

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерно-технологічний  
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

Чепіжний А.В.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція систем електрифікації виробничого приміщення ТОВ  
«БК Федорченко» з розробкою автоматизованої системи вентиляції  
приміщення»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Майборода О.В.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ЕТЕС 2101

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Юрченко О.Ю.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

\_\_\_\_\_ **Чепіжний А.В.**

“\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Майбороді Олегу Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція систем електрифікації виробничого приміщення ТОВ «БВК Федорченко» з розробкою автоматизованої системи вентиляції приміщення,

керівник роботи: Юрченко Олександр Юрійович, доктор філософії,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року  
№ \_\_\_\_\_

2. Строк подання здобувачем роботи: “\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали з вентиляції приміщень, автоматизації процесів, технічна література, нормативна документація, державні стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз господарської діяльності об'єкту, технологічна частина, проектування автоматизації технологічних процесів, світлотехнічний розділ, питань з охорони праці, техніко-економічні розрахунки та показники проекту, висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

План розташування світильників виробничого цеху. Схема електрична розташування;

Схема принципова 10 та 0.4 КВ. Схема електрична принципова;

Автоматизована система керування вентиляційною установкою . Схема електрична монтажна;

Автоматизована система керування вентиляційною установкою . Схема електрична принципова;

Показники техніко-економічні. Таблиця

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічне обґрунтування			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_ року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	12.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	02.10.2024 р. – 02.12.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	02.10.2024 р. – 02.12.2024 р.	
4.	Написання вступу	04.12.2024 р. – 09.12.2024 р.	
5.	Підготовка розділу 1	11.12.2024 р. – 21.12.2024 р.	
6.	Підготовка розділу 2	05.02.2025 р. – 02.03.2025 р.	
7.	Підготовка розділу 3	04.03.2025 р. – 06.04.2025 р.	
8.	Підготовка розділу 4, 5	08.04.2025 р. – 04.05.2025 р.	
9.	Підготовка розділу 6, 7	06.05.2025 р. – 11.05.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	11.05.2025 р. – 12.05.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	

**Здобувач вищої освіти** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Майборода О.В.**  
(прізвище та ініціали)

**Керівник кваліфікаційної роботи** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Юрченко О.Ю.**  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Майборода О.В. «Реконструкція систем електрифікації виробничого приміщення ТОВ «БВК Федорченко» з розробкою автоматизованої системи вентиляції приміщення». Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет. Інженерно-технологічний факультет, група ЕТЕС 2101. – м. Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі здійснено комплексний підхід до реконструкції системи електрифікації виробничого приміщення сучасного підприємства ТОВ «БВК Федорченко». Особливу увагу приділено модернізації внутрішньоцехових електричних мереж та розробці автоматизованої системи вентиляції, що є важливою складовою забезпечення ефективної та безпечної експлуатації промислових об'єктів. У роботі проведено аналіз існуючого стану електропостачання, обґрунтовано доцільність використання сучасних технологій автоматизації, розроблено технічні рішення з оптимізації розподілу електроенергії та її обліку. Розглянуто вибір трансформаторного обладнання, кабельних мереж, захисної апаратури, виконано відповідні енергетичні та вентиляційні розрахунки.

Розроблена автоматизована система вентиляції враховує технологічні особливості об'єкта та спрямована на забезпечення комфортного мікроклімату, енергоефективності та надійності. Робота містить функціональні й принципові схеми автоматизації, техніко-економічні розрахунки, аналіз відповідності сучасним нормам охорони праці та енергетичної безпеки.

**Ключові слова:** реконструкція електрифікації, автоматизація вентиляції, силове електрообладнання, промислове електропостачання, енергоефективність, техніко-енергетичний аналіз.

## ABSTRACT

Maiboroda O.V. “Reconstruction of the electrification system of the production facility of LLC ‘BVK Fedorchenko’ with the development of an automated ventilation system.” Specialty 141 – “Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics.” Sumy National Agrarian University, Faculty of Engineering and Technology, group ETES 2101. – Sumy, 2025.

This qualification work presents a comprehensive approach to the reconstruction of the electrification system of a modern industrial facility operated by LLC “BVK Fedorchenko.” Particular attention is paid to the modernization of internal workshop electrical networks and the development of an automated ventilation system, which is a key component in ensuring efficient and safe operation of industrial sites. The project includes an analysis of the current state of power supply, justification for the use of modern automation technologies, and the development of technical solutions for optimizing energy distribution and accounting. The study also examines the selection of transformer equipment, cable networks, and protective devices, along with performing relevant power and ventilation calculations.

The designed automated ventilation system takes into account the technological features of the facility and aims to ensure a comfortable microclimate, energy efficiency, and operational reliability. The project includes functional and schematic diagrams of automation, techno-economic calculations, and an analysis of compliance with modern occupational safety and energy security standards.

**Keywords:** electrification reconstruction, ventilation automation, power equipment, industrial power supply, energy efficiency, techno-energetic analysis.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТУ .....	9
1.1. Загальна характеристика об'єкту .....	9
1.2. Аналіз господарської діяльності об'єкту .....	11
1.3. Аналіз стану електрифікації.....	12
1.4. Висновки та пропозиції.....	13
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	14
2.1. Опис прийнятої технології виробництва .....	14
2.2. Опис виробничих приміщень та розташування технологічного обладнання .....	15
2.3. Складання паспортних даних стандартного технологічного обладнання ...	17
2.4. Формування технічних вимог до проекту електрифікації та визначення узагальненої концепції його реалізації .....	18
3. ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК І ПІДБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДАННЯ .....	19
3.1. Підбір силового електрообладнання для типового комплексу технологічних машин і установок.....	19
3.2. Розрахунок вентиляції та опалення, вибір вентиляторів, привідних електродвигунів, електрокалориферів та інших нагрівних пристроїв .....	21
3.3. Складання схеми розташування силового електрообладнання .....	22
4. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	24
4.1. Опис технологічного процесу та складання технологічних вимог до проекту автоматизації.....	24
4.2. Визначення переліку параметрів, які підлягають контролю та автоматичному регулюванню в процесі експлуатації системи. ....	25
5. ПРОЕКТУВАННЯ ВНУТРИШНЬОЇ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ .....	27
5.1. Розрахункових навантажень на окремих ділянках внутрішньої силової електричної мережі .....	27

5.2	Вибір марки, способу прокладання та перерізу проводів і кабелів .....	29
5.3	Вибір перерізу розподільної мережі напругою до 1 кВ.....	36
5.4	Вибір магнітних пускачів, автоматичних вимикачів та запобіжників для окремо керованих силових електроприймачів.....	37
5.5	Вибір перерізів провідників для електромереж до 1 кВ відповідно до параметрів захисних пристроїв.....	43
5.6	Вибір силових розподільних шаф .....	44
6.	ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ .....	46
6.1	Системи освітлення.....	46
6.2	Види освітлення за функціональним призначенням .....	46
6.3	Джерела світла.....	48
6.4	Вибір типів і розміщення світильників.....	49
6.5	Розрахунок освітлювальної установки робочого освітлення .....	49
6.6	Вибір джерел живлення для мереж робочого освітлення.....	57
6.7	Перевірка вибраного провідника за втратою напруги .....	61
6.8	Узгодження вибраних перерізів з апаратами захисту .....	63
7.	ПРОЕКТУВАННЯ ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	65
7.1	Вимоги техніки безпеки при електричних випробуваннях в діючих електроустановках. Роботи з мегомметром та електровимірювальними приладами .....	68
7.2	Роботи з електровимірювальними кліщами та вимірювальними штангами	70
7.3	Роботи з імпульсним вимірником ліній.....	71
	ВИСНОВКИ.....	72
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	73

## ВСТУП

Система електропостачання (СЕП) це сукупність електроустановок призначених для забезпечення споживачів електроенергією. Внутрішньоцехове СЕП виступає ключовою частиною внутрішньої системи електропостачання промислового підприємства.

У внутрішньоцеховій СЕП джерелом електропостачання є цехова трансформаторна підстанція (ТП), а приймальними пунктами в свою чергу є силові розподільні шафи (СРШ) та алюмінієві шинопроводи розподільного типу (ШРА).

До основних електроприймачів на підприємствах різного характеру є електродвигуни виробничих механізмів, електротехнологічні установки, перетворювальне обладнання та освітлювальні пристрої.

У цехових мережах застосовуються пункти розподілу електроенергії (ПРЕ), комплектні трансформаторні підстанції (КТП), а також силові та освітлювальні шинопроводи. Використання комплектного електрообладнання, вибір найбільш раціональної компоновки й конструктивне виконання цехових мереж сприяють досягненню безпечного обслуговування і ремонту, належного рівня локалізації пошкоджень та високої експлуатаційної надійності.

Метою виконання даної кваліфікаційної роботи з цеховою силовою електричною мережею яка відповідає наступним вимогам:

- забезпечити належний рівень електробезпеки як для працівників цеху, так і для електротехнічного обслуговуючого персоналу;
- гарантувати селективність роботи захисних пристроїв;
- відповідати вимогам надійності електропостачання згідно з визначеною категорією;
- мінімізувати витрати на реалізацію;
- бути зручною у використанні та зрозумілою для обслуговування;
- враховувати умови навколишнього середовища;

## 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТУ

### 1.1. Загальна характеристика об'єкту

Починаючи з 2002 року на підприємстві ТОВ "БВК компанія "Федорченко" з'явився новий структурний підрозділ — завод залізобетонних виробів. Дане підприємство спеціалізується на виготовленні товарного бетону різних марок, будівельних розчинів, залізобетонних конструкцій як серійного, так і унікального або індивідуального різноманіття продукції але також продукції з арматурної сталі.

Асортимент заводу включає:

- будівельні розчини;
- бетонні суміші;
- арматурні сітки для залізобетонних конструкцій;
- металеві вироби: решітки, двері та інші конструкції;
- залізобетонні плити перекриття;
- балконні та лоджійні плити;
- ригелі, колони та сходові елементи;
- залізобетонні фундаменти для збірних колон сільськогосподарських будівель і каркасних конструкцій;
- армовані кільця та бордюри (як армовані, так і неармовані);
- залізобетонні сходи, площадки та марші;
- плити теплотрас, у тому числі добірні;
- низьковуглецевий дріт;
- залізобетонні перемички;
- фундаментні подушки та стакани;
- бетонні блоки;
- залізобетонні палі;
- підвіконні плити;
- стінові залізобетонні панелі (з легкого бетону для промислових будівель).

