

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Проект системи електропостачання інструментального цеху**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141
електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

<u>Жук Т. Ю.</u>
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник	<u>Бабюк С. М.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль	<u>Коваль В. П.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри	<u>Коваль В. П.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент	<u>Романюк Л. А.</u>
	(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Жуку Тимофію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект системи електропостачання інструментального цеху

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2025 року № 4/7-52

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Характеристика об'єкту проектування, перелік електрообладнання і
Встановлена потужність споживачів інструментального цеху.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунковий розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці	К.т.н., доцент Гурик О. Я.		

7. Дата видачі завдання 27 січня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2025	
2	Аналітичний розділ	28.02.2025	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2025	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2025	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2025	
6	Висновки	10.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2025	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2025	

Студент

(підпис)

Жук Т. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабюк С. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Жук Тимофій Іванович. Проект системи електропостачання інструментального цеху.

Стор. – 69; рис. - 9; табл. - 4; джерел - 20; додатків - 2 .

В даній роботі здійснено розробку системи електропостачання для електрообладнання інструментального цеху машинобудівного заводу.

Об'єктом дослідження є інструментальний цех машинобудівного заводу.

Предметом дослідження є електропостачання інструментального цеху.

Здійснено розрахунок струмів короткого замикання та максимальних робочих струмів. Проведено перевірку трансформаторного, компенсуючого, перетворювального, комутаційного обладнання.

Здійснено розрахунок витрат на реалізацію розробленої системи електропостачання та визначено термін окупності.

Розраховані та застосовані заходи безпеки для співробітників цеху, такі як блискавкозахист та контурне заземлення.

Перелік ключових слів: ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ПІДСТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ТРАНСФОРМАТОР, КОМПЕНСАТОРИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Сучасні технології електропостачання промислових підприємств	8
1.1.1 Системи розподілу електроенергії	8
1.1.2 Розподільчі пристрої та захист	9
1.1.3 Високоефективні трансформатори	10
1.1.4 Відновлювані джерела енергії у промисловому електропостачанні	11
1.1.5 Автоматизація та цифрові технології	12
1.2 Характеристика об'єкту	14
1.3 Висновки до розділу 1	16
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Розрахунок освітлення	17
2.2 Вибір схеми електропостачання цеху	21
2.3 Розрахунок електричних навантажень	23
2.4 Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв	29
2.5 Вибір силових трансформаторів	32
2.6 Розрахунок та вибір пристроїв захисту і ліній електропостачання електроприймачів	33
2.7 Висновки до розділу 2	40
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	42
3.1 Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв	42
3.2 Вибір силових трансформаторів	45

3.3 Розрахунок та вибір пристроїв захисту і ліній електропостачання електроприймачів	45
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання	53
3.5 Висновки до розділу 3	55
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	57
4.1 Розрахунок заземлення	57
4.2 Розрахунок блискавкозахисту цеху	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67
ДОДАТКИ	70

ВСТУП

Система електропостачання є критично важливим елементом будь-якого виробничого підприємства, особливо інструментального цеху, де функціонують високоточні верстати, технологічні установки та електроприводи. Забезпечення надійного енергопостачання дозволяє гарантувати стабільну роботу обладнання, запобігати аварійним ситуаціям і підвищувати енергоефективність виробництва.

Проектування системи електропостачання інструментального цеху потребує детального аналізу електричних навантажень, вибору відповідного електрообладнання, розрахунку струмів короткого замикання, оптимального розподілу навантаження між трансформаторними підстанціями (ТП) та визначення параметрів кабельних ліній. Важливим аспектом є розробка ефективної схеми заземлення та блискавкозахисту, що забезпечить безпеку персоналу та електрообладнання.

Методи проектування електропостачальних систем, розрахунки параметрів електричних мереж та вимоги до електроустановок базуються на нормативно-технічній літературі та державних стандартах, зокрема [1-4]:

1. ПУЕ;
2. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015;
3. ДСТУ HD 60364-1:2022;
4. ДБН В.2.5-28-2018.

Сучасне проектування електропостачання повинне задовольняти вимогам безпеки, економічності та надійності. Підприємства залежать від якісного електропостачання, оскільки впливає на кількість продукції, що випускається, а в деяких випадках і на якість, особливо це відноситься до харчової галузі, при аварійних ситуаціях, якщо електропостачання неякісне, що задовольняють надійності система не впорається з даною ситуацією, то товар, що швидко псується, втратить свій рентабельний вигляд, що призведе до економічних втрат. Кваліфіковані фахівці в сфері енергетики, а саме електропостачання, затребувані завжди з огляду на те, що кількість нових підприємств і старих підприємств

потрібні реконструкції систем електропостачання з різних причин зростає.

Об'єктом дослідження у представленій роботі є інструментальний цех .

Предметом дослідження – електропостачання інструментального цеху .

Ціль випускної кваліфікаційної роботи: спроектувати систему електропостачання для електрообладнання інструментального цеху машинобудівного заводу.

Відповідно до поставленої мети, вирішуються такі завдання:

- Проаналізувати нормативно-технічну документацію з електропостачання галузі;
- розрахувати робоче освітлення та характеристики промислового обладнання;
- спроектувати план та схему електропостачання цеху;

Дана робота має на меті розробку надійної, безпечної та економічно обґрунтованої системи електропостачання інструментального цеху, що відповідатиме сучасним вимогам до енергоефективності та експлуатаційної надійності.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сучасні технології електропостачання промислових підприємств

Електропостачання промислових підприємств є ключовим елементом їхньої ефективної роботи. Надійність, енергоефективність і безпека електромереж визначають продуктивність виробничих процесів, технологічне оснащення та загальну експлуатаційну стабільність. Сучасні технології в електропостачанні спрямовані на оптимізацію розподілу електроенергії, зменшення втрат, покращення якості електроенергії та інтеграцію відновлюваних джерел [5-8].

1.1.1 Системи розподілу електроенергії

Системи розподілу електроенергії на промислових підприємствах відіграють ключову роль у забезпеченні стабільного, безперебійного та енергоефективного електропостачання виробничих процесів. Вони визначають спосіб передачі електроенергії від основних джерел генерації до кінцевих електроприймачів, включаючи технологічне обладнання, автоматизовані системи керування та допоміжні установки.

Розподіл електроенергії в промислових умовах здійснюється через трансформаторні підстанції, головні розподільчі пункти (ГРП) та внутрішньоцехові розподільчі пристрої. Основними схемами розподілу є радіальні, кільцеві та осередкові мережі. Радіальна система використовується для локальних промислових об'єктів, де кожне виробниче приміщення отримує живлення від незалежної лінії. Кільцеві мережі забезпечують високу надійність за рахунок резервування живлення, що особливо важливо для безперебійного функціонування критичних технологічних процесів. Осередкові схеми застосовуються на великих підприємствах із складною структурою енергоспоживання, забезпечуючи рівномірне розподілення потужності та ефективне управління електричним навантаженням.

Захист і керування системами розподілу електроенергії на промислових підприємствах реалізується через автоматизовані релейні комплекси, що включають цифрові пристрої захисту від перевантажень, коротких замикань та перепадів напруги. Використання сучасних релейних захистів на основі мікропроцесорних технологій дозволяє значно підвищити оперативність реагування та мінімізувати аварійні ситуації у мережі.

1.1.2 Розподільчі пристрої та захист

Розподільчі пристрої промислових підприємств забезпечують перерозподіл електроенергії між споживачами, стабільність параметрів електроживлення та захист електрообладнання від аварійних режимів. Основними елементами розподільчих систем є комплектні розподільчі пристрої (КРУ), головні розподільчі пункти (ГРП), трансформаторні підстанції (ТП) та магістральні шинопроводи.

Високовольтні розподільчі пристрої експлуатуються для живлення потужних промислових агрегатів, забезпечуючи комутацію та регулювання рівня напруги в електричних мережах. Використання вакуумних і елегазових вимикачів дозволяє мінімізувати ризики виникнення дугових розрядів та підвищити експлуатаційну безпеку.

Захист електрообладнання здійснюється через комплекс релейних пристроїв, що включає диференційний, максимальний струмовий та дистанційний захист. Мікропроцесорні реле забезпечують аналіз параметрів енергоспоживання та оперативне реагування на відхилення від номінальних характеристик.

Компенсація реактивної потужності здійснюється шляхом впровадження синхронних компенсаторів, статичних конденсаторних батарей та автоматизованих систем керування режимами роботи електромереж. Це дозволяє знизити навантаження на трансформатори та стабілізувати рівень напруги.

1.1.3 Високоєфективні трансформатори

Високоєфективні трансформатори є ключовими елементами систем електропостачання промислових підприємств, забезпечуючи ефективне перетворення напруги, мінімізацію втрат енергії та стабільність параметрів електроживлення. Вони використовуються у складі трансформаторних підстанцій, головних розподільчих пунктів та цехових електромереж для оптимального розподілу електроенергії між виробничими споживачами.

Ефективність трансформаторів визначається їхнім коефіцієнтом корисної дії, який залежить від характеристик магнітопроводу, обмоток, матеріалу сердечника та рівня навантаження. Сучасні трансформатори використовують аморфні магнітні матеріали, що значно знижують втрати холостого ходу. Застосування енергозберігаючих технологій дозволяє забезпечити високу ефективність перетворення електроенергії, що особливо важливо для промислових об'єктів із великим енергоспоживанням.

Регульовані трансформатори дозволяють здійснювати адаптивну зміну напруги залежно від умов експлуатації, що сприяє оптимізації електропостачання та стабільності роботи промислового обладнання. Використання автоматизованих систем керування параметрами напруги забезпечує стабільний рівень живлення для високотехнологічних виробничих процесів.

Трансформатори з сухою ізоляцією застосовуються для підприємств із високими вимогами до безпеки електроустановок, оскільки вони не містять рідкого діелектрика і мінімізують ризик загоряння. Високовольтні силові трансформатори з елегазовою ізоляцією забезпечують покращені електричні характеристики, знижуючи рівень часткових розрядів та підвищуючи експлуатаційну надійність.

Системи моніторингу стану трансформаторів дозволяють здійснювати контроль температури, рівня навантаження та стану ізоляції в режимі реального часу. Впровадження цифрових систем діагностики сприяє прогнозуванню відмов та оптимізації режимів роботи електрообладнання.

Розвиток технологій трансформаторних установок на промислових підприємствах спрямований на підвищення енергоефективності, мінімізацію експлуатаційних витрат та інтеграцію розумних рішень для автоматизованого управління електропостачанням. Це дозволяє оптимізувати енергоспоживання та забезпечити стабільність роботи електромереж виробничих об'єктів.

1.1.4 Відновлювані джерела енергії у промисловому електропостачанні

Відновлювані джерела енергії відіграють важливу роль у модернізації систем електропостачання промислових підприємств, забезпечуючи зниження залежності від традиційних енергоносіїв, підвищення енергоефективності та мінімізацію викидів шкідливих речовин. Інтеграція альтернативної енергетики дозволяє підприємствам оптимізувати споживання електроенергії та підвищити рівень автономності виробничих процесів.

Сонячні фотоелектричні станції використовуються для часткового або повного електропостачання промислових об'єктів, забезпечуючи генерацію електроенергії за рахунок напівпровідникових сонячних панелей. Використання інверторних систем для перетворення постійного струму в змінний дозволяє інтегрувати вироблену енергію в загальні електромережі підприємства. Встановлення акумуляторних накопичувачів забезпечує можливість компенсації нерівномірності виробітку та стабілізації параметрів електроживлення.

Вітроенергетичні установки забезпечують генерацію електроенергії на основі кінетичної енергії повітряних потоків. Використання синхронних генераторів у складі вітрових турбін дозволяє отримувати змінний струм з відповідними параметрами напруги та частоти. Високотехнологічні системи регулювання потужності сприяють стабільному функціонуванню вітроустановок, знижуючи негативний вплив на електромережу промислових об'єктів.

Геотермальні системи електропостачання використовують тепло Землі для генерації електроенергії через парові турбіни або прямий теплообмін із промисловими установками. Впровадження геотермальних теплових насосів

дозволяє промисловим підприємствам ефективно регулювати теплові режими виробничих процесів та знижувати витрати на енергоспоживання.

Системи накопичення енергії відіграють критично важливу роль у балансуванні електроживлення промислових об'єктів. Використання літій-іонних акумуляторних комплексів забезпечує можливість резервного живлення та оптимізації навантажень у моменти пікового споживання. Високоємні суперконденсатори застосовуються для швидкої компенсації електроенергії при нестабільності генерації відновлюваних джерел.

Розвиток відновлюваних джерел енергії в системах електропостачання промислових підприємств спрямований на підвищення рівня автономності виробничих об'єктів, зменшення залежності від централізованих електромереж та вдосконалення технологій акумуляування енергії. Інтеграція розумних мереж та сучасних цифрових рішень дозволяє забезпечити стабільність електропостачання та ефективне використання альтернативної генерації.

1.1.5 Автоматизація та цифрові технології

Автоматизація та цифрові технології відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного електропостачання промислових підприємств, сприяючи оптимізації розподілу енергії, підвищенню надійності електромереж та зменшенню експлуатаційних витрат. Інтеграція інтелектуальних систем управління дозволяє контролювати параметри електроживлення в режимі реального часу, забезпечуючи адаптивне реагування на зміну навантажень.

Цифрові підстанції оснащуються мікропроцесорними пристроями захисту та контролю, що дозволяє проводити діагностику стану електрообладнання, прогнозувати аварійні ситуації та мінімізувати ризики відмов. Використання сучасних алгоритмів керування електричними потоками сприяє збалансуванню навантаження, зменшенню пікових струмових навантажень та зниженню втрат енергії в мережах промислових підприємств.

SCADA-системи забезпечують централізований моніторинг і дистанційне керування електромережами, дозволяючи операторам своєчасно реагувати на зміни параметрів напруги, струму та частоти. Інтеграція IoT-технологій у промислове електропостачання сприяє автоматизованому обміну даними між пристроями, оптимізації енергоспоживання та прогнозуванню несправностей у силових мережах.

