_{\bar{o}}^2}{S_n} \quad (4.2)$$

де $P_{кз}$ – втрати КЗ у трансформаторі, кВт; $U_{\bar{o}}$ – базова напруга, кВ; S_n – номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$r_{mp} = \frac{2,65 \cdot 0,4^2}{0,16} = 2,65 \text{ МОм}$$

Реактивний опір трансформатора:

$$x_{mp} = \sqrt{Z_{mp}^2 + r_{mp}^2} \quad (4.3)$$

$$x_{mp} = \sqrt{45^2 + 2,65^2} = 45,1 \text{ МОм}$$

Повний опір в точці К1 буде дорівнювати:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		67

$$Z_{K1} = \sqrt{r_{mp}^2 + x_{mp}^2} \quad (4.4)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{2,65^2 + 45,1^2} = 45,2 \text{ МОм}$$

В точці К2:

$$Z_{K2} = \sqrt{(r_{mp} + \sum r_{кабi})^2 + (x_{mp} + \sum x_{кабi})^2} \quad (4.5)$$

де $\sum r_{кабi}$ – сума активних опорів i -ого кабелю, Ом; $\sum x_{кабi}$ – сума реактивних опорів i -ого кабелю, Ом

$$r_{каб1} = r_0 \cdot l \quad (4.6)$$

де r_0 – активний опір кабелю на 1км довжини, Ом/км; l – довжина кабелю, км

$$r_{каб1} = 0,74 \cdot 0,012 = 0,009 \text{ Ом} = 9 \text{ МОм}$$

$$x_{каб1} = x_0 \cdot l \quad (4.7)$$

де x_0 – реактивний опір кабелю на 1км довжини, Ом/км; l – довжина кабелю, км

$$x_{каб1} = 0,09 \cdot 0,012 = 0,001 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{(2,65 + 9)^2 + (45,1 + 1)^2} = 47,5 \text{ МОм}$$

В точці К3:

За формулами (4.6), (4.7) знайдемо активний та реактивний опір кабеля:

$$r_{каб2} = 0,82 \cdot 0,008 = 0,007 \text{ Ом} = 7 \text{ МОм}$$

$$x_{каб2} = 0,09 \cdot 0,008 = 0,001 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$$

За формулою (4.5) знайдемо повний опір в точці К3:

$$Z_{K3} = \sqrt{(2,65 + 9 + 7)^2 + (45,1 + 1 + 1)^2} = 50,7 \text{ МОм}$$

Визначимо струми К3 у точках за формулою:

$$I_{Ki} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Ki}} \quad (4.8)$$

де Z_{Ki} – результуючий повний опір, Ом; U_{cp} – середня номінальна напруга на тій супені, де перебуває точка К3, В.

$$I_{K1} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 45,2 \cdot 10^{-3}} = 4880 \text{ А} = 4,8 \text{ кА}$$

$$I_{K2} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 47,5 \cdot 10^{-3}} = 4690 \text{ А} = 4,6 \text{ кА}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

$$I_{K3} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 50,7 \cdot 10^{-3}} = 4340 \quad A = 4,3 \text{ кА}$$

Визначимо ударний струм в різних точках системи за формулою:

$$i_{yKi} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{Ki} \quad (4.9)$$

де k_y – ударний коефіцієнт струму КЗ [3]; I_{Ki} – початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ, кА

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,8 = 12,2 \text{ кА}$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,6 = 11,7 \text{ кА}$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,3 = 10,9 \text{ кА}$$

При ушкодженні ізоляції в установках із глухо заземленою нейтраллю виникає однофазне коротке замикання. Розрахуємо силу струму однофазного замикання.

$$I_K = \frac{U}{Z_n + Z_{mp}} \quad (4.10)$$

де U_ϕ – фазна напруга мережі, В; Z_n – повний опір петлі фаза-нульовий провід, Ом; Z_{mp} – повний опір трансформатора при замиканні на корпус, значення якого наведено в [3].

$$Z_n = \sqrt{(r_{\phi np1} + r_{\phi np2} + r_{0 np1} + r_{0 np2})^2 + (x_{\phi np1} + x_{\phi np2} + x_{0 np1} + x_{0 np2})^2} \quad (4.11)$$