В жовтні 2012 року на підприємстві відкрили ще один новий підрозділ із оновленим бетонорозчинним вузлом, оснащеним обладнанням відомої німецької фірми ELBA-WERK. Перевагою даної енергоефективної технології дозволяє прискорити процес виготовлення залізобетонної продукції та має значний вплив на її якість. На даний час продукція дотримується європейських стандартів.

На початку липня 2013 року на заводі було введено в експлуатацію новий цех та була введена в дію сучасна автоматизована лінія з виробництва пустотних залізобетонних плит. Особливістю даної технології є система що складається з двох 100-метрових виробничих доріжок, що в свою чергу дає змогу виготовляти до 50 тисяч квадратних метрів плит щорічно. Електрообладнання для цієї виробничої лінії було створено на замовлення підприємства "Федорченко" британською фірмою Spiroll. Дана технологія є унікальною для України, яка характеризується високою ефективністю: на виготовлення 1,5 метра плити потрібно лише хвилина роботи. При цьому в процесі задіяно шість осіб.

Передові технології лінії дають змогу виробляти плити будь-якої довжини. Асортимент продукції має високу міцність, щільність та винятково рівну поверхню. Технологія Spiroll використовує суху бетонну суміш із меншим споживанням цементу, що дозволяє значно знизити витрати сировини та енергоресурсів, в кінцевому випадку і собівартість продукту.

Контроль якості виробів здійснюється у виробничій акредитованій лабораторії заводу із застосуванням сучасного вимірювального та випробувального обладнання. Завдяки цьому продукція компанії відзначається довговічністю, надійністю й високим рівнем якості.

Своєчасність виконання замовлень та безперервний виробничий процес гарантуються завдяки злагодженій роботі професійного колективу.

## 1.2. Аналіз господарської діяльності об'єкту

Будівельна виробничо-комерційна компанія «Федорченко» — це багатопрофільне підприємство, що об'єднує будівництво та власне виробництво будматеріалів. До ключових структур компанії входять:

- Інститут «Сумигорстройпроект»
- Завод залізобетонних виробів
- Завод з виготовлення будівельної цегли
- Столярне та ПВХ-виробнича ділниця
- Підрозділи з капітального будівництва та ремонту основних фондів
- Транспортний відділ.

Такий підхід дає змогу компанії виконувати всі етапи зведення будівель - від проектування до здачі об'єктів "під ключ".

Інститут «Сумигорстройпроект» відповідає за розробку проектно-кошторисної документації, створення та затвердження проектів, а також авторський нагляд за їх реалізацією. Подальші етапи виконують виробничі підрозділи, які займаються виготовленням будівельних матеріалів і конструкцій, а також безпосередньо будівельними роботами.

Компанія має сучасний завод з виготовлення будівельної цегли, який випускає керамічну цеглу марок М-75 і М-100. У 2002 році було відкрито завод залізобетонних виробів, де виробляють багатомарочний товарний бетон, розчини будівельні, конструкції залізобетонні (серійні, індивідуальні та унікальні), а також вироби з арматурної сталі.

Для забезпечення сировиною своїх підприємств компанія володіє двома кар'єрами: із видобутку глини в селі В.Піщане та піску в урочищі "Коптіївщина" біля "Голубих озер".

У столярному цеху виготовляють дерев'яні вироби з урахуванням індивідуальних побажань клієнтів, а також металопластикові вікна, балконні рами та двері.

Будівельні роботи виконують 10 спеціалізованих дільниць. Сім із них займаються зведенням об'єктів "з нуля", а завершальні й оздоблювальні роботи виконують інші підрозділи компанії.

Транспортне відділення забезпечує логістичні потреби компанії. У його розпорядженні є вся необхідна техніка для своєчасного постачання матеріалів на будмайданчики та забезпечення будівельного процесу, включаючи баштові крани й інше обладнання.



Рис. 1.1 Виробничий цех підприємства

### **1.3. Аналіз стану електрифікації**

Електропостачання підприємства здійснюється від ВРП 110/10 кВ через повітряні лінії електропередач 10 кВ, які виконані проводом марки АС, та закріплені на залізобетонних опорах. Оскільки серед споживачів заводу є об'єкти II-ї категорії електропостачання, на території підприємства розташована двотрансформаторна підстанція з напругою 10/0,4 кВ і потужністю  $S = 1000$  кВА.

Постачання електроенергії з напругою 0,4 кВ забезпечується кабельними лініями, які прокладені у траншеях. На території підприємства також розміщені вузли обліку електроенергії — технічний та комерційний, що працюють на боці напруги 0,4 кВ.

До основних електроприймачів належать кран-балки, верстати різного призначення, переносне та стаціонарне зварювальне обладнання, а також ручний електроінструмент.

#### **1.4. Висновки та пропозиції**

У результаті аналізу встановлено, що система електрифікації підприємства перебуває в задовільному стані. Це пов'язано з тим, що підприємство є відносно новим, а його електрообладнання ще не має суттєвого зносу і забезпечує надійну роботу виробничого процесу.

Проте з урахуванням розвитку сучасних технологій у сфері електропостачання та автоматизації, виникає потреба у вдосконаленні існуючих рішень. Новітнє обладнання дозволяє знизити енергоспоживання, покращити керування процесами та підвищити загальну ефективність роботи підприємства.

У зв'язку з цим прийнято рішення про реконструкцію системи електрифікації з одночасною модернізацією автоматизованої системи керування. Це дозволить оптимізувати виробничі процеси, зменшити витрати і підвищити надійність енергопостачання.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Опис прийнятої технології виробництва

Технологія виготовлення червоної будівельної цегли ґрунтується, перш за все, на використанні глини, яка повинна бути вільною від вапнякових домішок та інших небажаних включень. Ця сировина має характеризуватися доброю формувальністю, а також легкістю сушіння та якісного обпалювання. Проте у природному середовищі рідко трапляється глина з такими ідеальними властивостями. Для поліпшення характеристик готової цегли та економії палива до глиняної суміші додають певну кількість додаткових матеріалів. Серед них — пісок, тирса, лушпиння соняшника, подрібнена солома (зокрема просяна або гречана), а також порода, яка видобувається разом із кам'яним вугіллям. Важливо враховувати, що надмірна кількість цих добавок може негативно вплинути на міцність та якість кінцевого виробу.

Таким чином, основною сировиною для виробництва червоної будівельної цегли є глина, доповнена допоміжними матеріалами для оптимізації характеристик та ефективності процесу. Зокрема, серед таких додатків важливу роль відіграє кам'яновугільна порода.

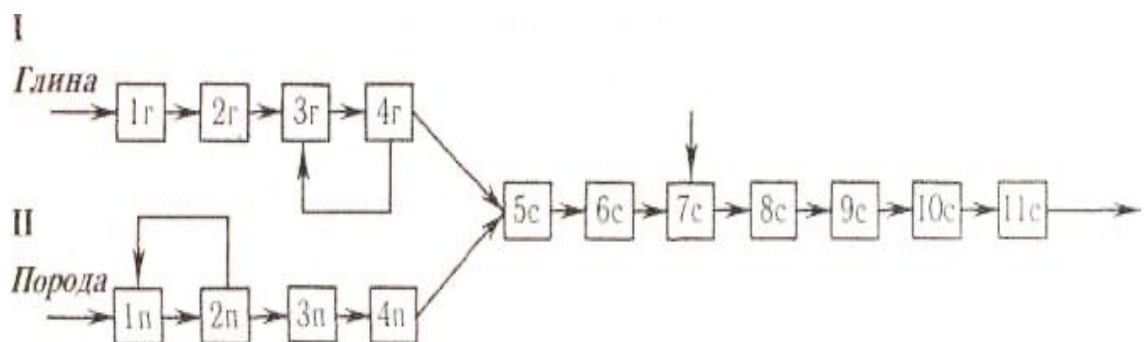


Рис. 2.1 Технологічна система виробництва цегли

Процес виробництва розділений на дві ключові підсистеми:

Перша підсистема займається підготовкою глини. Глина, видобута в кар'єрі, доставляється на майданчик, де її попередньо розпушують (1г). Далі

вона витримується на майданчику від 6 до 12 місяців для покращення її технічних характеристик (2г).

Після цього матеріал подрібнюють вальцями (3г) та сортують за розміром частинок за допомогою решіт (4г). Друга підсистема відповідає за обробку породи. Спочатку породу відправляють у спеціальні пристрої для первинного подрібнення (1п), після чого її сортують на решетах за розміром (2п). Крупні фракції, розміром 50–150 мм, висушуються в сушарках (3п), а потім додатково подрібнюються в інший тип дробарок для отримання дрібніших фракцій (4п).

Підготовлені компоненти з'єднують у змішувачі (5с). Отриманій суміші надають однорідності за допомогою вальців для подрібнення (6с). Далі масу передають у змішувач (7с), куди додають воду та за необхідності додаткові компоненти, формуючи глиняну масу з вологістю 18–23%.

Отримана маса проходить через прес, де її формують у бруси потрібної форми та розміру (8с). Бруси нарізають струнами на окремі цеглини (9с), які складаються на рами та транспортуються до сушарень (10с). Сушіння здійснюється на відкритому повітрі під навісом або в спеціалізованих сушарках і триває від 6 до 25 днів. Відповідно, вологість матеріалу знижується до 6–8%.

Після сушіння цеглу перенавантажують на платформи й транспортують до тунельної печі для випалювання (11с). Випалювання виконується при температурі 1000–1100 °С протягом 28 годин. Кожні 40 хвилин платформи пересуваються в гарячіші зони печі для забезпечення рівномірного прогріву. Готова випалена цегла охолоджується на повітрі, сортується і доставляється споживачам [2].

## **2.2. Опис виробничих приміщень та розташування технологічного обладнання**

Метод пластичного формування відкриває можливість виготовлення широкого асортименту цегли. Завершуючи ознайомлення з процесом створення глиняного виробу, варто детальніше розглянути фінальний етап — випал.

Сира цегла завантажується у піч із залишковою вологістю. Зазвичай, випал партії триває від 6 до 8 годин. Після цього етапу структура матеріалу зазнає суттєвих змін: цегла набуває міцності, стаючи стійкою до впливу води, перепадів температур та іншого зовнішнього середовища, при цьому зберігаючи низку корисних властивостей. Особливо варто відзначити роль пустот у структурі цегли.