Інтелектуальні системи прогнозування та регулювання режимів роботи трансформаторних підстанцій дозволяють адаптувати параметри електроживлення відповідно до поточних вимог виробничого процесу. Використання автоматизованих компенсаторів реактивної потужності забезпечує стабільність напруги та мінімізацію впливу коливань навантаження на роботу промислового обладнання.

Застосування хмарних платформ для управління енергетичними системами дає можливість дистанційно аналізувати та оптимізувати режими експлуатації електроустановок. Використання штучного інтелекту та машинного навчання в аналізі енергетичних даних підвищує рівень точності прогнозування та прийняття рішень щодо оптимізації розподілу електроенергії на промислових об'єктах.

Розвиток автоматизації та цифрових технологій у промисловому електропостачанні спрямований на вдосконалення надійності енергетичних систем, зменшення простоїв виробництва та підвищення ефективності використання електричних ресурсів. Інтеграція розумних мереж та цифрових підходів у системи розподілу енергії дозволяє досягати високого рівня адаптивності та мінімізувати втрати електроенергії в технологічних процесах.

Сучасні технології електропостачання промислових підприємств активно розвиваються та вдосконалюються для підвищення надійності, енергоефективності та стійкості до змін навантаження. Використання автоматизації, цифрових технологій, альтернативної енергетики та інтелектуальних рішень дозволяє оптимізувати роботу промислових підприємств та мінімізувати експлуатаційні витрати.

1.2 Характеристика об'єкту

Даний завод завод випускає дизельні навантажувачі вантажопідйомністю до 3,5 тон, та електричні вантажопідйомністю до 2 тон, електричних візків вантажопідйомністю 2 тони.

Маса навантажувачів, як правило, на 80-250 кг менше зарубіжних аналогів тієї ж вантажопідйомності, за рахунок кращого компоновання агрегатів, механізмів та противаги на шасі. Ця якість дозволяє більш впевнено використовувати навантажувачі в приміщеннях, наприклад, у залізничних вагонах, з регламентованим навантаженням на підлогу. Крім того, менша вага знижує витрати енергії акумуляторної батареї.

Завод має всі види виробництва для машинобудування:

- ливарне, включаючи чорне та кольорове лиття;
- лиття під тиском;
- штампувальне та зварювальне;
- термообробка та гальваніка;
- усі види механічної обробки;
- своя лабораторна та інструментальна база.

Ґрунт у районі цеху-суглинок. Каркас будівлі змонтований з блоків-секцій завдовжки 6 та 5 метрів кожен. Загальний розмір цеху складає $A \times B \times H = 42 \times 30 \times 7 \text{ м}$.

Таблиця 1.1 – Перелік електрообладнання інструментального цеху

Найменування ЕО	№ на плані	К-сть	$P_{en}, \text{кВт}$	Примітка
Наждакові верстати	1. 2. 5. 6. 9. 10	6	3	
Заточувальні верстати	3. 4. 7. 8. 11. 12	6	2.5	
Токарно-револьверні верстати	13-18. 39-41. 47. 48	11	2.8	
Токарні автомати	19-21. 30. 55-57	7	7.5	
Горизонтально-фрезерні верстати	22. 23. 37. 38. 42. 43. 53. 54	8	9.5	
Алмазно-розточувальні верстати	24.27. 44-46. 49. 50	7	2.2	

Одношпиндельні автомати токарні	25. 26. 28. 29. 51. 52	6	3.5	
Вентилятори	31. 32	2	4.5	
Поперечно-стругальні верстати	33-36	4	8.5	
Кран-балка	58	1	15	ПВ=60%

Електроприймачі, задані в проєктному завданні та подані в таблиці 1.1, розподіляємо по групах залежно від кількості фаз та режиму роботи.

До першої групи відносимо трифазні електроприймачі тривалого режиму (ТР). До цих електроприймачів, згідно з завданням, відносяться: шліфувальні верстати, верстати обдирки, анодно-механічні верстати, вентилятори.

Другу групу електроприймачів становлять трифазні електроприймачі з повторно-короткочасним режимом роботи (ПКР). До електроприймачів цієї групи відноситься кран балки.

Третю групу складають освітлювальні установки.

1.3 Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто сучасні технології електропостачання промислових підприємств, включаючи системи розподілу електроенергії, розподільчі пристрої, засоби захисту електрообладнання та високоефективні трансформатори. Вивчено інтеграцію відновлюваних джерел енергії та цифрових технологій для автоматизації керування електромережами.

Також проаналізовано характеристику електроприймачів інструментального цеху, їх розподіл за режимами роботи та категоріями надійності електропостачання. Визначено ключові аспекти забезпечення стабільного живлення виробничого обладнання та ефективного розподілу електроенергії на підприємстві.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок освітлення

Висота інструментального цеху становить 7 метрів, то більш економічний варіант встановити люмінесцентні лампи (ЛЛ). Марка вибраної лампи: ЛБ58; тип світильника в залежності від приміщення: Fresco 258 ЛСП-2х58Вт G13 IP65 ABS/PC ЕПРА.

Площа верстатного відділення розраховується:

$$S = A \cdot B$$

де A – довжина верстатного відділення, м;

B – ширина цеху, м

$$S = A \cdot B = 870 \text{ м}^2$$

Розрахункова висота підвісу світильників знаходиться за формулою:

$$h_p = h - h_c - h_{pn}$$

де h – висота приміщення, м;

h_{pn} – висота робочої поверхні над підлогою, м;

h_c – відстань від точки кріплення до світильника, м.

З названих розмірів h і h_{pn} є заданими, а h_c приймається в межах від нуля (при встановленні на стелі) до 1,5 м.

$$h_p = 7 - 0.4 - 1 = 5.6$$

Вибираємо фарбування стін стелі для даного приміщення та коефіцієнт відображення.

Коефіцієнт відображення побілених стін у приміщенні з незавішеними вікнами, побіленою стелею та чистою бетонною підлогою дорівнює $P_n = 70\%$, $P_c = 50\%$, $P_n = 30\%$

Співвідношення розмірів освітлюваного приміщення та висота підвісу світильників:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}$$

Крім цієї формули індекс приміщення можна визначити за таблицею використовуючи [9]. Знаючи площу верстатного відділення та розрахункову висоту підвісу світильників, можемо визначити значення індексу приміщення, що становить 2,25.

Під коефіцієнтом використання світлового потоку U_{oy} розуміють відношення світлового потоку, що падає на розрахункову площину, до світлового потоку джерел світла. Коефіцієнт U_{oy} залежить від світлорозподілу світильників та їх розміщення у приміщеннях; від розмірів освітлюваного приміщення та відбивають властивостей його поверхонь; від властивостей робочої поверхні.

Коефіцієнтом використання світильників з типовим КСС та ОУ визначаємо за таблицею використовуючи [9]. Так як тип КСС світильника Д-1, індекс приміщення 2,25 і відомі приблизні коефіцієнти відбиття поверхонь, коефіцієнтом використання світлового потоку U_{oy} дорівнює 0,81.

Приймаємо мінімальну освітленість $E_{\min} = 200 \text{ лк}$ з урахуванням виду робіт.

Необхідну кількість світильників можна визначити відповідно до формули:

$$n = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot z}{U_{oy} \cdot \Phi_l} \quad (4)$$

$$n = \frac{200 \cdot 1.5 \cdot 870 \cdot 1.1}{0.81 \cdot 4800} \approx 74 \text{ шт.}$$

Для світильника типу ДСП07У розділивши 74 штук ламп на 2, отримаємо кількість світильників необхідних для встановлення, так як даний світильник вміщує 2 лампи.

$$N = \frac{n}{2} = \frac{74}{2} \approx 37 \text{ шт.}$$

Таким же чином обчислюємо кількість ламп для інших кімнат, результати заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок кількості світильників

Вид приміщення	Марка світильника	К-ть світильників	Потужність, Вт
Верстатне відділення	ДСП07У-2х65-01-03	37	4810
Заточне відділення	ДСП07У-2х65-01-03	7	910
Шліфувальне відділення	ДСП07У-2х65-01-03	6	780
Склад	ДСП07У-2х65-01-03	2	260
Офісне приміщення	ДСП07У-2х65-01-03	3	585
Щитова	ДСП07У-2х65-01-03	1	130
ТП	ДСП07У-2х65-01-03	2	260
Інструментальна	ДСП07У-2х65-01-03	2	260
Побутове приміщення	ДСП07У-2х65-01-03	1	130
Кімната відпочинку	ДСП07У-2х65-01-03	2	260
Санвузол	ДСП07У-2х65-01-03	2	260
Вентиляція	ДСП07У-2х65-01-03	1	130

Для верстатного відділення визначаємо розташування світильників. Необхідна кількість світильників у ряду знаходиться за формулою

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1$$

де А – довжина приміщення, м;

L – відстань між сусідніми світильниками, м;

l – відстань від крайніх світильників до стін;

Підставимо відомі значення у формулу та отримаємо

$$N_R = \frac{36 - 2 \cdot 2.5}{5} + 1 = 7.2 \approx 7$$

Наступним етапом визначаємо кількість рядів, ця кількість визначається:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1$$

де В – ширина приміщення, м.

Використовуючи відомі значення, визначимо кількість рядів:

$$R = \frac{25 - 2 \cdot 2.5}{5} + 1 = 5$$

Помноживши отриману кількість рядів на кількість світильників у ряду, отримаємо 35 світильників, ще 2 два світильники незадіяні, тому приймаємо кількість рядів рівну 6.

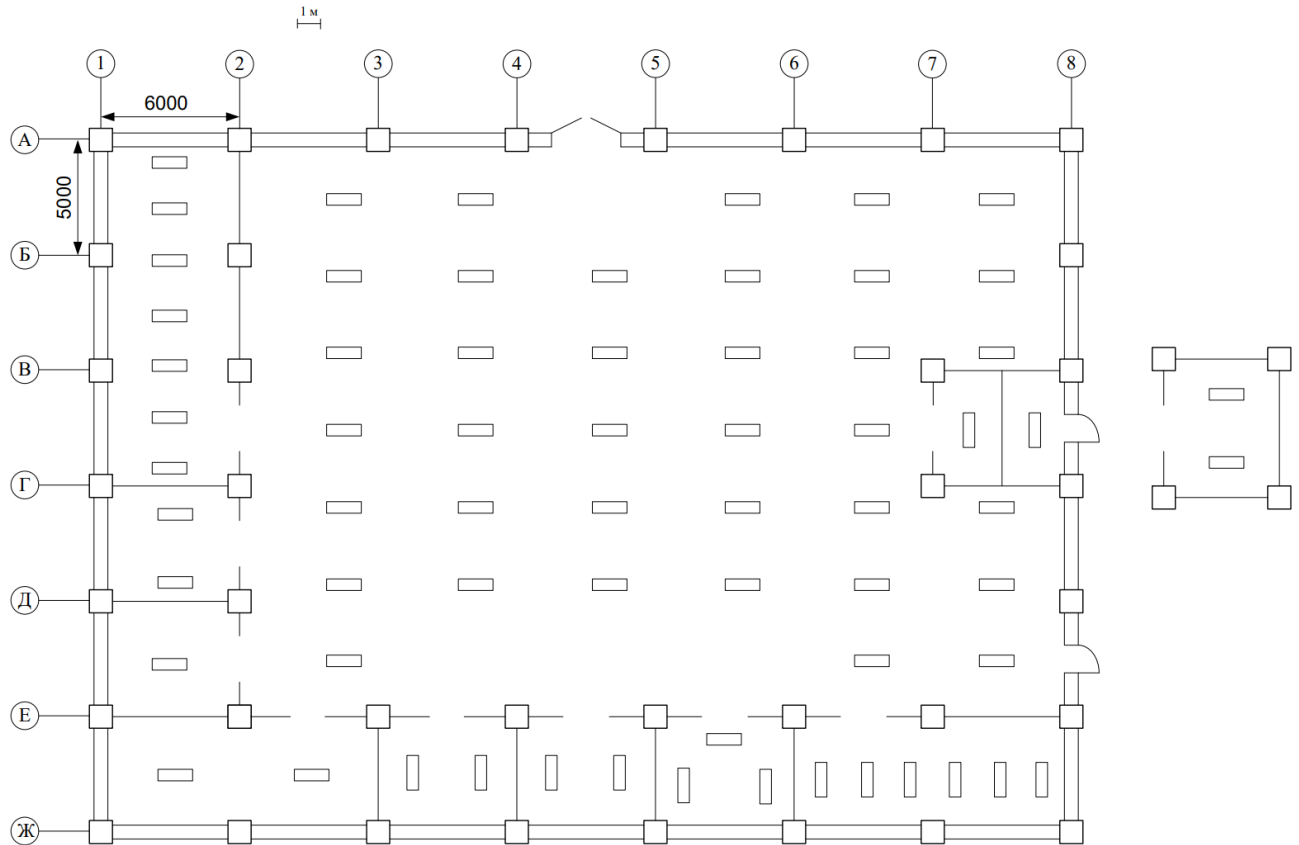


Рисунок 2.1 – Розташування світильників в цеху

2.2 Вибір схеми електропостачання цеху

Для схеми електропостачання, що проектується, вибираємо види розподільчих пристроїв (РП). розподільні пристрої можуть бути наступного виду: розподільні пункти (РП); шинопровід низької напруги (ШПН) або шинопровід магістральний алюмінієвий (ШМА); щит освітлення (ЩО) – для живлення освітлювального навантаження.

Всі електроприймачі, що є в даному цеху, розподіляємо наступним чином.

Розподільний пункт РПЗ – використовуємо для підключення трифазних електроприймачів, що працюють у повторно-короткочасному режимі (ПКР), а саме крана мостового.

Навантаження трифазних споживачів, що працюють у повторно-короткочасному режимі попередньо приводить до тривалого режиму роботи.

Для мостового крана:

$$P_n = P_{II} \cdot \sqrt{TB}$$

де P_n – активна потужність споживача, наведена до тривалого режиму роботи, кВт;

P_{II} – номінальна активна потужність споживача, кВт;

TB – тривалість включення споживача, відн.од.

$$P_n = 15 \cdot \sqrt{0.6} = 11,62 \text{ кВт}$$

До шинопроводів ШМА1 та ШМА2 підключаємо трифазні споживачі, які мають тривалий режим роботи, причому навантаження між ними розподіляємо рівномірно (таблиця 2.2).