За формулами (4.6), (4.7) визначимо r_{npi} та x_{npi} відповідно:

$$r_{\phi np1} = 0,74 \cdot 0,012 = 0,009 \text{ Ом} = 9 \text{ МОм}$$

$$r_{0 np1} = 0,83 \cdot 0,012 = 0,01 \text{ Ом} = 10 \text{ МОм}$$

$$r_{\phi np2} = 0,82 \cdot 0,008 = 0,007 \text{ Ом} = 7 \text{ МОм}$$

$$r_{0 np1} = 1,3 \cdot 0,008 = 0,01 \text{ Ом} = 10 \text{ МОм}$$

$$x_{\phi np1} = 0,09 \cdot 0,012 = 0,001 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$$

$$x_{0 np1} = 0,09 \cdot 0,012 = 0,001 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$$

$$x_{\phi np2} = 0,09 \cdot 0,008 = 0,001 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$$

$$x_{0 np1} = 0,09 \cdot 0,008 = 0,001 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}$$

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		69

$$Z_n = \sqrt{(9 + 7 + 10 + 10)^2 + (1 + 1 + 1 + 1)^2} = 36,2 \text{ МОм}$$

$$I_k = \frac{220}{36,2 \cdot 10^{-3} + 0,162} = 1110 \text{ А} = 1,1 \text{ кА}$$

4.2 Перевірка обраного електрообладнання на стійкість до струмів КЗ

Вимикачі повинні вибиратися й перевірятися відповідно до максимальних розрахункових величин (струмами, напругами, потужностями відключення) для нормального режиму й короткого замикання. Для їх перевірки порівнюють зазначені розрахункові величини з значеннями, що допускаються. При цьому для забезпечення надійної безаварійної роботи, розрахункові величини повинні бути менше припустимих.

Зробимо перевірку високовольтного вимикача видатного типу , розташованого у шафі СН.

– по напрузі:

$$U_{н.в} \geq U_{уст}$$

де $U_{н.в}$ – напруга високовольтного вимикача, кВ; $U_{уст}$ – напруга установки, кВ

$$U_{н.в} = U_{уст} = 10 \text{ кВ}$$

– по номінальному струму:

$$I_{н.в} \geq I_{розр.уст}$$

де $I_{н.в}$ – припустимий струм головних контактів вимикача, А; $I_{розр.уст}$ – розрахований струм установки, А

$$I_{н.в} \geq 9,7 \text{ А}$$

– по термічній стійкості:

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_{np}$$

де I_t – струм термічної стійкості, що допускається заводом виготовлювачем протягом час t , с, кА

$$I_\infty^2 \cdot t_{np} = 9,7^2 \cdot (0,15 + 0,01) = 15,1 \text{ кА}^2$$

$$I_t^2 \cdot t \geq 15,1$$

– по динамічній стійкості:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$i_{\max} \geq i_{yK1}$$

де $i_{\max}$ – струм динамічної стійкості вимикача, кА; i_{yK1} – розрахунковий динамічний струм КЗ у точці К1, кА

$$i_{\max} \geq 12,2 \text{ кА}$$

– по вимикальній здатності:

$$I_{\text{вим.в}} \geq I_{K1}$$

де $I_{\text{вим.в}}$ – номінальний струм відключення вимикача, кА; I_{K1} – початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ у точці К1, кА

$$I_{\text{вим.в}} \geq 4,8 \text{ кА}$$

Можна зробити висновок, що обраний високовольтний вимикач відповідає усім вимогам і забезпечить надійну роботу мережі.

4.3 Розрахунок заземлення

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення проводиться для випадку розташування заземлювача в однорідній землі.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення R захисного заземлення визначається в наступному порядку:

- Визначення необхідного опору заземлюючого пристрою R_z :

Згідно ПУЕ найбільш припустимі значення R_z , складають:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для установок до 1000 В:

а) 10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВа;

б) 4 Ом у всіх інших випадках.