Їх наявність не лише позитивно впливає на її якість, зменшуючи вагу та теплопровідність, але й оптимізує виробничий процес. Пустоти сприяють більш швидкому та рівномірному прогріванню матеріалу, що значно прискорює його сушіння. Це, своєю чергою, дозволяє зменшити витрати пального на етапах сушіння й випалу, підвищуючи економічну ефективність усього процесу виготовлення [3].

На завершальному етапі підготовлена керамічна цегла потрапляє на склад готової продукції, де чекає на своє призначення — стати надійним будівельним матеріалом для створення нових житлових об'єктів. Цей матеріал відкриває широкі можливості будівництва: від простих парканів і гаражів до елегантних котеджів та багатоповерхових споруд.

Облицювальна керамічна цегла відзначається стійкістю до будь-яких погодних умов, додаючи спорудам природного вигляду та естетичності. Процес її виготовлення базується на дотриманні технологічної послідовності, що складається із кількох основних етапів:

- підготовки необхідних складників;
- обробки вапняних і піщаних компонентів;
- приготування суміші;
- гасіння вапна в складі суміші; - формування заготовок цегли;
- обробки виробів в автоклаві; - контролю якості та зберігання готової продукції.

Для реалізації виробничого циклу використовується спеціалізоване обладнання:

- дробарка тріскового типу для подрібнення великих частинок сировини; - норія або вертикальний транспортер для переміщення матеріалів на потрібну висоту;
- силоси для проведення гасіння вапна;
- кульовий млин, який забезпечує приготування однорідної вапняно-піщаної суміші;
- силос для піску, що використовується під час змішування компонентів; - стрічкові живильники для транспортування сипких матеріалів;
- дозуючий агрегат, який гарантує точність пропорцій складників у процесі подачі;
- двовалковий змішувач для ретельного перемішування сумішей; - стрічковий конвеєр для транспортування як сировини, так і готової продукції; - завантажувальний міст для подачі сировини в автоклав;
- гідравлічний прес для формування цегли заданої форми;
- автоклав як основний агрегат для остаточного затвердіння виробів під впливом високої температури й тиску [4].

### 2.3. Складання паспортних даних стандартного технологічного обладнання

Таблиця 2.1. – Електроприймачі цеху виготовлення

Найменування	Кількість	$P_n$ , кВт	$K_g$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Категорії надійності
1	2	3	4	5	6	7
Дробарка	3	17,5	0,12	0,5	1,732	II
Спеціальний транспортер	3	12,5	0,6	0,7	1,02	II
Силосний апарат	4	12,5	0,12	0,5	1,732	II
Млин кульового типу	4	17,5	0,12	0,5	1,732	II
Піщаний силосний апарат	2	7,5	0,12	0,5	1,732	II

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
Стрічковий живильник	3	40	0,12	0,5	1,732	П
Дозуюча установка	2	2,2	0,6	0,7	1,02	П
Змішувач двовалкового типу	3	15	0,75	0,95	0,329	П
Кран-балка	2	5,5	0,6	0,7	1,02	П
Автоклав	1	4	0,12	0,5	1,732	П
Піч	1	12	0,7	0,8	0,75	П

#### **2.4. Формування технічних вимог до проєкту електрифікації та визначення узагальненої концепції його реалізації**

Під час проєктування систем електрифікації та автоматизації в агровиробництві важливо чітко уявляти баланс матеріальних і енергетичних потоків, необхідних для функціонування об'єкта. Основу для таких розрахунків становлять показники виробничої діяльності, серед яких обсяги аграрної продукції, чисельність і продуктивність худоби та птиці, площі теплиць і прогнозовані врожаї. Також враховуються параметри зберігання й переробки сільськогосподарської продукції, вторинної сировини та кормів. Усі ці дані

визначають масштаби та конфігурацію виробничої інфраструктури, перелік необхідного електротехнічного й технологічного обладнання, а також рівень споживання основних ресурсів: електроенергії, тепла, холодоагентів, пари, води, стисненого повітря тощо [5].

### 3. ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК І ПІДБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДАННЯ

#### 3.1. Підбір силового електрообладнання для типового комплексу технологічних машин і установок

У зв'язку з тим, що всі електроприймачі цеху з виробництва цегли належать до другої категорії надійності електропостачання, для їх живлення передбачено застосування двотрансформаторної підстанції.

Завантажувальний коефіцієнт трансформатора визначається з урахуванням вимог резервування та допустимої перевантажувальної здатності обладнання. На практичних розрахунках для таких ПС приймається такий коефіцієнт завантаження:  $\beta_T = 0,7$

Вибір потужності трансформатора відбувається за навантаженням цехової ТП.

Трансформаторна номінальна потужність цехової ТП вибирається за формулою

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.ТП}}}{N_T \beta_T}, \text{ кВА}, \quad (3.1)$$

де  $S_{\text{ном.т.р}}$  – трансформаторна розрахункова потужність (повна), кВА;

$N_T$  – трансформаторна к-сть цехової підстанції;

$\beta_T$  – завантажувальний коефіцієнт трансформатора цехової підстанції.

За формулою (3.1) номінальна потужність трансформатора цехової підстанції:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{785,4}{2 \cdot 0,7} = 561 \text{ кВА.}$$

Так як похибка розрахунку коливається в межах  $\pm 10\%$ , тому береться два трансформатори  $S_{\text{ном.т}} = 630$  кВА типу ТМЗ-630/10.

Технічні дані для вибраного трансформатора наводяться в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальні характеристики двохобмоткових трифазних масляних трансформаторів на 10/0,4 кВ для комплектних трансформаторних підстанцій

Тип	Номинальна потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМЗ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	1,8

Для забезпечення потрібного коефіцієнта завантаження  $\beta_T$  формула визначає максимальну реактивну потужність, яку раціонально передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 0,4 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \text{ квар}, \quad (3.2)$$

де  $S_{\text{ном.Т}}$  – значення повної номінальної потужності трансформатора цехової підстанції, кВА.

Для низьковольтних конденсаторних установок (НКУ) з конденсаторами, розрахованими на номінальну напругу 0,4 кВ, потужність визначається як

$$Q_{\text{НКУ}} = Q_{\text{р.ТП}} - Q_T, \text{ квар}, \quad (3.3)$$

де  $Q_{\text{р.ТП}}$  – розрахункове реактивне навантаження цехової ТП.

За формулами (3.2) - (3.3) відповідно

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 785,4^2} = 401,3 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{н.к}} = 864,4 - 401,3 = 463,1 \text{ квар}.$$

За результатами розрахунку для цехової КТП вибираються найближчі за стандартною величиною потужності дві комплектні конденсаторні установки (ККУ) типу УКРП-0,4-240-20УЗ.

Перекомпенсована реактивна потужність становить

$$Q'_{\text{пер}} = 2 \cdot 240 - 463,1 = 19 \text{ квар}.$$

### 3.2. Розрахунок вентиляції та опалення, вибір вентиляторів, привідних електродвигунів, електрокалориферів та інших нагрівних пристроїв

Номінальний струм електродвигуна вентилятора  $I_{н.дв}$ , А, визначається за формулою

$$I_{н.дв} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta_n} \quad (3.4)$$

$$I_{н.дв} = \frac{14}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 35,71 \text{ А}$$

Пусковий струм  $I_{пуск}$ , А, визначається за формулою

$$I_{пуск} = \lambda_n \cdot I_n \quad (3.5)$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot 35,71 = 178,5 \text{ А}$$

Обирається провід АПВ-3 (1×16) з допустимим струмом  $I_{дон} = 60 \text{ А}$ .

Значення струму спрацювання теплового розчеплювача автоматичного вимикача  $I_{сп.тр}$ , А, повинне відповідати встановленим умовам.

$$I_{сп.тр} > 1,25 \cdot I_n = 1,25 \cdot 35,71 = 44,63 \text{ А} \quad (3.6)$$

В якості захисного пристрою вибрано автоматичний вимикач серії ВА47-29 з номінальним струмом  $I_n = 63 \text{ А}$ , при цьому струм спрацювання його теплового розчеплювача становить  $I_{н.тр} = 50 \text{ А}$

$$I_{е.в} = 10 \cdot I_{н.тр} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ А}$$

$$I_{е.в} = 500 \text{ А} > 1,2 \cdot I_{пуск} = 1,2 \cdot 178,5 = 214,2 \text{ А}$$

Під час запуску електродвигуна електромагнітна частина вимикача не спрацьовує, що свідчить про правильність вибору параметрів. Також здійснюється перевірка відповідності перерізу провідника до характеристик обраного захисного пристрою.

$$I_{н.тр} \cdot K_z \leq I_{дон} = 50 \cdot 1 < 60 \text{ А} \quad (3.7)$$

Додатково проводиться аналіз відповідності автоматичного вимикача вимогам швидкого відключення при однофазному короткому замиканні на кожному споживачі електроенергії (перевірка занулення).

$$I_{\kappa}^{(1)} > 3 \cdot I_{e\epsilon} \quad (3.8)$$

$$3,72 \text{кА} > 3 \cdot 500 = 1500 \text{ А}$$

Струм однофазного короткого замикання  $I_{\kappa}$ , кА, визначається за формулою

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{(Z_n + Z_{m/3})}, \quad (3.9)$$

де  $Z_{m/3} = 0,017$  мОм – розрахунковий опір масляного трансформатора за [5, табл.100];

$Z_n$  – загальний опір петлі "фаза-нуль", від виводу силового трансформатора до точки підключення електроспоживача, де сталося коротке замикання;

$U_{\phi}$  – фазна напруга, що приймається рівною 220 В.

$$Z_n = Z_{n01} \cdot l_1 + Z_{n02} \cdot l_2, \quad (3.10)$$

де  $Z_{n01} = 0,006$  Ом/км – Питомий повний опір провідника, що з'єднує електроспоживача з точкою приєднання до шинопроводу, за [10, табл.103];

$Z_{n02} = 0,00011$  Ом/км – питомий повний опір для ділянки шинопроводу між трансформатором та точкою підключення проводу, за [10, табл.3];

$l_1$  – довжина проводу;

$l_2$  – довжина шинопроводу.

$$Z_n = 0,006 \cdot 6,7 + 0,00011 \cdot 19,5 = 0,042 \text{ Ом}$$

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{220}{0,042 + 0,017} = 3,72 \text{кА}$$

### 3.3. Складання схеми розташування силового електрообладнання

Вибір оптимальної схеми електропостачання для цеху має важливе значення. Правильно спроектована схема повинна забезпечувати надійність роботи електрообладнання, високі технологічні показники та зручність експлуатації електричних мереж.