Освітлювальне навантаження підключаємо до щита освітлення (ЩО).

З урахуванням категорії надійності електропостачання цеху вибираємо схему електропостачання. Так як заданий для проектування ІЦ відноситься до 2 категорії, тому вибираємо схему з двома трансформаторами та двома секціями шин, розділених секційним вимикачем (див. додаток). Дана схема дозволяє рівномірно розподілити навантаження на секції шин та трансформатори та задовольняє вимогам надійності електропостачання споживачів.

Все електричне навантаження цеху рівномірно розподіляємо між двома трансформаторами та секціями шин. Результати заносимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподіл навантаження між секціями

Найменування електроприймачів	Навантаження, приведене до тривалого режиму, кВт (число шт.)		Найменування електроприймачів
	Секція 1	Секція 2	
	ШМА1	ШМА2	

Вентилятори			Токарно револьверні верстати
Наждакові верстати			Горизонтально-фрезерні верстати
Заточувальні верстати			Розточувальні верстати
Токарні автомати			Токарні автомати
Горизонтально-фрезерні верстати			
	РП1		
Поперечностругальні верстати	8.5 (4)	8.775	ЩО
	РП2	РП4	
Одношпиндельні автомати токарні	3.5 (4)	3.5 (2)	Одношпиндельні автомати токарні
Алмазно-розточувальні верстати	2.2 (2)	2.2 (2)	Розточувальні верстати
Токарні автомати	7.5 (1)	9.5 (2)	Горизонтально-фрезерні верстати
	РП3		
Кран-балка	11.62 (1)		
ВСЬОГО	147.52	144.58	ВСЬОГО

Рівномірний розподіл електричного навантаження між двома секціями шин на стороні низької напруги дозволить рівномірно завантажити силові трансформатори та забезпечити можливість резервування живлення у разі виходу з ладу одного з них

2.3 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень цеху робимо методом коефіцієнта максимуму. Це основний метод розрахунків електричних навантажень, який зводиться до визначення максимальних розрахункових навантажень групи електроприймачів. Метод дозволяє за номінальною потужністю електроприймачів з урахуванням їх числа та характеристик визначити розрахункове навантаження будь-якого вузла схеми електропостачання.

Спочатку визначаємо сумарну потужність однотипних електроприймачів, підключених до одного розподільчого пристрою, використовуючи таку формулу:

$$P_{n\Sigma} = P_n \cdot n = \sum P_n$$

де $P_{n\Sigma}$ – сумарна потужність однотипних електроприймачів підключених до одного РП;

P_n – одинична потужність одного електроприймача, кВт;

n – кількість електроприймачів даного типу.

Наприклад, до шинопроводу ШМА 1 підключено 6 наждачних верстатів 3 кВт кожен, тоді їх сумарна потужність складе:

$$P_{n\Sigma} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ кВт}$$

Аналогічно розраховуємо сумарну потужність всіх однотипних електроприймачів, підключених до інших РП. Отримані результати заносимо до таблиці А.1 (ДОДАТОК А)

Використовуючи довідкову літературу, для кожного виду електроприймачів визначаємо такі параметри:

- K_g – коефіцієнт використання споживача;
- $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності споживача;
- $\tan \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності споживача.

Дані параметри для кожного виду електроприймачів заносимо до зведеної відомості навантажень, таблиця А.1 (ДОДАТОК А)

Наприклад, для 6 наждачних верстатів ці параметри мають значення:

$$K_g = 0,16 \quad \cos \varphi = 0,6 \quad \tan \varphi = 1,17$$

Визначаємо середньозмінні навантаження, активної та реактивної потужності для кожної групи однотипних споживачів, використовуючи наступні формули

$$P_{cn} = K_g \cdot P_n$$

$$Q_{cn} = P_{cn} \cdot \tan \varphi$$

$$S_{cn} = \sqrt{P_{cn}^2 + Q_{cn}^2}$$

Наприклад, для групи шліфувальних верстатів підключених до розподільного пристрою ШМА1 середньозмінне активне та реактивне навантаження становитимуть:

$$P_{cn} = 0.16 \cdot 18 = 2.88 \text{ кВт}$$

$$Q_{cn} = 3.06 \cdot 1.33 = 3.84 \text{ кВар}$$

Аналогічно визначаємо змінні навантаження для всіх інших однотипних груп електроприймачів, результати розрахунків заносимо до таблиці А.1 (ДОДАТОК А).

Визначаємо сумарну змінну потужність P_{cn} , Q_{cn} для всіх груп однотипних споживачів підключених до одного розподільного пристрою:

$$P_{cn\Sigma} = \sum P_{cn}$$

$$Q_{cn\Sigma} = \sum Q_{cn}$$

$$S_{cn\Sigma} = \sqrt{P_{cn\Sigma}^2 + Q_{cn\Sigma}^2}$$

Наприклад, для електроприймачів, підключених до ШМА1, сумарна змінна потужність становитиме:

$$P_{cn\Sigma} = 5.44 + 4.144 + 1.16 + 16.12 = 26.87 \text{ кВт}$$

$$Q_{cn\Sigma} = 7.25 + 5.53 + 2.01 + 18.34 = 33.13 \text{ квар}$$

$$S_{cn\Sigma} = \sqrt{26.87^2 + 33.13^2} = 42.66 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Аналогічно розраховуємо дані ШМА2. Отримані результати заносимо до таблиці А.1(ДОДАТОК А).

Для групи споживачів підключених до одного РП визначаємо параметр силового складання за формулою:

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}}$$

де $P_{н.нб}$ – номінальна потужність найбільшого споживача групи, кВт;

$P_{н.нм}$ – номінальна потужність найменшого споживача групи, кВт.

Для групи споживачів підключених до ШМА1 параметр силового збирання складе:

$$m = \frac{11,62}{2,2} = 5,28$$

Визначаємо ефективне число електроприймачів. Ефективне число електроприймачів це таке число однакових за потужністю та режимом роботи електроприймачів, яке дозволяє замінити реальне число електроприймачів з різною потужністю, і режимом роботи не змінюючи при цьому величини розрахункового максимального навантаження.

Для розподільчого пристрою ШМА1 ефективне число електроприймачів складе $n_e = 29$.

На основі отриманих значень n_e і K_ϵ визначаємо коефіцієнт максимуму K_m . $K_m = F(K_\epsilon, n_e)$ – визначається за таблицями (графіками) які можна знайти в [19], а за відсутності їх може бути обчислено за формулою:

$$K_\epsilon = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_e}} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{\epsilon, cp}}{K_{\epsilon, cp}}}$$

Для розподільчого пристрою ШМА1 коефіцієнт максимуму дорівнює

$$K_m = F(0.19; 29) = 1.4$$

Визначаємо максимальні навантаження, використовуючи такі формули:

$$P_m = K_m \cdot P_{cn}$$

$$Q_m = K'_m \cdot Q_{cn}$$

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$$

Відповідно до практики проєктування систем електропостачання приймаємо $K'_m = 1,1$ при $n_e < 10$; $K'_m = 1$ при $n_e > 10$.

Розрахуємо максимальні навантаження для розподільчого пристрою ШМА1.

$$P_m = 1.4 \cdot 26.87 = 37.61 \text{ кВт}$$

$$Q_m = 1 \cdot 33,13 = 33,13 \text{ квар}$$

$$S_m = \sqrt{37.61^2 + 33.13^2} = 50,13 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Визначаємо значення струму в провіднику, що йде до розподільчого пристрою, виходячи з максимальної розрахункової потужності за формулою:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

де I_m – максимальний струм навантаження, А;

S_m – максимальна потужність, кВА;

$U_{ном}$ – номінальна напруга на шинах, кВ.

Для розподільчого пристрою ШМА 1 величина струму становитиме

$$I_m = \frac{50,13}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 76,16 \text{ А}$$

Отримані результати розрахунку заносимо до зведеної відомості навантажень, таблиця А.1 (ДОДАТОК А). Аналогічним чином розраховуємо максимальні навантаження і за іншими розподільчими пристроями РП1, РП2, ШМА2, ЩО результати розрахунку також заносимо до зведеної відомості навантажень, таблиця А.1 (ДОДАТОК А).

За результатами розрахунків визначаємо загальне максимальне навантаження цеху, необхідне вибору потужності силових трансформаторів.

Сумарне максимальне електричне навантаження цеху $P_{\Sigma m}$, $Q_{\Sigma m}$ визначиться як сума всіх максимальних навантажень окремих розподільчих пристроїв P_m , Q_m .

$$P_{\Sigma m} = \sum P_m$$

$$Q_{\Sigma m} = \sum Q_m$$

$$S_{\Sigma m} = \sqrt{P_{\Sigma m}^2 + Q_{\Sigma m}^2}$$

Таким чином, для всього цеху максимальне електричне навантаження становитиме:

$$P_{\Sigma m} = 37.61 + 31.72 + 7.57 = 76.90 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma m} = 33,13 + 28,97 + 2,49 = 64,59 \text{ квар}$$

$$S_{\Sigma m} = \sqrt{76,90^2 + 64,59^2} = 140,04 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Отримані результати заносимо до зведеної відомості навантажень, таблиця А.1 (ДОДАТОК А).

Таким чином, максимальне навантаження на ШНН складе $170,08 \text{ кВ} \cdot \text{А}$

$$P_{\Sigma \text{ШНН}} = \sum P_{\Sigma \text{РП}}$$

$$Q_{\Sigma \text{ШНН}} = \sum Q_{\Sigma \text{РП}}$$

де $P_{\Sigma \text{РП}}$ – сумарна змінна активна потужність по РП, кВт;

$Q_{\Sigma \text{РП}}$ – сумарна змінна реактивна потужність по РП, квар.

Визначаємо значення $\cos \varphi$, $\text{tg} \varphi$ для всього цеху, або на шинах низької напруги ШНН.

$$\text{tg} \varphi = \frac{Q_{\Sigma \text{ШНН}}}{P_{\Sigma \text{ШНН}}}$$

де $P_{\Sigma \text{ШНН}}$ – сумарна змінна активна потужність по цеху, кВт;

$Q_{\Sigma \text{ШНН}}$ – сумарна змінна реактивна потужність по цеху, квар;

$\text{tg} \varphi$ – середньозмінний коефіцієнт реактивної потужності цеху.

$$\cos \varphi = \cos(\text{atctg} \varphi)$$

де $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності цеху;

$\text{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності цеху.

$$P_{\Sigma \text{ШНН}} = 26,87 + 21,73 + 7,57 = 56,16 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma \text{ШНН}} = 33,13 + 28,97 + 2,49 = 64,59 \text{ квар}$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{64,59}{56,16} = 1,15$$

$$\cos \varphi = 0,66$$

Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ характеризує величину споживаної активної потужності, низьке значення цього показника свідчить про велике споживання реактивної потужності. Реактивна потужність пов'язані з здійсненням корисної роботи, і витрачається створення електромагнітних полів. Велике значення споживаної реактивної потужності призводить до додаткових втрат енергії, у

розподільчих мережах підприємства, відповідно збільшується загальне споживання енергії, а також доводиться встановлювати силові трансформатори та апарати захисту на велику потужність.

Так як коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ в проектуваному цеху має задовільне значення, то проведення заходу компенсації реактивної потужності можуть не проводити, але для зменшення наявних втрат варто провести заходи. Ці заходи дозволять збільшити значення коефіцієнта потужності до «відмінного» результату, що коливається від 0,95 до 1.

2.4 Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв

Оскільки згідно з розрахунком коефіцієнт реактивної потужності перевищує нормативне значення, тому проводимо компенсацію реактивної потужності.

Визначаємо розрахункову реактивну потужність компенсуючого пристрою за формулою

$$Q_{кр} = \alpha \cdot P_{\text{м}} (tg \varphi - tg \varphi_{\kappa})$$

де $Q_{кр}$ – розрахункова потужність пристрою, що компенсує, кВАр;

α – коефіцієнт, що враховує підвищення $\cos \varphi$ природним способом, приймаємо рівним 0,9;

$tg \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності до компенсації;

$tg \varphi_{\kappa}$ – коефіцієнт реактивної потужності після компенсації;

$P_{\text{м}}$ – максимальна активна потужність, кВт.

Компенсацію реактивної потужності з досвіду експлуатації здійснюють до отримання значення $\cos \varphi_{\kappa} = 0.92 \div 0.95$. Приймаємо $\cos \varphi_{\kappa} = 0.92$, визначаємо $tg \varphi_{\kappa}$, який у цьому випадку дорівнює $tg \varphi_{\kappa} = 0.426$.

Визначаємо потужність компенсуючого пристрою

$$Q_{кр} = 0.9 \cdot 76.9 \cdot (1.15 - 0.426) = 50.12 \text{ квар}$$

За результатами розрахунку вибираємо дві стандартні компенсуючі установки 2хУКМ 58-0,4-30-4-7,5 УЗ 1Р20 зі ступінчастим регулюванням, потужністю 30 квар кожна та розміщуємо їх по одній на кожен секцію шин.

Визначаємо фактичне значення $\operatorname{tg} \varphi_{\phi}$ після установки компенсуючих пристроїв за такою формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{\text{ст.к.н}}}{\alpha \cdot P_{\text{м}}}$$

де $Q_{\text{ст.к.н}}$ – нормативна потужність встановлених компенсуючих пристроїв, квар

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = 1.15 - \frac{60}{0.9 \cdot 76.9} = 0.283$$

Визначаємо фактичне значення $\cos \varphi_{\phi}$ після проведеної компенсації реактивної потужності за формулою:

$$\cos \varphi_{\phi} = \cos(\operatorname{arctg} \varphi_a)$$

$$\cos \varphi_{\phi} = 0.962$$

Отримані результати свідчать, що компенсація зроблена до прийнятного значення коефіцієнта активної потужності $\cos \varphi_{\phi} = 0.95$.