- Визначення необхідного опору штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} \quad (4.12)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом;

R_3 – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- Визначається довжина горизонтальних та кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a} \quad (4.13)$$

де n – кількість вертикальних електродів, шт.;

S – площа цеху, м²;

a – задана відстань між електродами, м;

$$l_z = 2a' + 2b' \quad (4.14)$$

де l_z – сумарна довжина горизонтальних електродів, м;

a' – ширина сторони цеху, м;

b' – довжина сторони цеху, м.

- Розраховуються опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_z електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{розр.в}}{2\pi \cdot l_v} \left(\ln \frac{2 \cdot l_a}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l_v}{4 \cdot t - l_v} \right) \quad (4.15)$$

де $\rho_{розр.в}$ – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

l_v – довжина вертикальних стрижневих електродів, м

$$R_z = \frac{\rho_{розр.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_z}{0,5 \cdot b \cdot t} \quad (4.16)$$

де $\rho_{розр.г}$ – розрахунковий питомий опір землі для горизонтального електрода, Ом·м;

l_z – сумарна довжина горизонтальних електродів, м;

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

b – товщина горизонтального електрода, м

- З таблиць 4.1 та 4.2 обираються коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів η_v та η_z :

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти використання η_v вертикальних електродів групового заземлення без урахування впливу смуги зв'язку

Відношення відстаней між вертикальними електродами до їх довжини a/l	Число заземлювачів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Електроди розміщені по контуру								
1	–	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	–	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	–	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти використання η_z горизонтальних електродів смугового електрода, з'єднуючого вертикальні електроди групового заземлення

Відношення відстаней між вертикальними електродами до їх довжини a/l	Число заземлювачів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1	–	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	–	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	–	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

- Обчислюють розрахунковий опір заземлювача R за виразом:

$$R = \frac{R_v \cdot R_z}{R_v \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_v \cdot n} \quad (4.17)$$

де R_v , R_z – розрахункові опори розтікання вертикального (горизонтального) електродів;

η_v , η_z – коефіцієнти використання вертикальних та горизонтальних електродів (згідно таблиці 4.1, 4.2);

n – кількість електродів, шт.

Розрахунок заземлювача в однорідній землі методом коефіцієнтів використання при допустимому опорі.

Вихідні дані:

Токарний цех цех площею $S = 1344 \text{ м}^2$ з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_e = 5 \text{ м}$, діаметром $d = 12 \text{ мм}$ і відстанню між ними $a = 5 \text{ м}$ та горизонтальних електродів (сталеві смуга перетином $4 \times 40 \text{ мм}$) на глибині $t_o = 0,8 \text{ м}$. Розрахункові питомі опори землі: для вертикального електрода $\rho_e = 120 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, горизонтального $\rho_z = 176 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. У якості природного заземлювача буде використана металева технологічна конструкція з опором розтікання природного заземлювача $R_e = 15 \text{ Ом}$.

- Згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою R_z , складає:

$$R_z = 4 \text{ Ом}$$

- Визначення необхідного опору штучного заземлювача $R_{ш}$ за формулою (4.12):

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом}$$

- Визначаємо довжину горизонтальних та кількість вертикальних електродів за формулами (4.13), (4.14):

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{1344}}{5} = 30 \text{ шт} \quad l_z = 2 \cdot 48 + 2 \cdot 28 = 152 \text{ м}$$

- Розраховуємо опори розтікання вертикального R_e та горизонтального R_z електродів за формулами (4.15), (4.16):

$$R_e = \frac{120}{2 \cdot \pi \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 27,2 \text{ Ом}$$

$$R_z = \frac{176}{2 \cdot \pi \cdot 160} \cdot \ln \frac{2 \cdot 160}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 1,7 \text{ Ом}$$

- З таблиць 4.1 та 4.2 обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $\eta_e = 0,44$ та $\eta_z = 0,24$.

- Обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.17):

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$R = \frac{27,2 \cdot 1,7}{27,2 \cdot 0,44 + 1,7 \cdot 0,24 \cdot 30} = 1,91 \text{ Ом}$$

Таким чином, проектований заземлювач – контурний, складається з 30 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у виді сталевий смуги довжиною 152 м, перерізом 4×40 мм, занурених у землю на 0,8 м.