Згідно з рекомендаціями для проектування електропостачання промислових підприємств, слід враховувати наступне:

1) Радіальні схеми зазвичай застосовуються для споживачів першої категорії.

2) Для цехів машинобудівних підприємств рекомендується використовувати магістральні схеми.

3) У всіх можливих випадках перевагу варто надавати магістральним блочним схемам.

Проектована ділянка цеху спеціалізується на виробництві серійної продукції. Здебільшого електроприймачі відносяться до споживачів другої категорії за критерієм надійності електропостачання. Оскільки цех належить до машинобудівного виробництва, а верстати об'єднані в технологічні лінії, прийнято рішення використовувати магістральну схему електропостачання. Живлення споживачів здійснюється через комплектні шинопроводи та дроти марки АПВ, прокладені в сталевих трубах.

Розподільчі комплектні шинопроводи підключаються до комплектних трансформаторних підстанцій за допомогою магістральних шинопроводів. Для підвищення надійності електропостачання цеху передбачено встановлення перемичок між розподільчими шинопроводами, що живляться від двох трансформаторів комплектної трансформаторної підстанції, а також між шинопроводами сусідніх підстанцій.

Враховуючи, що більшість споживачів цеху належать до другої категорії, на перемичках передбачено монтаж автоматичних вимикачів без електродвигунового приводу.

## 4. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 4.1. Опис технологічного процесу та складання технологічних вимог до проекту автоматизації.

Процес створення систем автоматизації технологічних процесів та виробничих об'єктів спрямований на розробку повного комплексу документації.

Вона потрібна для обґрунтування, оцінки, підбору обладнання, будівництва, монтажу, налаштування та подальшої ефективної експлуатації автоматизованої системи управління.

Результатом цього процесу є завершений проект, до якого висуюються певні вимоги. Зокрема, проект має бути орієнтованим на конкретну мету, мати чітку структуру, логічну послідовність і глибокий аналіз із повним розглядом поставлених питань.

Крім того, важливими аспектами є аргументованість висновків, стислість і точність формулювань, конкретність результатів, обґрунтованість рекомендацій та якісне оформлення матеріалів. Процес проектування зазвичай розбивається на кілька етапів, кількість яких може змінюватися залежно від особливостей об'єкта автоматизації.

Найчастіше він охоплює три основні стадії: технічне завдання (ТЗ), технічний проект (ТП) та робочу документацію (РД). На кожному з цих етапів розробляється проектна документація, яка включає текстову та графічну частини. У ній фіксуються ключові технічні рішення, витрати й економічна доцільність упровадження системи автоматизації. Технічне завдання слугує початковою базою для проектування. У ньому описано об'єкт автоматизації, вимоги до системи, передбачено порядок її впровадження та інші параметри. Технічний проект містить загальну інформацію про майбутню систему: її структуру, склад і деталі, які дозволяють замовляти або розробляти необхідне обладнання.

Проект також включає вимоги до пов'язаних робіт, таких як створення операторських приміщень чи забезпечення енергопостачання.

Робоча документація є завершальним етапом проектування і охоплює повний набір матеріалів для встановлення системи управління. Її текстова частина складається з пояснювальної записки, в якій викладаються початкові дані для розробки, характеристики об'єкта автоматизації, аналіз рішень щодо регулювання, управління і сигналізації, обґрунтування вибору нестандартного обладнання (щитів, пультів тощо).

Також вона містить дотримання норм і правил проектування та технічну специфікацію на пристрої, арматуру й кабельну продукцію. Окремо подаються техніко-економічні обґрунтування важливих показників.

Графічна частина документації може включати схеми автоматизації технологічних процесів, загальні плани розташування щитів і пультів управління, структурні схеми підключень тощо. Перелік необхідних документів формується індивідуально для кожного проекту залежно від специфіки об'єкта, нормативних вимог і рівня його складності [6].

#### **4.2. Визначення переліку параметрів, які підлягають контролю та автоматичному регулюванню в процесі експлуатації системи.**

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) значно перевершують системи централізованого контролю (СЦК) завдяки ширшому функціоналу. Окрім виконання завдань централізованого контролю, АСУ ТП забезпечують додаткові можливості, включаючи розрахунок і фіксацію як поточних, так і підсумкових економічних і технологічних показників, оптимізацію параметрів технологічного режиму та створення і виконання керуючих команд для підтримки оптимальних умов. Водночас ці системи здатні адаптувати алгоритми роботи залежно від змін умов технологічного процесу.

Реалізація таких функцій можлива лише за використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), що є ключовою особливістю АСУ ТП. ЕОМ у

складі АСУ ТП можуть функціонувати в чотирьох режимах: збір і обробка даних, консультування оператора, супервізорне управління та пряме керування. У режимі збору і обробки даних параметри технологічного процесу перетворюються в цифровий формат і вводяться до ЕОМ, де вони обробляються.

Після цього отримані дані відображаються на пристроях представлення інформації, фіксуються в пам'яті ЕОМ і можуть бути роздруковані у вигляді звітів про хід процесу. Цей режим переважно використовується у випадках, коли складність процесу вимагає залучення оператора для прийняття рішень щодо керуючих впливів. Режим консультування доповнює функції збору і обробки даних, додаючи обчислення оптимальних параметрів технологічного процесу, налаштування локальних автоматичних систем управління та формування рекомендацій для управлінських дій.

Ці рекомендації відображаються на екранах і використовуються оператором для прийняття рішень, спираючись на отримані дані й власний досвід. Застосування такого режиму доцільне в ситуаціях, що вимагають ретельного аналізу, наприклад у складних біологічних процесах у тваринництві чи агрономії. У супервізорному режимі система набуває дворівневої структури. На нижньому рівні працюють локальні системи управління, які займаються безпосереднім контролем окремих параметрів технологічного процесу. Верхній рівень представлений ЕОМ, яка визначає оптимальні режими роботи всієї системи та забезпечує налаштування локальних підсистем.

У цьому режимі автоматизоване управління процесами здійснюється із залученням оператора як спостерігача, який може коригувати загальні цілі управління. Режим прямого керування демонструє ще більший рівень автоматизації. ЕОМ самостійно формує керуючі сигнали, які передаються до виконавчих механізмів без участі локальних підсистем управління. У цьому випадку завдання оператора залишаються подібними до тих, що визначені у супервізорному режимі. Для складних об'єктів, як-от великі птахофабрики, доцільним є впровадження багаторівневих АСУ ТП.

## 5. ПРОЕКТУВАННЯ ВНУТРИШНЬОЇ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

### 5.1. Розрахункових навантажень на окремих ділянках внутрішньої силової електричної мережі

Розрахунок електричних навантажень Розрахунок навантажень проводиться за методом коефіцієнту максимуму.

Усі електроприймачі класифікуються за групами відповідно до однакових значень коефіцієнта використання  $K_v$  та коефіцієнта потужності  $\cos\phi$ .

У межах кожної групи, а також загалом по всій ділянці, проводиться підрахунок кількості електроприймачів. Крім того, для кожної групи та для всієї ділянки визначаються мінімальні та максимальні розрахункові навантаження  $P_{н.мін}$  та  $P_{н.мах}$ . Сумарні потужності електроспоживачів також обчислюються, а результати заносяться до таблиці 2.1.1.

В цілому по групам і по ділянці визначається середньо змінна активну потужність  $P_{зм}$ , кВт, за формулою

$$P_{зм} = K_v \cdot \sum P_n, \quad (5.1)$$

де  $\sum P_n$  – сума активних потужностей, які належать до однієї групи електроприймачів, кВт.

$$P_{зм1} = 0,12 \cdot 311,5 = 37,38 \text{ кВт}$$

$$P_{зм2} = 0,6 \cdot 52,9 = 31,74 \text{ кВт}$$

$$P_{зм3} = 0,75 \cdot 45 = 33,75 \text{ кВт}$$

$$P_{зм4} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ кВт}$$

Середнє активне навантаження для даної ділянки, позначене як  $P_{зм.діл}$ , кВт, визначається за відповідною розрахунковою формулою.

$$P_{зм.діл} = P_{зм1} + P_{зм2} + P_{зм3} + P_{зм4} \quad (5.2)$$

$$P_{зм.діл} = 37,38 + 31,74 + 33,75 + 8,4 = 111,27 \text{ кВт}$$

Для кожної групи  $i$  в цілому по ділянці визначається середньозмінна активна потужність  $Q_{зм}$ , квар, за формулою

$$Q_{зм} = P_{зм} \cdot tg\varphi, \quad (5.3)$$

де  $tg\varphi$  – значення відповідає середньозваженому коефіцієнту потужності  $\cos\varphi$ , що є характерним для конкретного типу електроприймача.

$$Q_{зм1} = 37,38 \cdot 1,73 = 64,66 \text{ квар}$$

$$Q_{зм2} = 31,74 \cdot 1,02 = 32,37 \text{ квар}$$

$$Q_{зм3} = 33,75 \cdot 0,329 = 11,1 \text{ квар}$$

$$Q_{зм4} = 8,4 \cdot 0,75 = 6,3 \text{ квар}$$

Середнє реактивне навантаження для даної ділянки, позначене як  $P_{зм.діл}$ , кВт, визначається за відповідною розрахунковою формулою

$$Q_{зм.діл} = Q_{зм1} + Q_{зм2} + Q_{зм3} + Q_{зм4} \quad (5.4)$$

$$Q_{зм.діл} = 64,66 + 32,37 + 11,1 + 6,3 = 114,43 \text{ квар}$$

Середньозважене значення коефіцієнта використання  $K_v$  і  $tg\varphi$

$$K_{v.сеп} = \frac{\sum P_{зм}}{\sum P_{н.діл}}, \quad (5.5)$$

де  $\sum P_{зм}$  – групова середня активна потужність ділянки за максимально завантажену зміну відповідної групи споживачів, кВт;

$\sum P_{н.діл}$  – активна номінальна потужність ділянки, кВт.

$$K_{v.сеп} = \frac{111,27}{421,4} = 0,26$$

$$tg\varphi_{діл} = \frac{\sum Q_{зм}}{\sum P_{зм}}, \quad (5.6)$$

де  $tg\varphi_{ділянки}$  – середнє значення, яке відповідає коефіцієнту потужності ділянки;

$\sum Q_{зм}$  – групова середня реактивна потужність ділянки за максимально завантажену зміну відповідної групи споживачів, квар.

$$tg\varphi_{діл} = \frac{114,43}{111,27} = 1,02$$

За таблицею Брадїса  $\cos\varphi_{\text{дїл}} = 1$

Визначається ефективне число електроприймачів  $n_e$ , шт, за формулою

$$\text{Так як дійсне число електроприймачів } m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мін}} = \frac{40}{2,2} = 18 > 3$$

та  $K_{в.сер} = 0,26 > 0,2$ , то розраховується  $n_e$  за відповідною формулою

$$n_e = \frac{2\Sigma P_{ном}}{P_{ном.маx}}, \quad (5.7)$$

$$n_e = \frac{2 \cdot 421,4}{40} = 21,07$$

Приймаю  $n_e = 21$  шт.