Визначаємо $Q_{\text{м}}$, $P_{\text{м}}$, $S_{\text{м}}$, на шинах низької напруги ШНН з урахуванням компенсації реактивної потужності:

$$S_{\text{м(з КП)}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + (Q_{\text{м}} - Q_{\text{кп}})^2}$$

де $S_{\text{м(з КП)}}$ – максимальна повна потужність на шинах низької напруги з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВА;

$Q_{\text{м}}$ – максимальна реактивна потужність до компенсації, квар;

$Q_{\text{кп}}$ – реактивна потужність встановленого компенсуючого пристрою, квар;

$P_{\text{м}}$ – максимальна активна потужність на шинах низької напруги, кВт.

$$S_{\text{м(з КП)}} = \sqrt{76.90^2 + (64.59 - 60)^2} = 77.04 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Визначаємо втрати потужності у силовому трансформаторі.

Приблизно втрати потужності в силовому трансформаторі можна визначити за формулами:

$$\Delta P = 0.02 \cdot S_{HH}$$

$$\Delta Q = 0.1 \cdot S_{HH}$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}$$

де ΔP – втрати активної потужності у трансформаторі, кВт;

ΔQ – втрати реактивної потужності у трансформаторі, квар;

$\Delta S_{HH} = S_{M(з КП)}$ – повна максимальна потужність на ШНН з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВА.

Внаслідок втрати потужності в силовому трансформаторі складуть:

$$\Delta P = 0.02 \cdot 77.04 = 1.54 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = 0.1 \cdot 77.04 = 7.70 \text{ квар}$$

$$\Delta S = \sqrt{1.54^2 + 7.70^2} = 7.86 \text{ кВА}$$

Визначаємо потужність на стороні високої напруги:

$$P_{M(BH)} = P_M + \Delta P_M$$

$$Q_{M(BH)} = (Q_{M(без КП)} - Q_{ст.КП}) + \Delta Q$$

$$\Delta S_{M(BH)} = \sqrt{P_{M(BH)}^2 + Q_{M(BH)}^2}$$

де $P_{M(BH)}$ – максимальна активна потужність за високої напруги, кВт;

$Q_{M(BH)}$ – максимальна реактивна потужність за високої напруги, квар;

$\Delta S_{M(BH)}$ – максимальна повна потужність за високої напруги, кВА;

$Q_{M(без КП)}$ – максимальна реактивна потужність на ШНН до компенсації реактивної потужності, квар;

P_M – максимальна активна потужність на ШНН, кВт;

$Q_{ст.КП}$ – потужність встановленого компенсуючого пристрою, квар;

ΔP – втрати активної потужності у трансформаторі, кВт;

ΔQ – втрати реактивної потужності, квар.

$$P_{\text{м(ВН)}} = 76.90 + 1.54 = 78.45 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{м(ВН)}} = (64.59 - 60) + 7.70 = 12.30 \text{ квар},$$

$$\Delta S_{\text{м(ВН)}} = \sqrt{78.45^2 + 12.30^2} = 79.40 \text{ кВА}$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці А.1 (ДОДАТОК А).

По отриманому значенню максимальної повної розрахункової потужності за високої напруги проводимо розрахунок потужності силового трансформатора для цехової трансформаторної підстанції.

2.5 Вибір силових трансформаторів

Вибір силових трансформаторів для цехової трансформаторної підстанції проводимо з урахуванням категорії надійності електропостачання споживачів і максимальної розрахункової потужності, встановлених у цеху електроприймачів з урахуванням проведеної компенсації реактивної потужності.

Для споживачів 2 категорії вибираємо два силові трансформатори. Потужність трансформаторів, що встановлюються, визначається за формулою:

$$S_m > \frac{S_{\text{м}}}{1.4 \cdot (n - 1)}$$

де S_m – повна потужність трансформатора, кВА;

$S_{\text{м}}$ – повна максимальна потужність встановленого в цеху навантаження, кВА;

n – число трансформаторів, що встановлюються в цеховій підстанції (приймаємо для споживачів 2 категорії $n = 2$).

$$S_m > \frac{79.40}{1.4 \cdot (2 - 1)} = 56.72 \text{ кВА}$$

За результатами розрахунку остаточно вибираємо два силові трансформатори $2 \times TM - 63 - 10 / 0.4$ потужністю по 63кВА.

2.6 Розрахунок та вибір пристроїв захисту і ліній електропостачання електроприймачів

Для вибору апаратів захисту та кабельних ліній, що йдуть до споживачів, проводимо розрахунок струмів у лініях електропостачання окремих приймачів та груп електроприймачів.

Основними видами захисту до 1000 В є запобіжники та автоматичні вимикачі. Автоматичний вимикач (ВА) – пристрій, здатний відключити без втручання людини електроенергію для споживачів, у разі навантаження або короткого замикання для того, щоб захистити електричний ланцюг від подальших руйнівних наслідків та не допустити займання. Автоматичний вимикач ефективніший у 3-х фазних колах, ніж запобіжник. Основним елементом автоматичного вимикача є, розчеплювач.

Струм у лінії безпосередньо за трансформатором на стороні низької напруги визначаємо за такою формулою:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{т.ном}}$$

де S_m – номінальна потужність трансформатора, кВА

$U_{т.ном}$ – номінальна напруга трансформатора, кВ;

I_m – струм у лінії за трансформатором, А.

$$I_m = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 90.93 \text{ А}$$

Струм у лінії, що йде до розподільчого пристрою, визначається за формулою

$$I_{рп} = \frac{S_{м.рп}}{\sqrt{3} \cdot U_{м.рп}}$$

де $S_{м.рп}$ – максимальна розрахункова потужність РУ, кВА;

$U_{м.рп}$ – номінальна напруга РУ, кВ;

$I_{рп}$ – струм у лінії, що веде до РУ, А.

Струм у лінії, що йде до розподільного пристрою ШМА1, знаходиться

$$I_{\text{пл}} = \frac{50.13}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 76.16 \text{ A}$$

Аналогічно визначаємо струми в лініях, що йдуть до всіх інших розподільних пристроїв ШМА2, ЩО, результати розрахунків заносимо в таблицю Д.1(ДОДАТОК Д).

Струм у лінії, що йде до споживача, яким є трифазний електродвигун змінного струму, визначається:

$$I_{\delta} = \frac{P_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.}\delta} \cdot \eta_{\delta} \cdot \cos \varphi_{\delta}}$$

де I_{δ} – струм в лінії йде до електродвигуна, А;

P_{δ} – номінальна активна потужність 3х-фазного електродвигуна, кВт;

$U_{\text{н.}\delta}$ – номінальна напруга електродвигуна, кВ;

$\cos \varphi_{\delta}$ – коефіцієнт активної потужності;

η_{δ} – коефіцієнт корисної дії двигуна

Для прикладу визначимо номінальний струм у лінії, що йде до наждачного

$$I_{\delta} = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.85 \cdot 0.6} = 8.94 \text{ A}$$

Аналогічно визначаємо номінальні струми і для решти споживачів, що мають трифазний електродвигун, результати розрахунку заносимо в таблицю Б.1 (ДОДАТОК Б).

Для захисту електроприймачів та лінії від струмів короткого замикання вибираємо автоматичні вимикачі.

Автоматичні вимикачі вибираємо виходячи з наступних умов:

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р}}$$

$$U_{\text{н.а}} \geq U_{\text{мережі}}$$

Для лінії без електродвигуна:

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{дл.л}}$$

Для лінії з одним електродвигуном:

$$I_{н.р} \geq 1.1 \cdot I_{ном}$$

Для лінії з кількома двигунами:

$$I_{н.р} \geq 1.25 \cdot I_{д.т.л}$$

де $I_{н.р}$ – номінальний струм розчіплювача автомата, А;

$I_{н.а}$ – номінальний струм автомата, А;

$I_{д.т.л}$ – довготривалий струм лінії, А;

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

$U_{н.а}$ – номінальна напруга автомата, В;

$U_{мережі}$ – номінальна напруга мережі, В.

Як приклад вибираємо автомати для токарного верстата з ЧПК, підключеного до розподільного пристрою ШМА1. Попередньо складаємо розрахункову схему (рисунок 2.2)

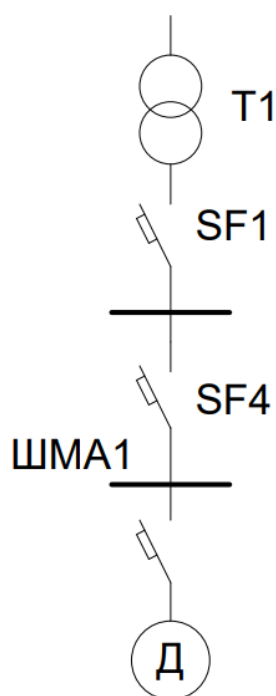


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

Вибираємо автомат SF розташований на лінії токарний верстат з ЧПК – ШМА1.

$$I_{н.р} \geq 1.1 \cdot 8.94 = 11.17 \text{ A}$$

Вибираємо автомат серії ВА57–35 34 з номінальним струмом $I_{н.а} = I_{н.р} = 20 \text{ A}$.

Розраховуємо струм спрацьовування (струм вставки) автомата. Для одного електродвигуна струм уставки визначається за такою формулою

$$I_{вст} \geq 1.25 \cdot I_{пуск}$$

$$I_{пуск} = (6 \div 7.5) \cdot I_{ном}$$

де $I_{вст}$ – струм спрацьовування (уставка) автомата, А;

$I_{пуск}$ – пусковий струм електродвигуна, А;

$I_{ном}$ – номінальний струм електродвигуна, А.

$$I_{пуск} = 6 \cdot 11.17 = 53.62 \text{ A}$$

$$I_{вст} \geq 1.25 \cdot 53.62 = 64.35 \text{ A}$$

Визначте коефіцієнт відключення автоматичного вимикача:

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р}}$$

де $I_0 = I_{вст.}$ – струм відсічення (вставка) автомата, А;

$I_{н.р}$ – номінальний струм розчіплювача автомата, А;

K_0 – кратність відсічення.

Для автомата SF кратність відсічення становитиме:

$$K_0 = \frac{80}{16} = 5$$

Вибираємо стандартну кратність відсікання автомата рівну 6.

Вибираємо автомат SF4 розташований на лінії ШНН – ШМА1.

Відповідно до умови (48):

$$I_{н.р} \geq 1.25 \cdot 76.16 = 83.77 \text{ A}$$

Вибираємо автомат з номінальним струмом розчіплювача, що перевищує значення 83,77 А. Таким автоматом є автомат ВА57Ф35 34 з номінальним струмом розчеплювача $I_{н.р} = 160$ А.

Струм спрацьовування електромагнітного розчіплювача (вставка) автоматичного вимикача встановленого на групу електродвигунів визначиться за формулою:

$$I_{вст} \geq 1.2 \cdot I_{нік}$$

$$I_{нік} = I_{пуск.нб} + I_{м} - I_{н.б}$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot I_{ном}$$

де $I_{вст}$ – струм спрацьовування (вставка) автоматичного вимикача, А;

$I_{нік}$ – піковий струм, А;

$I_{пуск.нб}$ – пусковий струм найбільшого за потужністю електроприймача групи, А;

$I_{м}$ – максимальний струм на групу, А;

$I_{ном}$ – номінальний струм електродвигуна, А;

$I_{н.б}$ – номінальний струм найбільшого у групі електроприймача, А.

$$I_{вст} \geq 1.2 \cdot (6 \cdot 28.30 + 76.16 - 17.65) = 273.98 \text{ А}$$

Визначаємо кратність відсікання автоматичного вимикача ВА57Ф35 34 за формулою (50):

$$K_0 = \frac{500}{160} = 3.13$$

Для обраного типу автомата кратність відсічення приймаємо рівною 4. Вибираємо автомат SF1 розташований на лінії трансформатор – ШНН.

Струм у лінії за трансформатором обчислений за формулою (40) становить 90,93 А. Відповідно до формули (47):

$$I_{н.р} \geq 1.25 \cdot 90.93 = 113.67 \text{ А}$$

Вибираємо автомат з номінальним струмом розчіплювача, що перевищує значення 113,67. Таким автоматом є автомат ВА57Ф35 34 з номінальним струмом расцепителя $I_{н.р} = 250 \text{ А}$.

Визначаємо струм уставки автомата:

$$I_{вст} \geq 1.2(76.16 + 169.81 - 17.65) = 273.98 \text{ А}$$

Кратність відсічення автомата згідно з формулою (50) складе:

$$K_0 = \frac{750}{250} = 3$$

Для автомата ВАФ57–39 34 номінальна кратність відсічення складе 4.

Аналогічним чином вибираємо автомати та розраховуємо кратність відсічення для інших споживачів, результати розрахунку заносимо до таблиці Д.1(ДОДАТОК Д).

Вибрані автомати перевіряємо на селективність за такими умовами.

Для номінального струму розчіплювача автоматичного вимикача:

$$I_{н.р}(SF) < I_{н.р}(SF4) < I_{н.р}(SF1)$$

Для струму уставки автоматичного вимикача:

$$I_{вст}(SF) < I_{вст}(SF4) < I_{вст}(SF1)$$

Для розглянутого випадку умови селективності захисту виконуються:

$$16 < 160 < 250 \text{ А}$$

$$80 < 500 < 1000 \text{ А}$$

З розрахунків номінальних струмів виробляємо вибір лінії електропостачання споживачів.

$$I_p \leq I_\delta$$

$$I_\delta \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}$$

Наприклад, визначимо переріз кабелю для підключення шліфувального верстата

Кабель прокладаємо в цеху з температурою близько $+25^{\circ}\text{C}$, число поряд прокладених кабелів приймаємо рівним одиниці. І тут коефіцієнти рівні $K_1 = 1$, $K_2 = 0.9$. Струм допустимий визначиться згідно з формулою (57):

$$I_{\phi} \geq \frac{8.94}{1 \cdot 0.9} = 9.93 \text{ A}$$

Для живлення окремих споживачів вибираємо кабелі марки АВВГ. Використовуючи таблицю допустимих значень струмів для кабелю даної марки, визначаємо величину допустимого струму та переріз кабельної жили, в результаті вибираємо кабель з допустимим струмом $I_{\text{доп}}$ перевищує 9,93 А, кабель марки АВВГ –1 (4х2,5), для якого допустимий струм дорівнює 19 А.

Вибраний кабель перевіряємо на відповідність апарату захисту. Оскільки розподільна електрична мережа цеху має бути захищена від навантаження, то відповідно до п. 3.1.11 ПУЕ [1]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{вст}}$$

де $I_{\text{вст}}$ – струм уставки автоматичного вимикача, що має тільки максимальний миттєвий вплив розчіплювач, А;

$I_{\text{доп}}$ – довгостроково допустиме струмове навантаження провідника, що захищається від струмів КЗ і навантаження, А.