4.4 Захист від блискавки

Необхідність захисту від блискавки визначається призначенням будівель і споруд, інтенсивністю грозової діяльності в районі їх розташування, а також очікуваної можливості їх уражень.

Будівлі і споруди за облаштуванням захисту від блискавки поділяються на три категорії:

Будівлі споруди I і II категорії необхідно захищати від прямих ударів блискавки, електростатичної та електромагнітної індукції і знесення високих потенціалів через надземні металеві комунікації.

До III категорії належать будівлі з пожежонебезпечними приміщеннями класу П-I, П-II, П-III за ПУЕ, витяжні труби, водонапірні башти, вишки висотою від 15 до 30 м, а також будівлі, що мають історичне та художнє значення.

Захист будівель від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою блискавкоприймача, який безпосередньо приймає удар блискавки, струмовідводу, який служить для відводу струму в землю і заземлювача, через який струм блискавки переходить безпосередньо в землю.

Види заземлювачів, їх кількість і розміри визначаються залежно від необхідної величини опору розтікання струму й питомого опору ґрунту, у якому розташовані заземлювачі.

Струмовідводи приєднують до заземлювачів з величиною імпульсного опору не більше 20 Ом.

Захисна дія блисковідводу залежить від конфігурації і розміру зони захисту.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Зона захисту – це простір навколо блискавквідводу, у якому будівля буде захищеною від прямих ударів блискавки. Захист надійний за умови, коли вся будівля знаходиться в цій зоні.

Згідно з Інструкцією по облаштуванні блискавквідводів, існує два типи зони захисту:

- зона типу А (має ступінь надійності 99,5%);
- зона типу Б (ступінь надійності 95% і вище).

Блискавквідводи і їх заземлювачі мають бути ізольованими від будівлі, що потребує захисту, а також від зовнішніх і підземних металевих пристроїв, таких як наземні естакади, трубопроводи, рельсові шляхи, газо-, паро- і водопровідні підземні комунікації і ін. У разі влучення блискавки у блискавквідвід, струмовідвід і заземлювач набувають високого потенціалу, а різниця потенціалів, що виникає при цьому, може пробити ізоляцію, яка відділяє струмопровід від будівлі, або пробити шар землі між заземлювачем блискавквідводу і підземною частиною будівлі, або з'єднаними з будівлею металевими комунікаціями.

Захист будівель II категорії окремо стоячими, тросовими чи стержневими блискавквідводами встановленими на покрівлях, струмовідводи прокладають безпосередньо на покрівлях й стінах з приєднанням їх до заземлювача, що має імпульсний опір розтіканню струму не більше 10 Ом.

При розрахунку блискавквідводів враховується необхідність одержання певної зони захисту, що являє собою простір, що захищає від прямих ударів блискавок.

Для одиночного стержневого блискавквідводу при висоті блискавквідводу менш 60 м, радіус захисту:

$$r_x = 1,6 \cdot h(h - h_x) / (h + h_x) \quad (4.18)$$

де $h-h_x=ha$ – різниця висот блискавквідводу та захищеного об'єкта, чи активна висота; h – висота блискавквідводу; h_x – висота об'єкта, що захищається.

Із формули (4.16) слідує, що найбільший радіус захисту виходить на поверхні землі, де $r_x = 1,5h$, при куті захисту $\alpha=400$.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

При струмі блискавки $I_{\bar{o}} > 150$ кА приймають $\omega L = RL$, тоді амплітудна імпульсна напруга

$$U_{\max} = \left(\frac{I_m}{2} \right) \cdot (R_{\text{зи}} + \sqrt{R_{\text{зи}}^2 + R_L^2}) \quad (4.19)$$

В цьому випадку найменша відстань по повітрю та в землі при $E_{\bar{o}} = 500$ кВ/м, $E_z = 300$ кВ/м складе (м):

$$S_{\text{мин.з}} = I_m \cdot R_{\text{зи}} \quad (4.20)$$

$$S_{\text{мин.в}} = \frac{U_{\max}}{E_{\bar{o}}} \quad (4.21)$$

На рисунку 4.2 показано розміщення будівлі, що захищається і блискавковідводів.