Таблиця 5.1. – Загальні розрахунки

Найменування	Кількість	$\Sigma P_n$ , кВт	$K_{в.сер}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{зм}$ , кВт	$Q_{зм}$ , квар
Піч	17	311,5	0,12	0,5	1,73	37,38	64,66
кран	7	52,9	0,6	0,7	1,02	31,74	32,37
автоклав	3	45	0,75	0,95	0,32 9	33,75	11,1
компресор	1	12	0,7	0,8	0,75	8,4	6,3
Всього	28	421,4	0,26	1	1,02	111,2 7	114,4 3

Визначається коефіцієнт максимуму  $K_M$

Для  $n_e = 21$  і  $K_{в.дїл} = 0,26$  з урахування інтерполяції визначається для активного навантаження  $K_M = 1,28$  [1].

Визначається  $K_M$  для реактивного навантаження.

Так як  $n_e = 21 < 100$  і  $K_{в.дїл} = 0,26 > 0,2$ , то  $K_{MQ}' = 1$ .

## 5.2 Вибір марки, способу прокладання та перерізу проводів і кабелів

Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом. Для мереж з напругою понад 1 кВ вибір перерізу провідників здійснюється на основі економічно доцільної густини струму, що відповідає умовам нормального режиму навантаження. Економічно вигідний переріз провідників визначається як

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{ек}}}, \quad (5.8)$$

де  $I_{\text{норм}}$  – струм нормального режиму, А;

$J_{\text{ек}}$  – нормоване значення економічно доцільної густини струму, виражене в А/мм<sup>2</sup>, визначається за даними таблиці М.1, наведеної в додатку М [1].

Економічно вигідний переріз  $S_{\text{ек}}$ , наближається до стандартного перерізу  $S_{\text{ст}}$ , мм<sup>2</sup>.

Номінальний первинний струм ТС знаходиться:

$$I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}, \quad \text{А}, \quad (5.9)$$

де  $S_{\text{ном.т}}$  – номінальна потужність трансформатора цехової ПС, кВА;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна первинна напруга ТС, кВ.

$$I_{\text{ном.т}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Вигідний переріз кабелю розташований від ГПП до цехової ТП № 1 визначається за формулою, з урахуванням, що через цей кабель протікають три номінальні струми трансформатора

$$S_{\text{ек}} = \frac{3 \cdot 36,4}{1,4} = 78 \text{ мм}^2.$$

Попередньо вибирається  $S_{\text{ст}} = 70 \text{ мм}^2$  і  $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$ .

Перевірка перерізу кабельної лінії за максимальним режимом.

Для визначення необхідного перерізу кабелю враховуються умови його прокладання, а також відмінності параметрів довкілля від стандартних значень.

Розрахунок здійснюється за такою формулою:

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} I_{\text{н}}, \quad (5.10)$$

де  $K_{\text{пер}}$  – коефіцієнт перевантаження (допустимого);

$I'_{\text{доп}}$  – струм із зважанням відхилення параметрів оточуючого середовища від стандартних умов, А;

$I_{\text{ф}}$  – струм форсованого режиму провідника, А;

$K_{\text{рез}}$  – коефіцієнт резервування (приймається  $K_{\text{рез}} = 1,4$ ).

Аби коректно визначити максимально допустимий струм, який може тривало протікати через кабель, слід застосувати коригувальні коефіцієнти  $K_{\text{пр}}$  та  $K_{\text{сер}}$ . Ці коефіцієнти враховують відмінності фактичних умов довкілля від стандартних.

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} K_{\text{сер}} I_{\text{доп}}, \quad (5.11)$$

де  $K_{\text{пр}}$  – коригувальний коефіцієнт для кількості кабелів, які лежать поруч у землі (таблиця 1.3.26 улаштування електроустановок (ПУЕ));

$K_{\text{сер}}$  – коригувальний коефіцієнт для температури навколишнього середовища, якщо вона інша від стандартної (таблиця 1.3.3 ПУЕ та таблиця додатка М.4 [1]);

$I_{\text{доп}}$  – допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу для стандартних умов, А (таблиці ПУЕ).

Приймається  $K_{\text{сер}} = 1$ , бо температура оточуючого середовища не відрізняється від стандартної,  $K_{\text{пр}} = 1,0$  для одного кабелю.

$$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 165 \text{ А} \geq 1,4 \cdot 109 \text{ А},$$

$$165 \text{ А} > 153 \text{ А}.$$

Умова виконується, переріз кабелю може працювати в максимальному режимі навантаження без перегріву ізоляції.

Перевірка вибраного перерізу провідника на термічну стійкість

Оцінка термічної стійкості кабелю може бути проведена шляхом визначення мінімально допустимого перерізу ( $\text{мм}^2$ ), здатного витримувати нагрівання, спричинене струмами короткого замикання:

$$S_{\text{тер.мін}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C_{\text{Т}}} = \frac{I_{\text{к}}\sqrt{t}}{C_{\text{Т}}}, \text{ мм}^2, \quad (5.12)$$

де  $B_{\text{к}}$  – імпульс тепла струму КЗ,  $\text{А}^2\text{с}$ ;

$C_{\text{Т}}$  – температурний коефіцієнт, який враховує обмеження допустимої температури провідника  $\text{Ас}^{1/2}/\text{мм}^2$ ;

$I_{\text{к}} = I_{\text{п.0}}$  – початкове значення складової струму трифазного КЗ,  $\text{А}$ ;

$t$  – розрахункова тривалість КЗ, (приймається  $t = 0,65 \text{ с}$ ).

За формулою (4.4) мінімальний переріз кабелю

$$S_{\text{мін}} = \frac{6500 \cdot \sqrt{0,65}}{94} = 55,8 \text{ мм}^2.$$

Цій умові задовольняє переріз кабелю, який живить трансформатор цехової ТП. Остаточо вибирається кабель марки ААШв-10(3×70).

Аналогічно проводиться вибір та перевірка для кабелю від цехової ТП № 1 до цехової ТП № 2. Остаточо вибирається кабель марки ААШв-10(3×50).

Аналогічно проводиться розрахунок та перевірка для кабелю від цехової ТП № 2 до цехової ТП № 3. Остаточо вибирається кабель марки ААШв-10(3×35).

Підбір необхідного перерізу провідників у мережах з напругою до 1 Кв. Підбір перерізу лінії з урахуванням нагріву в умовах нормальної експлуатації полягає у визначенні найменшого допустимого перерізу провідника, який здатен безперервно пропускати струм, не менший за розрахункове значення. Розрахунок здійснюється згідно з відповідною умовою теплової стійкості.

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.2}}, \quad (5.13)$$

де  $I_{\text{р.2}}$  – розрахунковий струм на другому рівні електропостачання,  $\text{А}$ ;

$I'_{\text{доп}}$  – допустимий тривалий струм з урахуванням відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов,  $\text{А}$ .

Допустимий тривалий струм визначається як

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{попр}} K_{\text{пр}} K_{\text{сер}} I_{\text{доп}}, \text{ А}, \quad (5.14)$$

де  $K_{\text{попр}}$  – поправочний коефіцієнт, (приймається  $K_{\text{попр}} = 0,92$ );

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт прокладки (для кабелів, які знаходяться у повітрі  $K_{\text{пр}} = 1$ );

$K_{\text{сер}}$  – коефіцієнт середовища (приймається  $K_{\text{сер}} = 1$ );

$I_{\text{доп}}$  – струм провідника, який доступний для нього, А.

Так, для живлення ШРА1 для трьохжильного кабелю  $S_{\text{ст}} = 16 \text{ мм}^2$  допустимий струм  $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$  за формулою (4.9)

$$I'_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 60 = 55,2 \text{ А},$$

$$55,2 \text{ А} > 47,4 \text{ А}.$$

Умова виконується, переріз кабелю може працювати в стандартному режимі навантаження без пошкодження в наслідок перегріву ізоляції.

Падіння напруги в кабельній лінії у відсотках обчислюється за відповідною формулою

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{P_{\text{р.2}} r_{\text{п.к}} l_{\text{кб}} + Q_{\text{р.2}} x_{\text{п.к}} l_{\text{кб}}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2}, \%, \quad (5.15)$$

де  $r_{\text{п.к}}$ ,  $x_{\text{п.к}}$  – активний та реактивний опіри кабелю, Ом/км;

$l_{\text{кб}}$  – довжина кабелю, км.

За формулою (5.15) падіння напруги в кабельній лінії, який живить СРШ

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{22,8 \cdot 1,95 \cdot 0,05 + 21,4 \cdot 0,095 \cdot 0,05}{10 \cdot 0,38^2} = 1,61 \%.$$

Значення втрати напруги в живильному кабелі знаходиться в межах допустимого значення 5 %.

Підбір тролейних ліній. Вибір тролейної лінії полягає у визначенні відповідних розмірів сталевого кутника на основі допустимого нагріву при тривалому струмовому навантаженні, а також у перевірці відповідності втрат напруги нормативним межах.