Для токарного автомата:

$$I_{\text{доп}} \geq 22.34 \text{ A}$$

Цій умові задовольняють чотири кабелі АВВГ –1 (4х10). Аналогічно вибираємо кабелі для всіх інших споживачів, результати заносимо до таблиці Б.1 (ДОДАТОК Б).

Вибираємо переріз магістральних шинопроводів. Перетин шинопроводів ШМА1 та ШМА2 має задовольняти умові.

Для шинопроводу ШМА1 $I_{\text{м}} = 93.08 \text{ A}$ згідно з умовою струм допустимий для шин:

$$I_{\text{доп}} \geq 93.08 \text{ A}$$

Цій умові відповідає алюмінієвий вишинопровід з розмірами 147x85, з допустимим струмом $I_{\text{доп}} \geq 250 \text{ A}$.

Для шинопроводу ШМА2 $I_{\text{м}} = 90.66 \text{ A}$, згідно з умовою (58) струм допустимий

$$I_{\text{доп}} \geq 90.66 \text{ A}$$

Цій умові відповідає алюмінієвий шинопровід з розмірами 147x85, з допустимим струмом $I_{\text{доп}} = 250 \text{ A}$.

Отримані результати заносимо до таблиці Б.1 (ДОДАТОК Б)

2.7 Висновки до розділу 2

У розділі проведено детальний аналіз електропостачання інструментального цеху, включаючи розрахунки освітлення, вибір схеми електропостачання, визначення електричних навантажень та вибір силових трансформаторів. Визначено необхідні параметри системи електропостачання, що забезпечують стабільну роботу виробничого обладнання з урахуванням категорії надійності електроприймачів.

Особлива увага приділена компенсації реактивної потужності, що дозволяє покращити коефіцієнт потужності та знизити втрати енергії у розподільчих мережах цеху. Вибрані компенсуючі пристрої забезпечують оптимальну роботу електромережі, мінімізуючи експлуатаційні витрати та підвищуючи ефективність споживання електроенергії.

Розрахунок та вибір пристроїв захисту, а також параметрів кабельних ліній підтверджують відповідність системи електропостачання технічним нормам та вимогам безпеки.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв

Оскільки згідно з розрахунком коефіцієнт реактивної потужності перевищує нормативне значення, тому проводимо компенсацію реактивної потужності.

Визначаємо розрахункову реактивну потужність компенсуючого пристрою за формулою

$$Q_{кр} = \alpha \cdot P_m (tg\varphi - tg\varphi_k)$$

де $Q_{кр}$ – розрахункова потужність пристрою, що компенсує, кВАр;

α – коефіцієнт, що враховує підвищення $\cos\varphi$ природним способом, приймаємо рівним 0,9;

$tg\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності до компенсації;

$tg\varphi_k$ – коефіцієнт реактивної потужності після компенсації;

P_m – максимальна активна потужність, кВт.

Компенсацію реактивної потужності з досвіду експлуатації здійснюють до отримання значення $\cos\varphi_k = 0.92 \div 0.95$. Приймаємо $\cos\varphi_k = 0.92$, визначаємо $tg\varphi_k$, який у цьому випадку дорівнює $tg\varphi_k = 0.426$.

Визначаємо потужність компенсуючого пристрою

$$Q_{кр} = 0.9 \cdot 76.9 \cdot (1.15 - 0.426) = 50.12 \text{ квар}$$

За результатами розрахунку вибираємо дві стандартні компенсуючі установки 2хУКМ 58-0,4-30-4-7,5 УЗ IP20 зі ступінчастим регулюванням, потужністю 30 кВАр кожна та розміщуємо їх по одній на кожен секцію шин.

Визначаємо фактичне значення $tg\varphi_\phi$ після установки компенсуючих пристроїв за такою формулою:

$$tg\varphi_\phi = tg\varphi - \frac{Q_{ст.к.н}}{\alpha \cdot P_m}$$

де $Q_{ст.к.н}$ – нормативна потужність встановлених компенсуючих пристроїв, квар

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = 1.15 - \frac{60}{0.9 \cdot 76.9} = 0.283$$

Визначаємо фактичне значення $\cos \varphi_{\phi}$ після проведеної компенсації реактивної потужності за формулою:

$$\cos \varphi_{\phi} = \cos(\operatorname{arccctg} \varphi_a)$$

$$\cos \varphi_{\phi} = 0.962$$

Отримані результати свідчать, що компенсація зроблена до прийнятного значення коефіцієнта активної потужності $\cos \varphi_{\phi} = 0.95$.

Визначаємо Q_m , P_m , S_m , на шинах низької напруги ШНН з урахуванням компенсації реактивної потужності:

$$S_{m(з\ КИТ)} = \sqrt{P_m^2 + (Q_m - Q_{кп})^2}$$

де $S_{m(з\ КИТ)}$ – максимальна повна потужність на шинах низької напруги з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВА;

Q_m – максимальна реактивна потужність до компенсації, квар;

$Q_{кп}$ – реактивна потужність встановленого компенсуючого пристрою, квар;

P_m – максимальна активна потужність на шинах низької напруги, кВт.

$$S_{m(з\ КИТ)} = \sqrt{76.90^2 + (64.59 - 60)^2} = 77.04 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Визначаємо втрати потужності у силовому трансформаторі.

Приблизно втрати потужності в силовому трансформаторі можна визначити за формулами:

$$\Delta P = 0.02 \cdot S_{нн}$$

$$\Delta Q = 0.1 \cdot S_{нн}$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}$$

де ΔP – втрати активної потужності у трансформаторі, кВт;

ΔQ – втрати реактивної потужності у трансформаторі, кВАр;

$\Delta S_{nn} = S_{m(з КП)}$ – повна максимальна потужність на ШНН з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВА.

Внаслідок втрати потужності в силовому трансформаторі складуть:

$$\Delta P = 0.02 \cdot 77.04 = 1.54 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = 0.1 \cdot 77.04 = 7.70 \text{ квар}$$

$$\Delta S = \sqrt{1.54^2 + 7.70^2} = 7.86 \text{ кВА}$$

Визначаємо потужність на стороні високої напруги:

$$P_{m(BH)} = P_m + \Delta P_m$$

$$Q_{m(BH)} = (Q_{m(без КП)} - Q_{ст.КП}) + \Delta Q$$

$$\Delta S_{m(BH)} = \sqrt{P_{m(BH)}^2 + Q_{m(BH)}^2}$$

де $P_{m(BH)}$ – максимальна активна потужність за високої напруги, кВт;

$Q_{m(BH)}$ – максимальна реактивна потужність за високої напруги, квар;

$\Delta S_{m(BH)}$ – максимальна повна потужність за високої напруги, кВА;

$Q_{m(без КП)}$ – максимальна реактивна потужність на ШНН до компенсації реактивної потужності, квар;

P_m – максимальна активна потужність на ШНН, кВт;

$Q_{ст.КП}$ – потужність встановленого компенсуючого пристрою, квар;

ΔP – втрати активної потужності у трансформаторі, кВт;

ΔQ – втрати реактивної потужності, квар.

$$P_{m(BH)} = 76.90 + 1.54 = 78.45 \text{ кВт},$$

$$Q_{m(BH)} = (64.59 - 60) + 7.70 = 12.30 \text{ квар},$$

$$\Delta S_{m(BH)} = \sqrt{78.45^2 + 12.30^2} = 79.40 \text{ кВА}$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці А.1(Додаток А).

По отриманому значенню максимальної повної розрахункової потужності за високої напруги проводимо розрахунок потужності силового трансформатора для цехової трансформаторної підстанції.

3.2 Вибір силових трансформаторів

Вибір силових трансформаторів для цехової трансформаторної підстанції проводимо з урахуванням категорії надійності електропостачання споживачів і максимальної розрахункової потужності, встановлених у цеху електроприймачів з урахуванням проведеної компенсації реактивної потужності.

Для споживачів 2 категорії вибираємо два силові трансформатори. Потужність трансформаторів, що встановлюються, визначається за формулою:

$$S_m > \frac{S_{\text{м}}}{1.4 \cdot (n - 1)}$$

де S_m – повна потужність трансформатора, кВА;

$S_{\text{м}}$ – повна максимальна потужність встановленого в цеху навантаження, кВА;

n – число трансформаторів, що встановлюються в цеховій підстанції (приймаємо для споживачів 2 категорії $n = 2$).

$$S_m > \frac{79.40}{1.4 \cdot (2 - 1)} = 56.72 \text{ кВА}$$

За результатами розрахунку остаточно вибираємо два силові трансформатори $2 \times TM - 63 - 10 / 0.4$ потужністю по 63кВА.

3.3 Розрахунок та вибір пристроїв захисту і ліній електропостачання електроприймачів

Для вибору апаратів захисту та кабельних ліній, що йдуть до споживачів, проводимо розрахунок струмів у лініях електропостачання окремих приймачів та груп електроприймачів.

Основними видами захисту до 1000 В є запобіжники та автоматичні вимикачі. Автоматичний вимикач (ВА) – пристрій, здатний відключити без втручання людини електроенергію для споживачів, у разі навантаження або

короткого замикання для того, щоб захистити електричний ланцюг від подальших руйнівних наслідків та не допустити займання. Автоматичний вимикач ефективніший у 3-х фазних колах, ніж запобіжник. Основним елементом автоматичного вимикача є, розчеплювач.

Струм у лінії безпосередньо за трансформатором на стороні низької напруги визначаємо за такою формулою:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{m.ном}}$$

де S_m – номінальна потужність трансформатора, кВА

$U_{m.ном}$ – номінальна напруга трансформатора, кВ;

I_m – струм у лінії за трансформатором, А.

$$I_m = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 90.93 \text{ А}$$

Струм у лінії, що йде до розподільного пристрою, визначається за формулою

$$I_{PP} = \frac{S_{м.РП}}{\sqrt{3} \cdot U_{м.РП}}$$

де $S_{м.РП}$ – максимальна розрахункова потужність РУ, кВА;

$U_{м.РП}$ – номінальна напруга РУ, кВ;

I_{PP} – струм у лінії, що веде до РУ, А.

Струм у лінії, що йде до розподільного пристрою ШМА1, знаходиться

$$I_{PP} = \frac{50.13}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 76.16 \text{ А}$$

Аналогічно визначаємо струми в лініях, що йдуть до всіх інших розподільних пристроїв ШМА2, ЩО, результати розрахунків заносимо в таблицю Б.1 (Додаток Б).

Струм у лінії, що йде до споживача, яким є трифазний електродвигун змінного струму, визначається:

$$I_\delta = \frac{P_\delta}{\sqrt{3} \cdot U_{н.д} \cdot \eta_\delta \cdot \cos \varphi_\delta}$$

де I_{∂} – струм в лінії йде до електродвигуна, А;

P_{∂} – номінальна активна потужність 3х-фазного електродвигуна, кВт;

$U_{н.д}$ – номінальна напруга електродвигуна, кВ;

$\cos \varphi_{\partial}$ – коефіцієнт активної потужності;

η_{∂} – коефіцієнт корисної дії двигуна

Для прикладу визначимо номінальний струм у лінії, що йде до наждачного

$$I_{\partial} = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.85 \cdot 0.6} = 8.94 \text{ А}$$

Аналогічно визначаємо номінальні струми і для решти споживачів, що мають трифазний електродвигун, результати розрахунку заносимо в таблицю Б.1 (Додаток Б).

Для захисту електроприймачів та лінії від струмів короткого замикання вибираємо автоматичні вимикачі.

Автоматичні вимикачі вибираємо виходячи з наступних умов:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \quad (43)$$

$$U_{н.а} \geq U_{мережі} \quad (44)$$

Для лінії без електродвигуна:

$$I_{н.р} \geq I_{дл.л} \quad (45)$$

Для лінії з одним електродвигуном:

$$I_{н.р} \geq 1.1 \cdot I_{ном} \quad (46)$$

Для лінії з кількома двигунами:

$$I_{от.р} \geq 1.25 \cdot I_{дл.л} \quad (47)$$

де $I_{н.р}$ – номінальний струм розчіплювача автомата, А;

$I_{н.а}$ – номінальний струм автомата, А;

$I_{от.р}$ – тривалий струм лінії, А;

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

$U_{н.а}$ – номінальна напруга автомата, В;

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

Як приклад вибираємо автомати для токарного верстата з ЧПК, підключеного до розподільного пристрою ШМА1. Попередньо складаємо розрахункову схему (див. рис. 3.1)

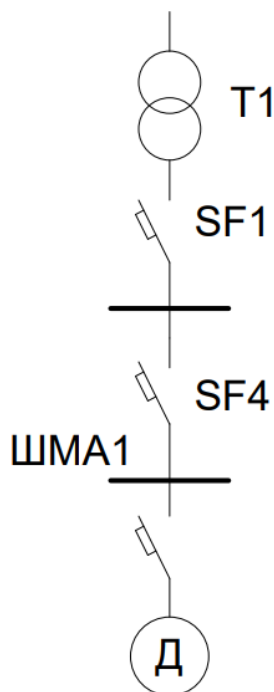


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Вибираємо автомат SF розташований на лінії токарний верстат з ЧПК – ШМА1.

$$I_{н.р} \geq 1.1 \cdot 8.94 = 11.17 \text{ А}$$

Вибираємо автомат серії ВА57–35 34 з номінальним струмом $I_{н.а} = I_{н.р} = 20 \text{ А}$.

Розраховуємо струм спрацьовування (струм вставки) автомата. Для одного електродвигуна струм уставки визначається за такою формулою

$$I_{вст} \geq 1.25 \cdot I_{пуск}$$

$$I_{пуск} = (6 \div 7.5) \cdot I_{ном}$$

де $I_{вст}$ – струм спрацьовування (уставка) автомата, А;

$I_{пуск}$ – пусковий струм електродвигуна, А;

$I_{ном}$ – номінальний струм електродвигуна, А.