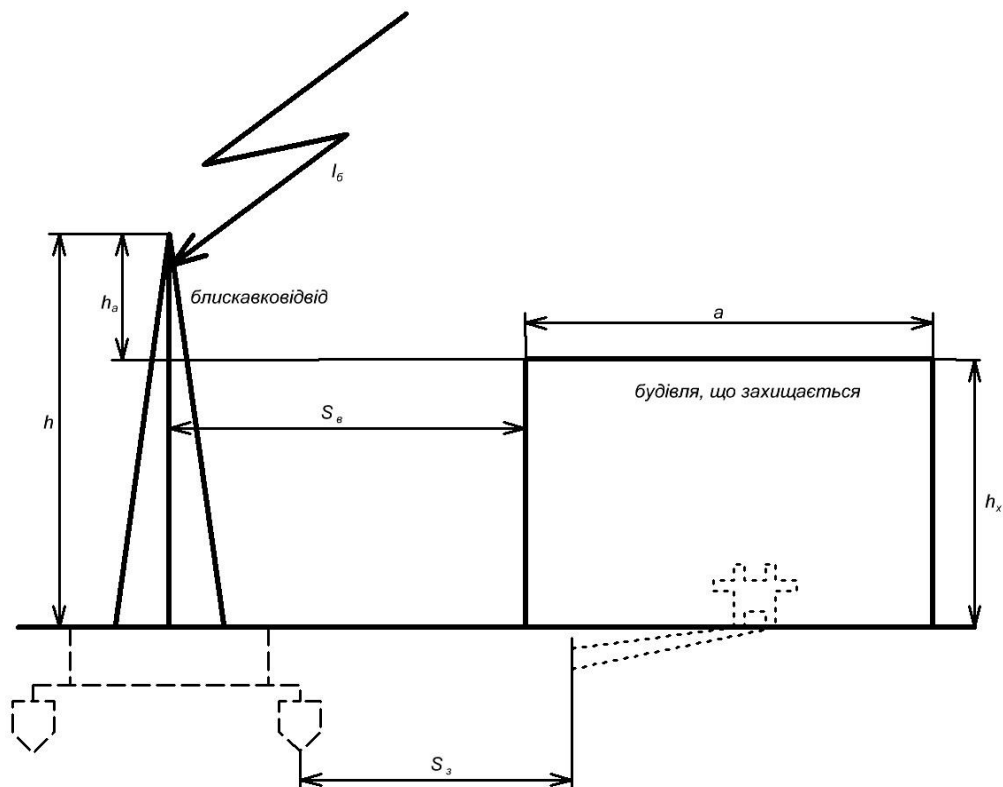


Рисунок 4.2 – Розміщення захищаємої будівлі і блискавковідводів

Знаходимо висоту блискавковідводу: якщо $I_m = 150$ кА, то нормований опір заземлюючого пристрою $R_{\text{зи}} = 4$ Ом.

Висота захищаємого спорудження $h_x = 8$ м, $a \times b$ – розміри спорудження 48×28 м². За формулою (4.19) знаходимо:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

$$U_{max} = \left(\frac{150}{2} \right) \times (4 + \sqrt{4 + 100}) = 1065 \text{ kV}$$

Знаходимо відстань по повітрю за формулою (4.20):

$$S_{мин.з} = 150 \cdot 4 / 300 = 2 \text{ м}$$

За формулою (4.21) знаходимо відстань в землі:

$$S_{мин.в} = 1065 / 500 = 2,1 \text{ м}$$

Проаналізувавши дані розрахунків про відстань, можна зробити висновок, що поробою між блискавковідводом і захищаємою будівлею не відбудеться. Висота блискавковідводу повинна бути вибрана такою, щоб захищаєма будівля знаходилась в захищеній зоні блискавковідводу.