Під час вибору за умовами нагріву розрахунковий струм приймається рівним значенню струму, що відповідає навантаженню протягом 30 хвилин

$$I_{30} = \frac{\sqrt{(P_{\text{сп}} K_{30})^2 + (P_{30} \text{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}, \text{ А}, \quad (5.16)$$

де  $P_{\text{сп}}$  – активна потужність, яка була спожита;

$K_{30}$  – Коефіцієнт попиту активної потужності визначається на основі спеціальних графіків, які враховують режим роботи кранового обладнання та ефективну кількість електроприймачів;

$P_{30}$  – активна потужність (розрахункова);

$\text{tg}\varphi$  – визначається залежно від  $\cos\varphi$  ЕД кранової установки;

Споживана активна потужність визначається як

$$P_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{ном.}\Sigma}}{\eta_{\text{ном}}}, \text{ кВт}, \quad (5.17)$$

де  $P_{\text{ном.}\Sigma}$  – Сукупна номінальна активна потужність електродвигунів, встановлених на крановому обладнанні, кВт;

$\eta_{\text{ном}}$  – номінальний ККД кранових електродвигунів.

Розрахункові значення активної та реактивної потужностей обчислюються відповідно до встановлених формул

$$P_{30} = P_{\text{сп}} K_{30}, \text{ кВт}, \quad (5.18)$$

$$Q_{30} = P_{30} \text{tg}\varphi, \text{ кВт}, \quad (5.19)$$

Тобто, за умовами нагрівання

$$I_{\text{доп}} \geq I_{30}, \quad (5.20)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустиме значення струму для тролей, виготовлених із сталевих профілів [9].

Падіння напруги в тролейних лініях визначається як

$$\Delta U_{\text{T}} = \frac{\Delta e I_{\text{пик}} l}{10\,000}, \text{ В}, \quad (5.21)$$

де  $\Delta e$  – Падіння напруги при протіканні пікового струму 100 А на ділянці тролейної лінії довжиною 100 м визначається за даними таблиці 4.3 [1];

$I_{\text{пik}}$  – Значення пікового струму електроприймачів, підключених до тролейної лінії;

$l$  – врахована відстань від точки підключення живлення до найвіддаленішого краю тролейної магістралі.

Визначення для тролейної лінії яка живиться від ШРА4 виконується за відповідними формулами

$$P_{\text{сп}} = \frac{30,5}{0,9} = 33,9 \text{ кВт},$$

$$P_{30} = 33,9 \cdot 0,33 = 11,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{30} = 11,2 \cdot 1,73 = 19,4 \text{ квар},$$

$$I_{30} = \frac{\sqrt{11,2^2 + 19,4^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 34 \text{ А}.$$

Вибирається сталева смуга 25×4:

$$85 \text{ А} > 34 \text{ А}.$$

Втрати напруги в тролей яку живить ШРА4

$$\Delta U_{\text{T}} = \frac{4,2 \cdot 525,5 \cdot 31,4}{10\,000} = 6,9 \text{ В}.$$

Розрахунок для тролейної лінії яка живиться від ШРА8 виконується за відповідними формулами

$$P_{30} = 33,9 \cdot 0,22 = 7,46 \text{ кВт},$$

$$Q_{30} = 7,46 \cdot 1,73 = 12,9 \text{ квар},$$

$$I_{30} = \frac{\sqrt{7,46^2 + 12,9^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,6 \text{ А}.$$

Вибирається сталева смуга 25×4

$$85 \text{ А} > 22,6 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Втрати напруги в тролєї яку живить СРШ

$$\Delta U_T = \frac{4,2 \cdot 584,9 \cdot 27,8}{10000} = 6,8 \text{ В.}$$

### 5.3 Вибір перерізу розподільної мережі напругою до 1 кВ

Вибір перерізу провідників розподільної мережі з напругою до 1 кВ здійснюється відповідно до умови допустимого нагрівання в режимі нормальної експлуатації, при цьому використовується відповідна розрахункова формула

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.1}}, \quad (5.22)$$

де  $I_{\text{р.1}}$  – розрахунковий струм на першому рівні ЕП, А.

Падіння напруги на лініях у відсотках визначається як

$$\Delta U_{\text{пр}} = \frac{p_{\text{р.1}} r_{\text{п}} l_{\text{пр}} + q_{\text{р.1}} x_{\text{п}} l_{\text{пр}}}{10 U_{\text{ном}}^2}, \%, \quad (5.23)$$

де  $p_{\text{р.1}}$ ,  $q_{\text{р.1}}$  – Розрахункові значення активного та реактивного навантаження електроприймачів першого рівня електропостачання визначаються відповідно, кВт і квар;

$r_{\text{п}}$ ,  $x_{\text{п}}$  – Питомі значення активного та реактивного опору провідників, Ом/км;

$l_{\text{пр}}$  – довжина проводу, км.

Номінальний струм ЕД верстата визначається за формулою

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{P_{\text{ном.д}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном.д}} \eta_{\text{ном.д}}}, \text{ А}, \quad (5.24)$$

де  $P_{\text{ном.д}}$  – номінальна активна потужність ЕД, кВт;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга розподільної мережі, кВ;

$\cos \varphi_{\text{ном.д}}$  – номінальний коефіцієнт потужності ЕД;

$\eta_{\text{ном.д}}$  – номінальний ККД ЕД.

Так, для зубошевінгівального верстата (ЕП № 35):

$$I_{\text{ном.д}} = \frac{5,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 1} = 13,1 \text{ А,}$$

Для трьох одножильних кабелів, прокладених у спільній трубі, допустиме значення струму за стандартних умов навколишнього середовища визначається відповідно до номінального перерізу провідників.

$$19 \text{ А} > 13,1 \text{ А.}$$

Умова виконується.

#### **5.4 Вибір магнітних пускачів, автоматичних вимикачів та запобіжників для окремо керованих силових електроприймачів**

Вибір електричних апаратів в електричній мережі напругою до 1 кВ

У мережах з напругою до 1 кВ вибір комутаційних апаратів, елементів захисту та перерізу провідників здійснюється у взаємозв'язку, з урахуванням характеристик навантаження та умов експлуатації.

Для забезпечення захисту в таких мережах зазвичай застосовуються автоматичні вимикачі повітряного типу або плавкі запобіжники.

Основними критеріями підбору автоматичних вимикачів є:

1) за номінальною напругою

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}, \quad (5.25)$$

де  $U_{\text{ном.а}}$  – номінальна напруга автомата;

$U_{\text{ном.м}}$  – номінальна напруга електричної мережі, у якій застосовується автомат.

2) за номінальним струмом автомата

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ф}}, \quad (5.26)$$

де  $I_{\text{ном.а}}$  – номінальний струм автомата;

$I_{\text{ф}}$  – струм форсованого режиму.

3) за номінальним струмом розчеплювача

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ф}}, \quad (5.27)$$

де  $I_{\text{ном.р}}$  – номінальний струм розчеплювача.

4) за номінальним струмом теплового розчеплювача

$$I_{\text{сп}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1I_{\text{р}}, \quad (5.28)$$

де  $I_{\text{р}}$  – розрахунковий струм, який для автомата вводу приймається

$I_{\text{р}} = I_{\text{ф}}$ , а для лінійних автоматів  $I_{\text{р}} = I_{\text{р.2}}$ .

5) за умовою відбудови від пікових струмів

5.1) для автомата вводу

$$I_{\text{св}} = I_{\text{у.е.р}} \geq (6-10)I_{\text{ном.т}}; \quad (5.29)$$

5.2) для лінійних автоматів

$$I_{\text{св}} = I_{\text{у.е.р}} \geq 1,25I_{\text{пік}}, \quad (5.30)$$

б) за номінальним струмом вимикання автомата

$$I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.0}} = I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (5.31)$$

де  $I_{\text{ном.в.а}}$  – номінальний струм вимикання автомата при нормованих умовах роботи;

$I_{\text{п.0}} = I_{\text{к}}^{(3)}$  – початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ.

7) за умовою чутливості

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,25I_{\text{с.в}}. \quad (5.32)$$

Вибір автомата вводу.

У шафі вводу 0,4 кВ типу ШНВ-2У3(ТЗ) встановлюється автомат вводу типу ВА55-41.

Вибір і перевірка параметрів автомата. Каталожні та розрахункові дані наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. – Каталогні та розрахункові дані автомата типу ВА55-41

Умови вибору	Каталожні дані автомата ВА55-41	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.а}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\phi} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} = 1 \cdot 958,3 = 958,3 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.р}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\phi} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} = 1 \cdot 958,3 = 958,3 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{сп}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 I_{\phi}$	$I_{\text{с.п}} = 1,25 I_{\text{ном.р}} = 1,25 \cdot 1000 = 1250 \text{ А}$	$1,1 I_{\phi} = 1,1 \cdot 958,3 = 1054 \text{ А}$
За умовою відбудови від пікових струмів $I_{\text{св}} = I_{\text{у.е.р}} \geq (6-10) I_{\text{ном.т}}$	$I_{\text{св}} = 7 I_{\text{ном.р}} = 7 \cdot 1000 = 7000 \text{ А}$	$6 I_{\text{ном.т}} = 6 \cdot 958,3 = 5749,9 \text{ А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.0}} = I_{\text{к}}^{(3)}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 60 \text{ кА}$	$I_{\text{п.0}} = I_{\text{к1}}^{(3)} = 9,7 \text{ кА}$
За умовою чутливості $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,25 I_{\text{с.в}}$	$1,25 I_{\text{с.в}} = 1,25 \cdot 7000 = 8,75 \text{ кА}$	$I_{\text{к}}^{(1)} = 14,9 \text{ кА}$

Умови виконуються. Кінцево береться автомат вводу типу ВА55-41.

Вибір секційного автомата

У секційній шафі 0,4 кВ типу ШНС-2УЗ(ТЗ) встановлюється секційний автомат типу ВА55-41.

Вибирається автомат, який захищає СРШ. В якості лінійних для КТП вибираються шафи типу ШНЛ-3УЗ, які зазвичай комплектуються автоматами ВА52-35, А3720. Однак з метою повного використання лінійних автоматів та недопущення завищення перерізів кабелів живильної мережі необхідно, згідно спеціального замовлення, комплектувати шафи ШНЛ-3УЗ струмообмежувальними автоматами з електромагнітними та тепловими розчеплювачами ВА51-31 та ВА51-33. Комплектація ввідної шафи ШНВ-3УЗ

також має бути нестандартною: в якості лінійних автоматів вибираються автомати типу ВА52-31.

Вибір і перевірка параметрів. Каталожні та розрахункові дані наведені в таблиці 5.3.

Попередньо вибирається автомат типу ВА52-31.