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 11.17 = 53.62 \text{ А}$$

$$I_{\text{вст}} \geq 1.25 \cdot 53.62 = 64.35 \text{ А}$$

Визначте коефіцієнт відключення автоматичного вимикача:

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{\text{н.р}}}$$

де $I_0 = I_{\text{вст}}$ – струм відсічення (вставка) автомата, А;

$I_{\text{н.р}}$ – номінальний струм розчіплювача автомата, А;

K_0 – кратність відсічення.

Для автомата SF кратність відсічення становитиме:

$$K_0 = \frac{80}{16} = 5$$

Вибираємо стандартну кратність відсікання автомата рівну 6.

Вибираємо автомат SF4 розташований на лінії ШНН – ШМА1.

Відповідно до умови:

$$I_{\text{н.р}} \geq 1.25 \cdot 76.16 = 83.77 \text{ А}$$

Вибираємо автомат з номінальним струмом розчіплювача, що перевищує значення 83,77 А. Таким автоматом є автомат ВА57Ф35 34 з номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{н.р}} = 160 \text{ А}$.

Струм спрацьовування електромагнітного розчіплювача (вставка) автоматичного вимикача встановленого на групу електродвигунів визначиться за формулою:

$$I_{\text{вст}} \geq 1.2 \cdot I_{\text{пik}}$$

$$I_{\text{пik}} = I_{\text{пуск.нб}} + I_{\text{м}} - I_{\text{н.б}}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot I_{\text{ном}}$$

де $I_{\text{вст}}$ – струм спрацьовування (вставка) автоматичного вимикача, А;

$I_{\text{пik}}$ – піковий струм, А;

$I_{\text{пуск.нб}}$ – пусковий струм найбільшого за потужністю електроприймача групи, А;

I_m – максимальний струм на групу, А;

$I_{ном}$ – номінальний струм електродвигуна, А;

$I_{н.б}$ – номінальний струм найбільшого у групі електроприймача, А.

$$I_{вст} \geq 1.2 \cdot (6 \cdot 28.30 + 76.16 - 17.65) = 273.98 \text{ А}$$

Визначаємо кратність відсікання автоматичного вимикача ВА57Ф35 34 за формулою (50):

$$K_0 = \frac{500}{160} = 3.13$$

Для обраного типу автомата кратність відсічення приймаємо рівною 4.

Вибираємо автомат SF1 розташований на лінії трансформатор – ШНН.

Струм у лінії за трансформатором становить 90,93 А. Відповідно:

$$I_{н.р} \geq 1.25 \cdot 90.93 = 113.67 \text{ А}$$

Вибираємо автомат з номінальним струмом розчіплювача, що перевищує значення 113,67. Таким автоматом є автомат ВА57Ф35 34 з номінальним струмом розчіплювача $I_{н.р} = 250 \text{ А}$.

Визначаємо струм уставки автомата:

$$I_{вст} \geq 1.2(76.16 + 169.81 - 17.65) = 273.98 \text{ А}$$

Кратність відсічення автомата згідно складе:

$$K_0 = \frac{750}{250} = 3$$

Для автомата ВАФ57–39 34 номінальна кратність відсічення складе 4.

Аналогічним чином вибираємо автомати та розраховуємо кратність відсічення для інших споживачів, результати розрахунку заносимо до таблиці Б.1 (Додаток Б).

Вибрані автомати перевіряємо на селективність за такими умовами.

Для номінального струму розчіплювача автоматичного вимикача:

$$I_{н.р}(SF) < I_{н.р}(SF4) < I_{н.р}(SF1)$$

Для струму уставки автоматичного вимикача:

$$I_{вст}(SF) < I_{вст}(SF4) < I_{вст}(SF1)$$

Для розглянутого випадку умови селективності захисту виконуються:

$$16 < 160 < 250 \text{ A}$$

$$80 < 500 < 1000 \text{ A}$$

З розрахунків номінальних струмів виробляємо вибір лінії електропостачання споживачів.

Для вибору перерізу провідника за умовами нагрівання навантаження порівнюються розрахунковий максимальний струм I_p і допустимий струм I_δ для провідника даної марки та умов його прокладання. При цьому має дотримуватися наступне співвідношення:

$$I_p \leq I_\delta$$

Значення допустимих тривалих струмів для кабелів складені для нормальних умов прокладки, такими умовами вважаються температура повітря $+25^\circ\text{C}$, землі $+15^\circ\text{C}$ і за умови що в траншеї прокладено лише один кабель. Якщо умови прокладання провідників відрізняються від нормальних, то допустимий струм навантаження визначається з поправкою на температуру і кількість кабелів, що прокладаються поруч. Тоді перетин кабелю вибираємо із умови:

$$I_\delta \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}$$

де I_δ – допустимі струм для кабелю, А;

I_p – розрахунковий струм споживача, А;

K_1 – коефіцієнт, що враховує число поряд працюючих кабелів;

K_2 – коефіцієнт, що враховує відхилення температури навколишнього середовища від нормованого.

Наприклад, визначимо переріз кабелю для підключення шліфувального верстата

Кабель прокладаємо в цеху з температурою близько $+25^\circ\text{C}$, число поряд прокладених кабелів приймаємо рівним одиниці. І тут коефіцієнти рівні $K_1 = 1$, $K_2 = 0.9$. Струм допустимий визначиться згідно з формулою (57):

$$I_{\phi} \geq \frac{8.94}{1 \cdot 0.9} = 9.93 \text{ A}$$

Для живлення окремих споживачів вибираємо кабелі марки АВВГ. Використовуючи таблицю допустимих значень струмів для кабелю даної марки, визначаємо величину допустимого струму та переріз кабельної жили, в результаті вибираємо кабель з допустимим струмом $I_{\text{доп}}$ перевищує 9,93 А, кабель марки АВВГ –1 (4х2,5), для якого допустимий струм дорівнює 19 А.

Вибраний кабель перевіряємо на відповідність апарату захисту. Оскільки розподільна електрична мережа цеху має бути захищена від навантаження, то відповідно до п. 3.1.11 ПУЕ:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{вст}}$$

де $I_{\text{вст}}$ – струм уставки автоматичного вимикача, що має тільки максимальний миттєвий вплив розчіплювач, А;

$I_{\text{доп}}$ – довгостроково допустиме струмове навантаження провідника, що захищається від струмів КЗ і навантаження, А.

Для токарного автомата:

$$I_{\text{доп}} \geq 22.34 \text{ A}$$

Цій умові задовольняють чотири кабелі АВВГ –1 (4х10). Аналогічно вибираємо кабелі для всіх інших споживачів, результати заносимо до таблиці Б.1 (Додаток Б).

Вибираємо переріз магістральних шинопроводів. Перетин шинопроводів ШМА1 та ШМА2 має задовольняти умові.

Для шинопроводу ШМА1 $I_{\text{м}} = 93.08 \text{ A}$ згідно з умовою (58) струм допустимий для шин:

$$I_{\text{доп}} \geq 93.08 \text{ A}$$

Цій умові відповідає алюмінієвий вишинопровід з розмірами 147х85, з допустимим струмом $I_{\text{доп}} \geq 250 \text{ A}$.

Для шинопроводу ШМА2 $I_{\text{м}} = 90.66 \text{ A}$, згідно з умовою (58) струм допустимий

$$I_{\text{доо}} \geq 90.66 \text{ A}$$

Цій умові відповідає алюмінієвий шинопровод з розмірами 147x85, з допустимим струмом $I_{\text{доо}} = 250 \text{ A}$.

Отримані результати заносимо до таблиці Б.1 (Додаток Б)

3.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Коротке замикання (КЗ) – з'єднання фаз один з одним або фази із землею у мережі з глухо заземленою нейтраллю.

При розрахунку $I_{\text{кз}}$ у мережах напругою нижче 1000В необхідно враховувати індуктивні та активні опори КЗ кола.

На сумарне значення опору КЗ кола значно впливають: опір електричних апаратів, котушок трансформаторів струму, струмових обмоток автоматів та реле, перехідні опори контактів.

Для надійного спрацьовування захисного апарату в можливий короткий час згідно ПУЕ вимагається, щоб струм однофазного замикання в установках, не небезпечних вибухом, був не менше триразової величини номінального струму плавкою вставки запобіжника або теплового розчеплювача автоматичного вимикача.

При захисті мереж автоматами з одним електромагнітним розчеплювачем струм КЗ в петлі фаза – нуль повинен бути не менше величини струму вставки миттєвого спрацьовування, помноженого на коефіцієнт 1,4 для автоматів з номінальним струмом до 100 А і на 1,25 для автоматів з номінальним струмом 100 А.

При розрахунку струмів КЗ в мережах напругою нижче 1000 В необхідно враховувати індуктивні та активні опори короткозамкнутого ланцюга. На сумарне значення опору короткозамкнутого ланцюга значно впливають активні опори електричних апаратів, котушок трансформаторів струму, струмових обмоток автоматів та реле, перехідні опори контактів комутаційних апаратів.

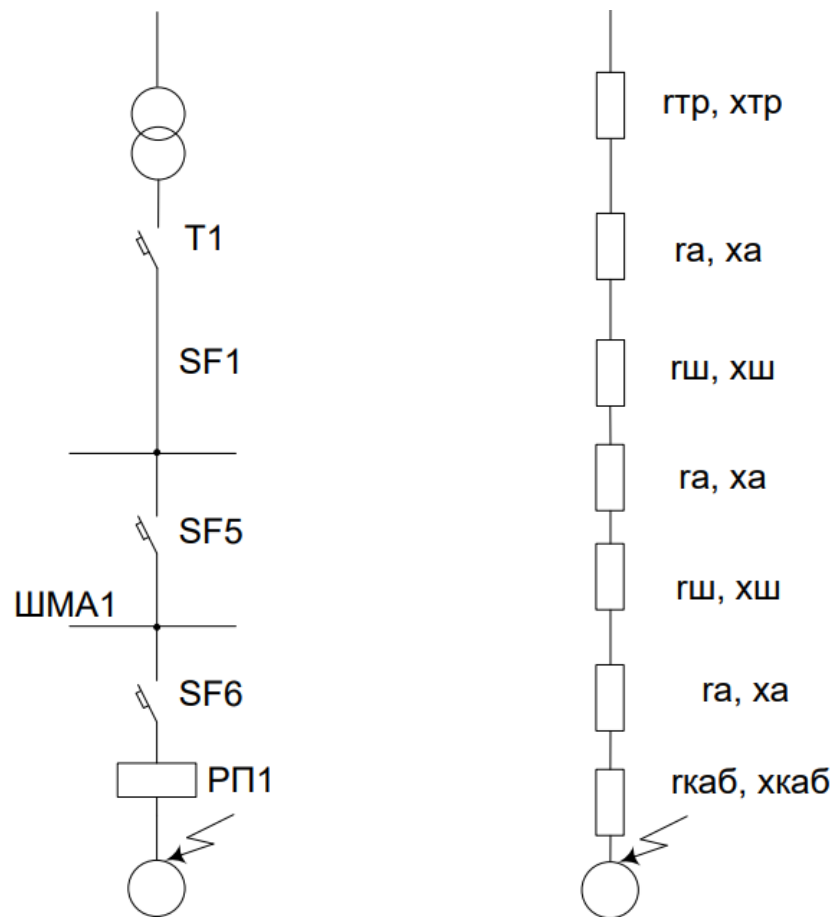


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема і схема заміщення

Опір окремих елементів можна визначити за формулою, наприклад, опору шин від трансформатора до розподільного пристрою 0,4 кВ:

$$r_{ш} = r_{ош} \cdot L_{ш}$$

$$x_{ш} = x_{ош} \cdot L_{ш}$$

де $r_{ош}$ і $x_{ош}$ – активний та індуктивний опір 1м плоских шин.

Опір обмоток розчіплювачів і контактів автоматів:

$$r_a = r_{обм} + r_{конт}$$

$$x_a = x_{обм} + x_{конт}$$

де $r_{обм}$, $r_{конт}$, $x_{обм}$, $x_{конт}$ – активний та індуктивний опір, мОм.

Опір кабелю (проводу)

$$r_{каб} = r_{о.каб} \cdot L_{каб}$$

$$x_{каб} = x_{о.каб} \cdot L_{каб}$$

де $r_{о.каб}$, $x_{о.каб}$ – питомий активний та індуктивний опір кабельних ліній або проводів, мОм.

Визначасмо повний опір

$$z = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}$$

де r_{Σ} – сумарний активний опір всіх елементів, мОм;

x_{Σ} – сумарний індуктивний опір всіх елементів, мОм

$$r_{\Sigma} = r + r_{a1} + r_{a2} + r_{a3} + r_{\kappa}$$

$$x_{\Sigma} = x + x_{a1} + x_{a2} + x_{a3} + x_{\kappa}$$

Струм однофазного КЗ визначають за наближеною формулою:

$$I_{\kappa\text{З}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{z_n + z'_{mp}}$$

де U_{ϕ} – номінальна фазова напруга мережі, В;

z_n – повний опір петлі, створеної фазовим та нульовим проводами, мОм;

z'_{mp} – повне опір трансформатора струму КЗ на корпус, мОм.

Перевірка дії захисту визначається за умовою

$$\frac{I_{\kappa\text{З}}^{(1)}}{I_{н.р}} \geq 3$$

Проводимо розрахунки за вказаними вище формулами та заносимо результати до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перевірка спрацьовування захисту

Параметри	ТМ	SF1	SF5	Кабель перед SF6	Кабель перед SF1	ШМА– 5	Місце КЗ
$S_{ном}, кВА$	63						
$X_0, мОм$	47.7	0	0	0.1	0.18	0.21	
$R_0, мОм$	16.6	0	0	8.35	0.06	0.21	
$R, мОм$	52.0	74.1	74.1	22.06905	0.3	17.57	
$X, мОм$	102.0	102.0	102.0	0.2643	0.9	17.57	
$Z, мОм$	114			22.07	0.95	24.84	
$Z^1, мОм$	1237						
$I_{ном}, А$	144.34	320	100	105		250	
$L, факт. м$				2.64	5	83.66	
$Z_{\Sigma}, мОм$							403.84
$I_{кз}^1, кА$							0.27

Здійснюємо перевірку за умовою (69):

$$\frac{270}{25} \geq 3,$$

$$10.8 \geq 3$$

Обраний захист пройшов перевірку на струми КЗ.