Для цього при одиночним блискавковідводі необхідно, щоб:

$$r_x \geq S_{\epsilon} + a \quad (4.22)$$

$$r_x = 2 + 20 = 22 \text{ м}$$

Довжина блискавковідводу вираховується по формулі:

$$h = \frac{1,6 \cdot h_x + r_x}{3,2} + \sqrt{\left(\frac{1,6 \cdot h_x + r_x}{3,2} \right)^2 + \frac{h_x + r_x}{1,6}} \quad (4.23)$$

Прийнявши $r_x = 22 \text{ м}$, $h_x = 8 \text{ м}$ знаходимо висоту блискавковідводу:

$$h = \frac{1,6 \cdot 8 + 22}{3,2} + \sqrt{\left(\frac{1,6 \cdot 8 + 22}{3,2} \right)^2 + \frac{8 + 22}{1,6}} = 22,6 \text{ м}$$

Висновок: в даному розділі було проведено розрахунок струмів КЗ. У відповідності до отриманих значень струмів КЗ було здійснено перевірку комутаційно-захисних апаратів. Вибране устаткування задовольняє умовам вибору.

Також була проведена розробка контуру заземлення електротехнічного обладнання та системи блискавкозахисту.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		78

5 БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки поділяються на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

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

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блокування безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів і заходів.

Система електрозахисних засобів. Електрозахисні засоби - це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

використовуються при виконанні робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

Електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні (ізолюючі штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавиці тощо), огорожувальні (огороження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук). Ізолюючі електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. Основні ізолюючі електрозахисні засоби розраховані на напругу установки і при дотриманні вимог безпеки щодо користування ними забезпечують захист працівників.

Додаткові електрозахисні засоби навіть у разі дотримання функціонального їх призначення не забезпечують надійного захисту працюючих і застосовуються одночасно з основними для підвищення рівня безпеки. У разі застосування основних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб. Для захисту працівників від напруги кроку достатньо використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів. Для захисту працівників при виконанні робіт в умовах електричного поля, параметри якого перевищують допустимі, застосовуються індивідуальні екранувальні комплекти одягу та екранувальні пристрої. Вимоги щодо комплектування електроустановок електрозахисними засобами регламентуються Правилами, Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (ДНАОП 0.00-4.26-96), галузевими чинними нормативами тощо. Відповідальність за своєчасне забезпечення працівників і комплектування електроустановок засобами захисту згідно з нормами комплектування, за організацію належних умов зберігання, створення необхідного запасу, своєчасне проведення періодичних оглядів і випробувань, вилучення непридатних засобів та організацію обліку несе власник цих засобів. Електрозахисні засоби повинні зберігатись у приміщеннях в спеціально відведених місцях сухими і чистими, в умовах, що виключають можливість їх механічних ушкоджень, шкідливої дії вологи, агресивного середовища, мастила тощо. У встановлені нормативами терміни електрозахисні засоби повинні

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

оглядатись з перевіркою їх наявності згідно з вимогами до комплектування, очищатись від пилу, забруднень тощо, періодично проходити спеціальні випробування на відповідність їх діелектричних, механічних і т. ін. показників чинним вимогам. Крім того, електрозахисні засоби повинні оглядатись перед кожним їх застосуванням. При таких оглядах увага звертається на справність засобів захисту, відсутність тріщин, подряпин та деформації ізолюючих елементів, терміни чергової перевірки. У разі виявлення перерахованих дефектів чи простроченого терміну чергового випробування, користування електрозахисними засобами забороняється. При оглядах діелектричних рукавиць і діелектричного взуття увагу слід звертати на наявність вологи, забруднень, розривів, інших механічних пошкоджень. Відсутність розривів і проколів рукавичок перевіряється скручуванням їх від нарукавника в бік пальців. Вимоги до термінів випробування електрозахисних засобів, методики і параметрів цих випробувань регламентуються Правилами залежно від типу електрозахисних засобів.

Заходи безпеки при обслуговуванні електродвигунів. При роботі, пов'язаній з дотиком до струмоведучих або обертових частин електродвигуна, що приводиться їм у рух механізму, необхідно зупинити електродвигун і на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат «Не включати. Працюють люди».

Операції по відключенню і включенню електродвигунів напругою вище 1000В пусковою апаратурою з приводами ручного керування роблять в діелектричних рукавичках.