Таблиця 5.3 – Каталожні та розрахункові дані автомата типу ВА52-31

Умови вибору	Каталожні дані автомата ВА52-31	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р.2}}$	$I_{\text{ном.а}} = 100 \text{ А}$	$I_{\text{р.2}} = 47,4 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{р.2}}$	$I_{\text{ном.р}} = 50 \text{ А}$	$I_{\text{р.2}} = 47,4 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1I_{\text{р.2}}$	$I_{\text{у.т.р}} = 1,35I_{\text{ном.т.р}} = 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А}$	$1,1I_{\text{р.2}} = 1,1 \cdot 47,4 = 52,1 \text{ А}$
За умовою відбудови від пікових струмів $I_{\text{св}} = I_{\text{у.е.р}} \geq 1,25I_{\text{пік}}$	$I_{\text{св}} = 10I_{\text{ном.т.р}} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ А}$	$1,35I_{\text{пік}} = 1,35 \cdot 237,1 = 320,1 \text{ А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.0}} = I_{\text{к}}^{(3)}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 30 \text{ кА}$	$I_{\text{п.0}} = I_{\text{к2}}^{(3)} = 1,6 \text{ кА}$
За умовою чутливості $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,35I_{\text{с.в}}$	$1,35I_{\text{с.в}} = 1,35 \cdot 500 = 675 \text{ А}$	$I_{\text{к}}^{(1)} = 700 \text{ А}$

Кінцево береться автомат типу ВА52-31. Аналогічні розрахунки виконуються для вибору інших лінійних автоматів.

Вибір запобіжників відгалужувальних ліній

Умови вибору запобіжників:

1) за номінальною напругою

$$U_{\text{ном.зап}} \geq U_{\text{ном.м}}, \quad (5.33)$$

де  $U_{\text{ном.зап}}$  – номінальна напруга запобіжника.

2) за номінальним струмом запобіжника

$$I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{р.1}} \quad (5.34)$$

де  $I_{\text{ном.ЕП}}$  – номінальний струм ЕП.

3) за номінальним струмом плавкої вставки

$$I_{\text{ном.п.в}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5}, \quad (5.35)$$

де  $I_{\text{пуск}}$  – пусковий струм ЕП.

4) за номінальним струмом запобіжника та його плавкої вставки

$$I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{ном.п.в}}, \quad (5.36)$$

5) за вимикаючою здатністю

$$I_{\text{ном.в.зап}} \geq I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (5.37)$$

6) за умовою чутливості

$$\frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{ном.п.в}}} \geq 3. \quad (5.38)$$

Вибір запобіжника для захисту ЕП № 35. Вибір і перевірка параметрів запобіжника. Каталогні та розрахункові дані наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Каталогні та розрахункові дані запобіжника

Умови вибору	Каталожні дані запобіжника НПН2-60	Розрахункові дані
1	2	3
За номінальною напругою $U_{\text{ном.зап}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.зап}} = 380 \text{ В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом запобіжника $I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{р.1}}$	$I_{\text{ном.зап}} = 60 \text{ А}$	$I_{\text{р.1}} = 13,1 \text{ А}$

Продовження таблиці 5.4.

1	2	3
За номінальним струмом плавкої вставки $I_{\text{НОМ.П.В}} \geq \frac{I_{\text{ПУСК}}}{2,5}$	$I_{\text{НОМ.П.В}} = 30 \text{ А}$	$\frac{I_{\text{ПУСК}}}{2,5} = \frac{65,4}{2,5} = 26,2 \text{ А}$
За номінальним струмом запобіжника та його плавкої вставки $I_{\text{НОМ.ЗАП}} \geq I_{\text{НОМ.П.В}}$	$I_{\text{НОМ.ЗАП}} = 60 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.П.В}} = 30 \text{ А}$
За вимикаючою здатністю $I_{\text{НОМ.В.ЗАП}} \geq I_{\text{П.О}} = I_{\text{К}}^{(3)}$	$I_{\text{НОМ.В.ЗАП}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{П.О}} = I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,88 \text{ кА}$

Остаточно вибирається запобіжник типу НПН2-60.

Таблиця 5.5 – Результати вибору запобіжників відгалужувальних ліній

Живильна лінія до ЕП	Тип запобіжника	$U_{\text{НОМ.ЗАП}}$ В	$I_{\text{НОМ.Д}}$ А	$I_{\text{ПУСК}}$ , А	$I_{\text{К}}^{(3)}$ , кА	$I_{\text{К}}^{(1)}$ , кА	$I_{\text{НОМ.ЗАП}}$ А	$I_{\text{НОМ.ВСТ}}$ А	$I_{\text{ГР.ВИМ}}$ , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	НПН2-60	380	10,3	51,7	0,8	0,46	60	25	10
22	НПН2-60	380	14	70	0,8	0,46	60	30	10
30	ПН2-100	380	39,5	197,5	0,8	0,46	100	80	10
31	НПН2-60	380	3,6	18,2	0,8	0,46	60	10	10
32	НПН2-60	380	6,1	30,4	0,8	0,46	60	15	10
33	НПН2-60	380	7	35,1	0,8	0,46	60	15	10
34	НПН2-60	380	20,6	102,8	0,8	0,46	60	60	10
35	НПН2-60	380	13,1	65,4	0,8	0,46	60	30	10

## 5.5 Вибір перерізів провідників для електромереж до 1 кВ відповідно до параметрів захисних пристроїв

Січення проводів і кабелів слід перевіряти на відповідність вибраним захисним апаратам, дотримуючись умови узгодженості за відповідною формулою

$$I'_{\text{доп}} \geq K_{\text{зах}} I_{\text{зах}}, \quad (5.39)$$

де  $I_{\text{зах}}$  – номінальний струм розчіплювача чи плавкої вставки, А;

$K_{\text{зах}}$  – згідно з ПУЕ, встановлюється нормативне співвідношення між допустимим струмовим навантаженням на провідники та параметрами захисних апаратів. Приймається коефіцієнт захисту в даному випадку для запобіжників  $K_{\text{зах}} = 0,33$ ; для автоматів  $K_{\text{зах}} = 1$ .

Проводиться узгодження перерізу кабелю, який живить ШРА1 з лінійним автоматом цього кабелю

$$I'_{\text{доп}} = 55,2 \text{ А} > K_{\text{зах}} I_{\text{ном.т.р}} = 1 \cdot 50 = 50 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Аналогічно проводиться перевірка кабелів для інших ділянок живильної та розподільної мереж. Результати узгодження перерізів кабелів живильної мережі наводяться в таблиці 5.5, а розподільної – в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Результати узгодження перерізу проводів розподільної мережі апаратами захисту

Розподільна лінія	Попередній вибір		Остаточний вибір		$K_{\text{зах}}$	$I_{\text{зах}}$ , А	Марка і переріз вибраного провoda
	$I'_{\text{доп}}$ , А	$S$ , мм <sup>2</sup>	$I'_{\text{доп}}$ , А	$S$ , мм <sup>2</sup>			
До ЕП № 21	19	2,5	19	2,5	0,33	25	АПВ3(1x2,5)Т15
До ЕП № 22	19	2,5	19	2,5	0,33	30	АПВ3(1x2,5)Т15
До ЕП № 30	40	8	40	8	0,33	80	АПВ3(1x8)Т20
До ЕП № 31	19	2,5	19	2,5	0,33	10	АПВ3(1x2,5)Т15
До ЕП № 32	19	2,5	19	2,5	0,33	15	АПВ3(1x2,5)Т15
До ЕП № 33	19	2,5	19	2,5	0,33	15	АПВ3(1x2,5)Т15
До ЕП № 34	22	3	22	3	0,33	60	АПВ3(1x3)Т15
До ЕП № 35	19	2,5	19	2,5	0,33	30	АПВ3(1x2,5)Т15

## 5.6 Вибір силових розподільних шаф

Обрано розподільчу шафу ШР-11.

Призначення силових розподільних шаф ШР-11:

- розподіл електроенергії;
- забезпечення захисту електроустановок від перевантажень та коротких замикань;
- забезпечення безпеки людей і тварин шляхом запобігання ураженню електричним струмом;
- захист силових кіл обладнання та споживачів від перевантажень і коротких замикань;
- розподіл електричної напруги відповідно до потреб споживачів із забезпеченням захисту відхідних ліній.

Таблиця 5.7 - Дані СРШ

ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ	
Напруга живлення, В	380 В
Система заземлення	TN-S, TN-C, TNC-S, TT, IT
Рід струму	змінний
Номінальний струм, А	250 А, 400 А
Клас захисту від ураження електрострумом	0І
Спосіб встановлення	вертикальний
Кількість вхідних ліній	вказати у разі замовлення
Апарат захисту	рубильник
Апарат захисту відхідних ліній	запобіжники
Наявність вузла обліку електричної енергії	Є можливість встановлення
Додаткова комплектація	-вольтметр; -амперметр; -світлосигнальна арматура; - контролер
Середнє середовище	невибухонебезпечна
	без струмопровідного пилю

Пристрій типу ШР-11 складається з комплекту ввідних, силових комутаційних, розподільчих, контрольних і сигнальних елементів, що розміщуються в корпусі з одностороннім доступом до обслуговування. Силова

розподільча шафа ШР-11 може виготовлятися у виконанні для настінного або підлогового монтажу.

Її конструкція базується на безкаркасному корпусі, всередині якого розміщена монтажна панель або рама з встановленим електротехнічним обладнанням.

Конструктивні особливості шафи забезпечують можливість підключення живильних і відвідних кабелів у місцях, зазначених замовником. Дверцята оснащені замком для безпечного закриття та обмеження доступу.

## 6. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Об'єкт освітлення	Габарити, м			Коефіцієнти відбиття, %			Апарат захисту в ТП
	А	В	Н	стеля	стіни	розрахункова поверхня	
	довжина	ширина	висота				
Цех виготовлення цегли	48	48	8	0,5	0,3	0,1	Автоматичний вимикач

### 6.1 Системи освітлення

Існують три основні види освітлення: загальне, місцеве та комбіноване. Загальне освітлення забезпечується однаковими джерелами світла, розташованими на однаковій висоті, які рівномірно освітлюють всю площу приміщення. Це стосується як області з обладнанням та робочими місцями, так і допоміжних зон.

Місьцеве освітлення використовується для освітлення конкретного робочого місця. Воно не здатне забезпечити необхідний рівень освітленості на ділянках, що знаходяться поблизу цього місця роботи.