3.6 Висновки до розділу 3

В даному розділі здійснено розрахунок і вибір компенсуючих пристроїв для реактивної потужності, оскільки її коефіцієнт перевищував нормативне значення. Також було здійснено вибір силових трансформаторів для цехової трансформаторної підстанції з урахуванням надійності електропостачання та розрахункової потужності навантаження. Крім того, було розраховано та підібрано пристрої захисту та лінії електропостачання для окремих і груп електроприймачів, включаючи вибір автоматичних вимикачів і кабелів.

Також, було виконано розрахунок струмів к.з. та перевірка дії захисту, що є важливим етапом проектування системи електропостачання.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення це навмисне з'єднання будь-якої частини електроустановки із заземлюючим пристроєм для забезпечення електробезпеки працюючого персоналу.

У разі цеху доцільно використовувати контурне заземлення, як заземлюючий електрод вибираємо сталевий куточок діаметром 50 мм завдовжки 2,6 м.

Визначаємо розрахунковий опір одного вертикального електрода, використовуючи формулу:

$$r_g = 0.3 \cdot \rho \cdot K_{сез.г}$$

де r_g – опір вертикального електрода, Ом;

ρ – питомий опір ґрунту, $Ом \cdot м$; $\rho = 100 \text{ } Ом \cdot м$;

$K_{сез.г}$ – коефіцієнт сезонності, що враховує пересихання та промерзання ґрунту (приймаємо 1,7).

$$r_g = 0.3 \cdot 100 \cdot 1.7 = 51 \text{ } Ом$$

Визначаємо струм замикання для суміщеного заземлення за такою формулою:

$$I_z = \frac{U_{ЛЕП} \cdot (35 \cdot L_{КЛ} + L_{ПЛ})}{350}$$

де $U_{ЛЕП}$ – напруга лінії електропередачі, кВ;

$L_{КЛ}$ – довжина кабельних електричних ліній зв'язку, км;

$L_{ПЛ}$ – довжина повітряних ліній електропередачі, км;

I_z – струм замикання на землю, А.

$$I_z = \frac{10 \cdot (35 \cdot 1 + 7)}{350} = 7.03$$

Визначаємо граничний опір суміщеного заземлювального пристрою:

$$R_{зп1} \leq \frac{125}{I_з}$$

де $I_з$ – струм замикання на землю, А

$R_{зп1}$ – граничний опір суміщеного заземлювального пристрою Ом.

$$R_{зп1} \leq \frac{125}{7.03} = 17.78 \text{ Ом}$$

Необхідний опір заземлення для боку низької напруги мережі з нейтраллю глухозаземленої трансформатора $R_{зп} \leq 4 \text{ Ом}$. Тому приймаємо $R_{зп} = 4 \text{ Ом}$.

Якщо $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то для розрахунку використовуємо таку формулу:

$$R_{зп} \leq 4 \cdot \frac{\rho}{100}$$

де ρ – питомий опір ґрунту, $\text{Ом} \cdot \text{м}$.

В нашому випадку $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ отже, опір дорівнюватиме раніше прийнятому значенню, саме чотирьом.

$$R_{зп} \leq 4 \cdot \frac{100}{100} = 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів без урахування екранування:

$$N'_{\text{в.п}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{зп}}$$

де $R_{зп}$ – необхідний опір заземлення для боку низької напруги, Ом;

$N'_{\text{в.п}}$ – кількість вертикальних електродів без урахування екранування;

$r_{\text{в}}$ – опір одного вертикального електрода, Ом.

$$N'_{\text{в.п}} = \frac{132}{12} = 12.75$$

Приймаємо $N'_{\text{в.п}} = 13$.

Визначаємо кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування:

$$N_{\text{в.п}} = \frac{N'_{\text{в.п}}}{\eta_{\text{в.п}}}$$

де $N'_{\text{в.р}}$ – кількість вертикальних електродів без урахування екранування;

$\eta_{\text{в.р}}$ – коефіцієнт використання вертикального електрода;

$N_{\text{в.р}}$ – кількість вертикальних електродів з обліку екранування.

$$N_{\text{в.р}} = \frac{13}{0.69} = 18.84$$

Для рівномірного розміщення електродів уздовж периметра будівлі приймаємо $N_{\text{в.р}} = 20$.

Розміщуємо заземлювальні пристрої на плані та уточнюємо відстань.

Оскільки контурний заземлюючий пристрій закладається на відстані не менше 1 м від стіни будівлі, то довжина контуру, що заземлює, по периметру будівлі з урахуванням цієї відстані визначається за формулою:

$$L_{\text{к.з}} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2$$

де A – довжина будівлі цеху, м;

B – ширина будівлі цеху, м;

$L_{\text{к.з}}$ – довжина заземлювального контуру, м.кв.

$$L_{\text{к.з}} = (42 + 2) \cdot 2 + (30 + 2) \cdot 2 = 152 \text{ м}$$

Відстань між електродами уточнюється з урахуванням форми об'єкта. По кутах будівлі встановлюємо по одному вертикальному електроду, а електроди, що залишилися, розташовуємо між ними.

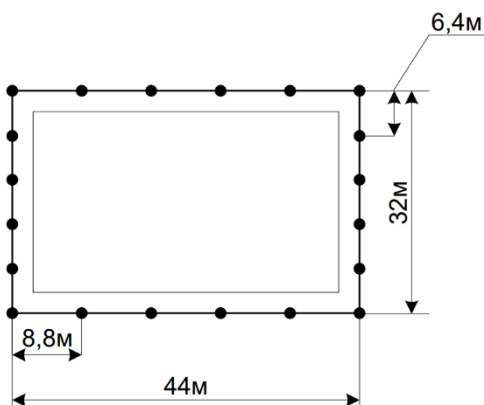


Рисунок 4.1 – План пристрою контурного заземлення будівлі

Визначаємо відстань між електродами по ширині будівлі:

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1}$$

де a_B – відстань між електродами по ширині будівлі, м;

B' – ширина контуру заземлення, м;

n_B – число електродів розташованих по ширині контуру заземлення, шт.

$$a_B = \frac{32}{6 - 1} = 6.4 \text{ м}$$

Визначаємо відстань між електродами по довжині будівлі:

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1}$$

де a_A – відстань між електродами по довжині будівлі, м;

A' – довжина контуру заземлення, м;

n_A – число електродів розташованих по довжині контуру заземлення, шт.

$$a_A = \frac{44}{6 - 1} = 8.8 \text{ м}$$

Для уточнення приймається середнє значення відношення відстані між двома сусідніми вертикальними електродами та довжиною вертикального електрода.

$$\left(\frac{a}{L} \right)_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{a_B + a_A}{L} \right)$$

де L – довжина електрода, м;

a_A – відстань між електродами по довжині будівлі, м;

a_B – відстань між електродами по ширині будівлі, м.

$$\left(\frac{a}{L} \right)_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{8.8 + 6.4}{2.6} \right) = 2.92 \text{ м}$$

За таблицею уточнюємо коефіцієнт використання вертикальних електродів та горизонтальної сполучної смуги:

$$\eta_B = F(19; 2.5) = 0.71$$

$$\eta_\Gamma = F(19; 2.5) = 0.45$$

Визначаємо уточнене значення опорів вертикальних електродів та горизонтальної сполучної смуги.

Опір горизонтальної сполучної лінії розраховується за формулою:

$$r_{\Gamma} = \frac{0.4 \cdot \rho \cdot K_{\text{сез.}\Gamma}}{L_{\text{к.з}} \cdot \eta_{\Gamma}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\text{к.з}}^2}{b \cdot t}$$

де r_{Γ} – опір горизонтальної сполучної смуги, Ом;

$L_{\text{к.з}}$ – довжина заземлюючого контуру, м;

b – ширина смуги сполучного заземлення, м;

t – Глибина закладення сполучної смуги, м;

η_{Γ} – коефіцієнт використання горизонтальної сполучної смуги;

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м;

$K_{\text{сез.}\Gamma}$ – коефіцієнт сезонності, що враховує пересихання і промерзання ґрунту

Як сполучну смугу використовуємо сталеву смугу розміром 50×50 мм.

Глибина залягання горизонтальної смуги в ґрунті приймаємо $t = 0.6$ м.

$$r_{\Gamma} = \frac{0.4 \cdot 100 \cdot 1.7}{152 \cdot 0.45} \cdot \lg \frac{2 \cdot 152^2}{0.05 \cdot 0.6} = 2.93 \text{ м}$$

Визначаємо уточнений опір вертикального електрода з урахуванням коефіцієнта використання

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \cdot \eta_B}$$

де R_B – опір вертикального електрода, Ом;

N_B – кількість вертикальних електродів, шт;

η_B – коефіцієнт використання вертикальних електродів

$$R_B = \frac{51}{20 \cdot 0.69} = 3.70 \text{ Ом}$$

Визначаємо фактичний опір заземлювального пристрою:

$$R_{\text{зн.ф}} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}}$$

де $R_{zn.\phi}$ – фактичний опір заземлювального пристрою, Ом;

R_{Γ} – опір горизонтальної сталевий смуги, Ом;

R_B – опір вертикального електрода, Ом

$$R_{zn.\phi} = \frac{2.93 \cdot 3.7}{2.93 + 3.7} = 1.63 \text{ Ом}$$

Порівнюємо опір фактичного заземлювального пристрою та розрахункового:

$$R_{zn.\phi} \leq R_{zn}$$

$$1.63 < 4 \text{ Ом}$$

Отже, робимо висновок, що заземлення є ефективним.

4.2 Розрахунок блискавкозахисту

Блискавкозахист – це комплекс технологічних заходів спрямованих на запобігання попаданню грозових атмосферних розрядів, з метою уникнення аварійних ситуацій, псування майна та потрапляння в людей.

Очікувана кількість (N) блискавок на рік для будівель та споруд прямокутної форми розраховується за формулою:

$$N = \left[(B + 6h_x) \cdot (A + 6h_x) - 7.7h_x^2 \right] n \cdot 10^{-6}$$

де A – довжина будівлі або споруди, м;

B – ширина будівлі чи споруди, м;

n – середньорічне число ударів блискавок у 1 км^2 земної поверхні у місці знаходження будівлі чи споруди;

h_x – висота споруди, що захищається.

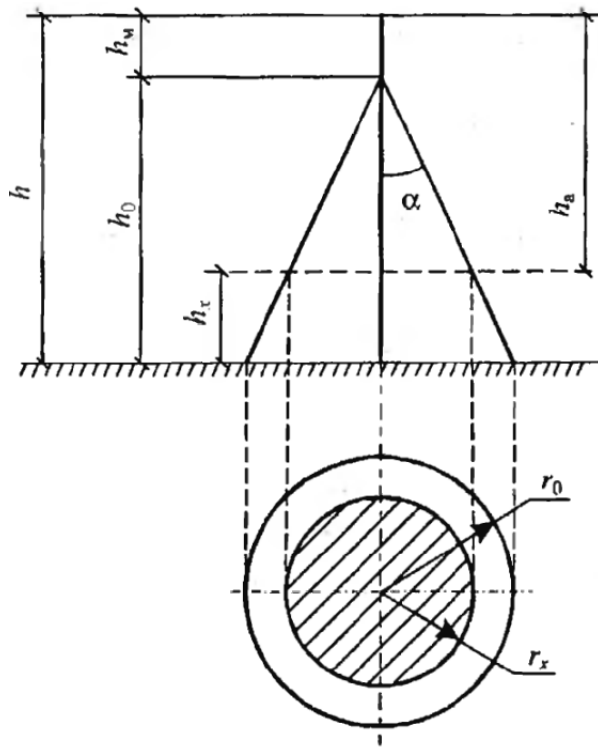


Рисунок 5 – Площа одного блискавковідводу

За наступними формулами для одиночного стрижневого блискавковідводу визначаємо параметри захисту від блискавки для зони «А».

$$h_0 = 0.85 \cdot h$$

де h – загальна висота блискавковідводу, м;

h_0 – висота вершини конуса громовідводу, м.

$$r_0 = (1.1 - 2 \cdot 10^{-3} h) \cdot h$$

де r_0 – радіус захисту на рівні землі, м.

$$h_0 = 0.85 \cdot 45 = 38.25 \text{ м}$$

$$r_0 = (1.1 - 2 \cdot 10^{-3} 45) \cdot 45 = 45.45 \text{ м}$$

$$r_x = (1.1 - 2 \cdot 10^{-3} h) \cdot (h - 1.2 h_x)$$

де r_x – радіус захисту на висоті споруди, що захищається, м

Для розрахунку необхідні такі дані: $A = 42 \text{ м}$, $B = 30 \text{ м}$, $h_x = 7 \text{ м}$.

$$r_x = (1.1 - 2 \cdot 10^{-3} 45) \cdot (40 - 1.2 \cdot 7) = 36.97 \text{ м}$$

$$h_m = h - h_0$$

де h_m – висота стрижня блискавковідводу, м.

$$h_a = h - h_x$$

де h_a – активна висота блискавковідводу, м.

$$h_m = 45 - 38.25 = 6.75 \text{ м}$$

$$h_a = 45 - 7 = 38 \text{ м}$$

Кут захисту можна визначити за формулою:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{r_0}{h_0}\right)$$

де α – кут захисту (між вертикаллю та твірною), градуси.

$$\alpha_A = \arctg\left(\frac{45.45}{38.25}\right) = 49.92^\circ$$

Для зони «Б» одиночного стрижневого блискавковідводу:

$$h_0 = 0.92 \cdot 45 = 41.4 \text{ м}$$

$$r_0 = 1.5 \cdot 45 = 67.5 \text{ м}$$

$$r_x = 1.5 \cdot (45 - 1.1 \cdot 7) = 55.95 \text{ м}$$

$$h_m = 45 - 41.4 = 3.6 \text{ м}$$

$$h_a = 45 - 7 = 38 \text{ м}$$

$$\alpha_A = \arctg\left(\frac{67.5}{41.4}\right) = 58.48^\circ$$

Визначаємо габаритні розміри об'єкта, що захищається в кожній зоні блискавкозахисту.