При роботі на електродвигуні заземлення накладають на кабель (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднання в розподільному пристрої. При роботі на механізмі, якщо вона не зв'язана з дотиком до обертових частин або від'єднанням сполучної муфти, заземлювати живильний кабель електропривода не потрібно.

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів і вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

механізмів, повинні бути закриті і закриті на замок. Обслуговувати щітковий апарат на працюючому електродвигуні допускається одноосібне працівникові оперативного персоналу або виділеному для цієї мети навченому працівникові, що має групу по електробезпеці не нижче III. При цьому необхідно дотримувати наступні запобіжні заходи: працювати в головному уборі і застібнутому спецодязі, остерігаючи захоплення її обертовими частинами машини; користуватися діелектричними голошами або гумовими ковриками; не торкатися руками одночасно струмоведучих частин.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		82

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розроблення системи електропостачання токарного цеху машинобудівного підприємства з урахуванням сучасних вимог щодо надійності, безпеки та енергоефективності.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічних особливостей виробництва та визначено категорію надійності електроприймачів. На підставі отриманих даних обґрунтовано вибір схеми електропостачання та рівнів робочих напруг.

Виконано розрахунок електричних навантажень, визначено центр електричних навантажень і запропоновано раціональне розміщення основних елементів системи електропостачання. Це дозволило забезпечити мінімізацію довжин кабельних ліній та зменшення втрат електроенергії.

У роботі здійснено вибір силових трансформаторів, апаратів захисту, кабельних ліній та іншого електротехнічного обладнання. Прийняті технічні рішення відповідають вимогам надійності електропостачання та забезпечують безпечну експлуатацію електроустановок.

Окрему увагу приділено питанням компенсації реактивної потужності, що дозволяє підвищити коефіцієнт потужності, знизити втрати електричної енергії та покращити режими роботи електричної мережі.

Також розроблено систему робочого та аварійного освітлення виробничих приміщень із використанням сучасних світлодіодних технологій, які забезпечують високі показники енергоефективності та комфортні умови праці.

У розділі охорони праці виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів та запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів щодо забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки та покращення умов праці персоналу.

Отримані результати підтверджують технічну доцільність і практичну ефективність запропонованих рішень та можуть бути використані під час проєктування або модернізації систем електропостачання промислових підприємств.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок. — Офіційне видання. — К.: МінЕнерговугілля України, 2017. — 760 с. (зі змінами та доповненнями станом на 2024 р.).
2. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. — К.: Мінрегіон України, 2018. — 139 с.
3. ДСТУ EN 12464-1:2022. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2021, IDT). — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
4. ДСТУ ІЕС 60364-1:2017. Низьковольтні електричні установки. Частина 1. Основні положення, оцінювання загальних характеристик, терміни та визначення. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
5. Проектування електропостачальних систем загального призначення: навчальний посібник / за ред. А. А. Маліновського. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. — 436 с.
6. Василега П. О. Електропостачання: навчальний посібник. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2014. — 416 с.
7. Денисюк С. П., Базило С. К. Основи електротехніки та електропостачання: навчальний посібник. — Київ: Кондор, 2012. — 216 с.
8. Калінчик В. П., Козачко О. В. Проектування систем електропостачання промислових підприємств: навчальний посібник. — Київ: НТУУ «КПІ», 2015. — 220 с.
9. Шабатура Ю., Ільків І., Цибуляк Б., Дверій О.. Електротехніка, електроніка та автоматика у військовій техніці. Навчально-методичний посібник. — Львів: Національна академія сухопутних військ, 2022. — 203с.
10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — К.: Форт, 2020. — 350 с.
11. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. — К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
12. Козирський В. В., Гай О. В. Електропостачання та електрообладнання об'єктів: підручник. — К.: НУБіП України, 2021. — 512 с.
13. Енергоефективність в системах штучного освітлення: Навчальний посібник / О. С. Овчаренко та ін. — К.: Техніка, 2019. — 210 с.
14. НПА ОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. — К.: Основа, 2018. — 240 с.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		84