Зона «А»:

$$A^{(A)} = 2r_x \cdot \cos \varphi^{(A)}$$

$$\varphi^{(A)} = \arcsin\left(\frac{B}{2r_x}\right)$$

$$\varphi^{(A)} = \arcsin\left(\frac{20 / 2}{36.97}\right) = 23.94$$

$$\cos \varphi^{(A)} = \cos 23.94^\circ = 0.91$$

$$A^{(A)} = 2 \cdot 36.97 \cdot 0.91 = 67.28 \text{ м}$$

Зона «Б»:

$$\varphi^{(B)} = \arcsin\left(\frac{20 / 2}{55.95}\right) = 15.55$$

$$\cos \varphi^{(B)} = \cos 15.55^\circ = 0.96$$

$$A^{(B)} = 2 \cdot 55.95 \cdot 0.96 = 107.42 \text{ м}$$

Визначаємо можливе ураження об'єкта, що захищається, в зонах за відсутності блискавкозахисту.

Зона «А»:

$$N = \left[(30 + 6 \cdot 7) \cdot (67.28 + 6 \cdot 7) - 7.7 \cdot 7^2 \right] \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ уражень / рік}$$

Зона «А»:

$$N = \left[(30 + 6 \cdot 7) \cdot (107.42 + 6 \cdot 7) - 7.7 \cdot 7^2 \right] \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 41.5 \cdot 10^{-3} \text{ уражень / рік}$$

У зоні блискавкозахисту Б відбувається більше уражень блискавкою на рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Предметом дослідження є процеси електропостачання інструментального цеху машинобудівного заводу

Метою роботи є проектування ефективної та безпечної системи електропостачання для забезпечення надійної роботи електрообладнання цеху.

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено проєкт системи електропостачання для інструментального цеху машинобудівного заводу.

В процесі проектування були здійснені наступні ключові етапи:

- Розрахунок струмів короткого замикання та максимальних робочих струмів.
- Перевірка та вибір електрообладнання, включаючи трансформатори, компенсуючі пристрої, перетворювальне та комутаційне обладнання.
- Розрахунок робочого освітлення цеху.
- Розробка схеми електропостачання та розрахунок електричних навантажень.
- Компенсація реактивної потужності для підвищення ефективності системи.
- Визначення витрат на реалізацію проєкту та розрахунок терміну окупності.
- Розробка заходів безпеки для працівників цеху, зокрема, блискавкозахисту та контурного заземлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств
3. ДСТУ HD 60364-1:2022 Низьковольтні електричні установки. Частина 1. Основні принципи, оцінювання загальних характеристик, визначення (HD 60364-1:2008/A11:2017, IDT). Зміна № 1:2022
4. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2018. [Чинні з 2019-03-01] / Мін-регіон України. К. : Укрархбудінформ, 2018. 137 с. (Державні будівельні норми України).
5. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 82-83.
6. Бабюк, С. М., Гнилиця, М. Б., & Козак, І. Р. (2024). Аналіз проблем надійності електропостачання промислових підприємств. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 46-47.
7. Бабюк С. М. Вплив відхилення напруги в мережі 0,4 кВ: причини, наслідки та шляхи вирішення проблеми / С. М. Бабюк, С. О. Задорожний, М. П. Красножон // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 210–211.
8. Бабюк, С. М., Приймак, М. Д., & Паськів, Р. В. (2017). Підвищення енергоефективності підприємств за рахунок контролю характеристик режимів електропостачання. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 3, 90-91.

9. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.

10. Світильник ДСП07У. Про компанію «ПІВДЕНЬ СВІТЛО» - Група компаній ПІВДЕНЬ СВІТЛО. URL: <https://svetoteh.com.ua/catalog/svitylnyk-dsp07u/> (дата звернення: 07.05.2025).

11. М.С. Сегеда «Електричні мережі та системи». Підручник - Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.

12. Н.В. Букович, Г.М. Лисяк Розрахунок струмів коротких замикань: навчальний посібник – Львів: Ви-во Львівської політехніки, 2018. – 236 с.

13. ДСТУ EN 62305-3:2021 Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя (EN 62305-3:2011, IDT; ІЕС 62305-3:2010, MOD)

14. Бабюк, С. М., Красножоний, О. В., Барило, В. П., & Брич, Б. В. (2020). Фактори, що впливають на надійність електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 84-85.

15. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.

16. Algorithms for automatic of metrological characteristics of transducers / Serhiy Babiuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Yaroslav Osadtsa // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2022. — Vol 107. — No 3. — P. 67–75.

17. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : Навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик; Вінниц. держ. техн. ун-т. - Вінниця, 2002. - 111 с. 77 23

18. Algorithms for automatic of metrological characteristics of transducers / Serhiy Babiuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Yaroslav Osadtsa // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2022. — Vol 107. — No 3. — P. 67–75.

19. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.

20. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

21. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Зведена відомість навантажень

Найменування РП та електроприймачів	Встановлене навантаження							Середнє навантаження						Максимальне навантаження			
	P_n кВт	n	$P_{n\Sigma}$ кВт	K_ϵ	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{зм}$ кВт	$Q_{зм}$ квар	$S_{зм}$ кВА	n_e	K_m	K'_m	P_m кВт	Q_m квар	S_m кВА	I_m А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РП1																	
Поперечні стругальні верстати	8.5	4	34.00	0.16	0.6	1.33	-	5.44	7.25	9.07	-	-	-	5.44	7.25	9.07	13.78
РП2																	
Одношпиндельні токарні верстати	3.5	4	14	0.16	0.6	1.33	-	2.24	2.99	3.73	-	-	-	2.24	2.99	3.73	5.67
Алмазно- розточувальні верстати	2.2	2	4.4	0.16	0.6	1.33	-	0.704	0.94	1.17	-	-	-	0.704	0.94	1.17	1.78
Токарні верстати	7.5	1	7.5	0.16	0.6	1.33	-	1.2	1.60	2.00	-	-	-	1.2	1.60	2.00	3.04
Всього по РП2	-	7	25.9	0.16	0.60	1.33	3.4	4.144	5.53	6.91	6	2.24	1.1	9.28	6.08	11.10	16.86
РП3																	
Кран-балка	11.62	1	11.62	0.10	0.50	1.73	-	1.16	2.01	2.32	-	-	-	1.16	2.01	2.32	3.53
ШМА 1																	
Вентилятори	4.5	2	9	0.6	0.8	0.75		5.4	4.05								
Наждачні станки	3	6	18	0.16	0.6	1.33		2.88	3.84								
Заточні станки	2.5	6	15	0.16	0.6	1.33		2.4	3.20								
Токарні верстати	7.5	2	15	0.16	0.6	1.33		2.4	3.20								
Горизонтально- фрезерні верстати	9.5	2	19	0.16	0.6	1.33		3.04	4.05								
ВСЬОГО ПО ШМА 1	-	30	147.52	0.18	0.63	1.23	5.3	26.87	33.13	42.66	29	1.4	1.0	37.61	33.13	50.13	76.16

продовження таблиці А.1

Найменування РП та електроприймачів	Встановлене навантаження							Середнє навантаження						Максимальне навантаження			
	P_n кВт	n	$P_{n\Sigma}$ кВт	K_ϵ	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	m	$P_{зм}$ кВт	$Q_{зм}$ квар	$S_{зм}$ кВА	n_e	$K_{,м}$	$K'_{,м}$	$P_{,м}$ кВт	$Q_{,м}$ квар	$S_{,м}$ кВА	$I_{,м}$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РП4																	
Алмазно-розточувальні верстати	2.2	2	4.4	0.16	0.6	1.33	-	0.704	0.94	1.17	-	-	-	0.704	0.94	1.17	1.78
Токарні верстати	7.5	1	7.5	0.16	0.6	1.33	-	1.2	1.60	2.00	-	-	-	1.2	1.60	2.00	3.04
Горизонтально-фрезерні верстати	9.5	2	19	0.16	0.6	1.33	-	3.04	4.05	5.07	-	-	-	3.04	4.05	5.07	7.70
Одношпindelні токарні верстати	3.5	2	7	0.16	0.6	1.33	-	1.12	1.49	1.87	-	-	-	1.12	1.49	1.87	2.84
ВСЬОГО ПО РП4	-	7	37.9	0.16	0.78	0.80	4.3	6.064	8.09	10.11	7	2.1	1.1	12.73	8.89	15.53	23.60
ШМА 2																	
Револьверні токарні верстати	2.8	11	30.8	0.16	0.6	1.33		4.928	6.57								
Горизонтально-фрезерні верстати	9.5	4	38	0.16	0.6	1.33		6.08	8.11								
Алмазно-розточувальні верстати	2.2	3	6.6	0.16	0.6	1.33		1.056	1.41								
Токарні верстати	7.5	3	22.5	0.16	0.6	1.33		3.6	4.80								
Всього по ШМА2	-	28	135.8	0.16	0.60	0.80	4.3	21.73	28.97	36.21	27	1.46	1.0	31.72	28.97	42.96	65.27
ЩО	-	-	8.775	0.85	0.95	0.33	-	7.46	2.45	7.85	-	-	-	7.46	2.45	7.85	11.93
Всього на ШПН					0.66	1.15		56.05	64.56	85.50	-	-	-	76.79	64.56	100.32	152.43
Втрати														1.54	6.46	6.64	-
Всього на ВН														78.33	71.01	114.19	-

Додаток Б

Таблиця Б.1– Зведена відомість електропостачання електроприймачів

Розподільчий пристрій		Електроприймачі					Апарати захисту					Лінія електропостачання		
Тип	I_n, A	№ п/п	Найменування	N	$P_n, кВт$	I_n, A	Тип	$I_{на}, A$	$I_{нр}, A$	$I_{min.вст}, A$	K_0	Марка	$I_{доп}, A$	$L, м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП1	13.78	-	РП1/ПР11-3008 50А	-	34.00	101.29	ВА57Ф35 34	125	125	800	8	АВВГ-1 (4 х 35)	40	4.30
		33-36	Поперечно-стругальні верстати	4	8.50	25.32	ВА57Ф35 34	40	40	250	8	АВВГ-1 (4 х 16)	55	53.63
РП2	25.61	-	РП2/ПР11-3008 50А	-	-	-	ВА57Ф35 34	40	40	250	6	АВВГ-1 (4 х 10)	40	4.93
		25. 26. 28. 29	Одношпиндельні автомати токарні	4	3.5	10.43	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ-1 (4 х 2.5)	19	26.77
		24.27	Алмазно-розточувальні верстати	2	2.2	6.55	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ-1 (4 х 2.5)	19	27.95
		30	Токарні автомати	1	7.5	22.34	ВА57Ф35 34	31.5	31.5	160	5	АВВГ-1 (4 х 10)	39	9.43
РП3	25.61	-	РП3/ПР11-3008 50А		-	-	ВА57Ф35 34	25	25	250	10	АВВГ-1 (4 х 6)	30	5.50
		58	Кран-балка	1	11.62	17.65	ВА57Ф35 34	25	25	250	10	АВВГ-1 (4 х 6)	30	2.64

Продовження таблиці Б.1

Розподільчий пристрій		Електроприймачі					Апарати захисту					Лінія електропостачання		
Тип	I_n, A	№ п/п	Найменування	N	$P_n, кВт$	I_n, A	Тип	$I_{на}, A$	$I_{нр}, A$	$I_{min.вст}, A$	K_0	Марка	$I_{доп}, A$	$L, м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШМА1	76.16	-	ШМА 5 - 250	-	147.52	76.16	ВА57Ф35 34	160	160	1000	4	-	250	83.66
		4. 5	Вентилятори	2	4.5	10.05	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	3.00
		9. 10. 11. 12	Наждакові верстати	6	3	8.94	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	14.40
		25. 26. 28	Заточувальні верстати	6	2.5	7.45	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	14.40
		30	Токарні автомати	2	7.5	22.34	ВА57Ф35 34	31.5	31.5	160	6	АВВГ-1 (4 x 10)	39	2.80
		18	Горизонтально- фрезерні верстати	2	9.5	28.30	ВА57Ф35 34	40	40	250	8	АВВГ-1 (4 x 16)	55	25.00
РП4	35.86	-	РПЗ/ПР11-3016 63А	-	-	-	ВА57Ф35 34	50	50	500	6	АВВГ-1 (4 x 16)	55	10.4
		49. 50	Алмазно- розточувальні верстати	2	2.2	6.55	ВА57Ф35 34	16	16	80	6	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	16.3
		56	Токарні автомати	1	7.5	22.34	ВА57Ф35 34	25	25	250	6	АВВГ-1 (4 x 6)	30	11
		53. 54	Горизонтально- фрезерні верстати	2	9.5	28.30	ВА57Ф35 34	31.5	31.5	320	10	АВВГ-1 (4 x 10)	39	12.7
		51. 52	Одношпиндельні автомати токарні	2	3.5	10.43	ВА57Ф35 34	16	16	80	6	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	15.8

продовження таблиці Б.1

Розподільчий пристрій		Електроприймачі					Апарати захисту					Лінія електропостачання		
Тип	I_n, A	№ п/п	Найменування	N	$P_n, кВт$	I_n, A	Тип	$I_{на}, A$	$I_{нр}, A$	$I_{\min.вст}, A$	K_0	Марка	$I_{доd}, A$	$L, м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШМА2	35.86	-	ШМА 5 - 250		135.8	65.27	ВА57Ф35 34	100	100	500	6	-	250	44.2
		13-18. 39-41	Токарно-револьверні верстати	1 1	2.80	8.34	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	46.9
		37. 38. 42.43	Горизонтально-фрезерні верстати	4	9.50	28.30	ВА57Ф35 34	31.5	31.5	320	10	АВВГ-1 (4 x 10)	39	16.7
		44-46	Алмазно-розточувальні верстати	3	2.20	6.55	ВА57Ф35 34	16	16	80	6	АВВГ-1 (4 x 2.5)	19	13.7
		19-21	Токарні автомати	3	7.50	22.34	ВА57Ф35 34	25	25	250	10	АВВГ-1 (4 x 10)	30	25.5
ЩО	23.39	-	Освітлення	-	8.775	23.39	ВА57Ф35 34	31.5	31.5	400	10	АВВГ-1 (4 x 16)	55	-
-	-	-	Трансформатор	2	-	90.93	ВА57Ф35 34	250	250	500.00	10	АВВГ-1 (4 x 185)	365	128