Комбіноване освітлення являє собою поєднання загального та місцевого освітлення. Таку систему застосовують у зонах, де виконуються точні зорові завдання, які потребують високої інтенсивності світла.

Для проектування, як правило, приймається загальна система освітлення.

### 6.2 Види освітлення за функціональним призначенням

Усі системи освітлення поділяються на три основні категорії: природне, штучне та комбіноване. Природне освітлення формується завдяки сонячному світлу і не передбачає використання електричних джерел світла. Його

спектральні характеристики значно відрізняються від штучного світла, що позитивно впливає на сприйняття кольорів. З огляду на високу гігієнічну та біологічну цінність, під час проектування будівель природному освітленню приділяється особлива увага.

Штучне освітлення створюється за допомогою світлотехнічних приладів і зазвичай використовується в умовах недостатнього природного світла, особливо у темний час доби.

Комбіноване освітлення передбачає одночасне використання як природного, так і штучного світла. Такий тип застосовується у випадках, коли денного освітлення недостатньо для забезпечення нормативного рівня яскравості, тому штучні джерела працюють навіть удень.

Штучне освітлення, у свою чергу, поділяється на робоче, аварійне, чергове та охоронне, відповідно до функціонального призначення кожної підсистеми.

Робоче освітлення створює належні умови для виконання виробничих, побутових або інших завдань у приміщеннях чи на відкритих майданчиках під час штатної роботи освітлювальної системи.

Аварійне освітлення включає дві основні категорії: освітлення безпеки та евакуаційне освітлення.

Освітлення безпеки забезпечує можливість продовження роботи в умовах аварійного вимкнення основного джерела освітлення, дозволяючи уникнути зупинки критично важливих процесів.

Евакуаційне освітлення слугує для забезпечення видимості на шляхах евакуації у разі відключення робочого освітлення, що дозволяє оперативно і безпечно залишити приміщення.

Охоронне освітлення використовується для підсвічування охоронюваних об'єктів або територій, переважно в нічний час, з метою підвищення безпеки та видимості в межах периметру.

Чергове освітлення функціонує в періоди, коли приміщення не використовується за призначенням, тобто в неробочий час.

Під час розроблення проєктів освітлення першочергову увагу приділяють робочому, аварійному та евакуаційному освітленню, оскільки саме ці типи є ключовими з точки зору безпеки та функціональності.

Робоче освітлення забезпечує належні умови для проведення навчальних занять, тренувань або спортивних змагань у вечірній чи нічний час.

Аварійне освітлення у спортивних залах та інших аналогічних приміщеннях має бути передбачене у таких випадках:

а) у проходах і на сходових клітинах, що використовуються для евакуації, якщо в приміщенні можливе одночасне перебування понад 50 осіб;

б) у будь-яких залах або кімнатах, де допускається присутність більше 100 осіб одночасно.

### **6.3 Джерела світла**

Згідно з нормативами ДБН В.2.5-28-2006, для освітлення концертних залів рекомендується використовувати металогалогенні та люмінесцентні лампи, які належать до групи розрядних джерел світла. Газорозрядні лампи високого тиску (ГЛВД) доцільно застосовувати в залах із висотою стелі понад 7 метрів.

У разі живлення театру чи концертного залу від одного незалежного джерела енергії, резервне живлення аварійного освітлення для забезпечення евакуації, включаючи світлові покажчики "Вихід", а також для продовження роботи повинно забезпечуватися акумуляторною батареєю. За наявності двох або більше незалежних джерел енергії, резервне живлення від акумуляторної батареї може використовуватися виключно для евакуаційного освітлення та світлових покажчиків "Вихід".

У звичайному режимі аварійне освітлення повинно живитися від зовнішнього джерела енергії. У разі зникнення напруги на цьому джерелі, аварійне освітлення має автоматично перемикатися на резервну систему живлення.

## 6.4 Вибір типів і розміщення світильників

При виборі типу світильників необхідно враховувати характеристику їх світлорозподілу, економічну доцільність та специфіку навколишнього середовища. Клас світильника визначається відносним значенням світлового потоку, який спрямований у нижню півсферу, відносно загального світлового потоку світильника (згідно з нормами).

Мінімально допустимі ступені захисту світильників для освітлення непожежо- і невибухонебезпечних приміщень із різними умовами середовища відповідають IP 20, що визначено згідно з нормами. Тип світильника визначається формою кривої сили світла (КСС).

Встановлено такі параметри [3]:

- Нормативна освітленість та якісні характеристики концертної зали — 300 лк;
- Коефіцієнт запасу — 1,3;
- Коефіцієнт пульсації освітленості, не більше ніж 10 %.

Світильники розміщуються рівномірно по площі залу: відстань між світильниками в одному ряді становить 8,5 метрів, а між рядами — 4,3 метри. Детальний план розташування вказано на аркуші 1.

Для забезпечення робочого освітлення обрано світильники типу ГПП02В-250-112, -122 (згідно з каталогом компанії «ВАТРА»).

## 6.5 Розрахунок освітлювальної установки робочого освітлення

Існує два основні методи розрахунку освітлювальних установок (ОУ): метод коефіцієнта використання світлового потоку і точковий метод.

Метод коефіцієнта використання світлового потоку призначений для оцінки середньої освітленості на робочій поверхні в приміщенні, враховуючи параметри приміщення і відбивну здатність стелі, підлоги та стін. Основні припущення цього методу включають:

- однорідність світності відбиваючих поверхонь;
- дифузну природу відбитого світла;

- усереднення коефіцієнтів відбиття стелі, стін та підлоги.

Точковий метод використовується для визначення освітленості в конкретній точці. Він підходить для розрахунків на поверхнях з довільним розташуванням при будь-якому розподілі освітленості, при цьому відбита складова враховується приблизно. Цей метод розраховує загальне локалізоване і рівномірне освітлення, особливо у випадках з суттєвими затіненнями.

Одним із різновидів точкового методу є метод освітлювальних ліній, де освітлювальні пристрої, з відстанню між ними, що не перевищує половини розрахункової висоти, розглядаються як освітлювальні лінії.

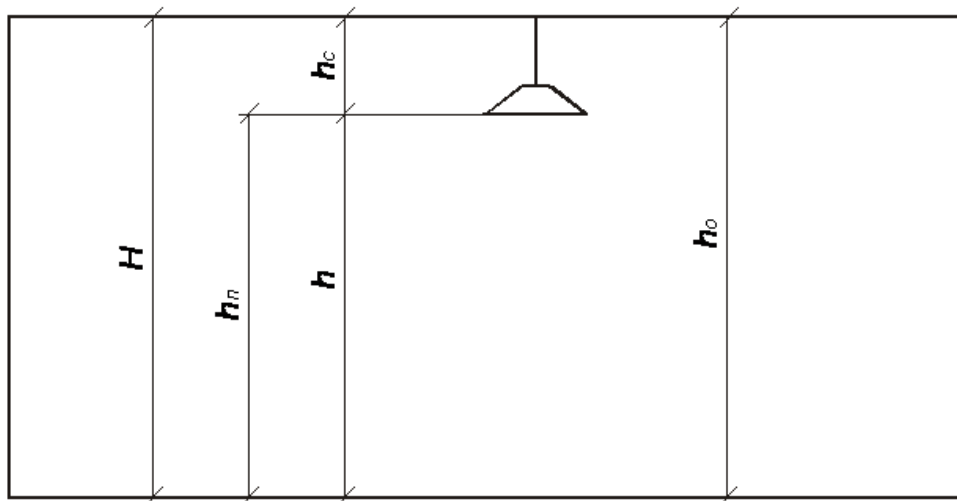


Рис. 6.1 – Розташування світильників по висоті приміщення

Умовні позначення (рис 6.1):

$H$  - висота приміщення = 8 м;

$h_p$  - висота від підлоги площини нормування освітленості = 0 м;

$h_c$  - висота підвісу світильника = 0,2 м;

$h_n$  - висота від підлоги до світильника = 7,8 м;

$h_o$  - мвисота від стелі до площини нормування = 8 м.

Розрахункова висота приміщення  $h$  визначається як

$$h = H - h_p - h_c, \text{ м}, \quad (6.1)$$

$$h = 8 - 0 - 0,2 = 7,8 \text{ м.}$$

Світловий потік однієї лампи визначається за формулою

$$\Phi = \frac{E_{\text{норм}} S k_{\text{зап}} Z}{N \eta}, \text{ лм}, \quad (6.2)$$

де  $E_{\text{норм}}$  – нормована освітленість, приймається 300 лк;

$S$  – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;

$k_{\text{зап}}$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження світлового потоку в період експлуатації освітлювальної установки, приймається  $k_{\text{зап}} = 1,3$ ;

$Z$  – поправочний коефіцієнт, що враховує нерівномірність падаючого на освітлювальну поверхню світлового потоку, приймається 1,15;

$N$  – кількість світильників або рядів світильників в освітлюваному приміщенні, штук;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, що залежить від типу світильника, тобто від кривої сили світла, залежний від коефіцієнту віддзеркалення стелі, стін і розрахункової поверхні від геометричних розмірів приміщення.

Для визначення коефіцієнта використання  $\eta$  знаходиться індекс приміщення як

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (6.3)$$

де  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$h$  – розрахункова висота, м.

За формулою (6.3)

$$i = \frac{50 \cdot 30}{8 \cdot (50 + 30)} = 2,34.$$

Визначається значення коефіцієнту використання  $\eta = 0,86$ .

Визначається площа освітлюваного приміщення як

$$S = AB, \text{ м}^2, \quad (6.4)$$

$$S = 50 \cdot 30 = 1500 \text{ м}^2.$$

За нормами [10], приймається  $N = 6$  шт. для одного ряду світильників, з відстанню від стін по довжині 4,15 метрів та 2,15 метрів по ширині приміщення. Загальна кількість світильників в приміщенні приймається  $N = 42$  шт.

За формулою (6.2)

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1500 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{42 \cdot 0,86} = 18625,42 \text{ лм}$$

Найближча по величині потоку лампа Osram HQI-T 250W/D PRO має світловий потік 20000 лм.

Визначається похибка розрахунку:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi}{\Phi_{\text{ст}}} \times 100\% , \quad (6.5)$$

$$\Delta\Phi = \frac{20000 - 18625,42}{20000} \cdot 100 = 6,87\% .$$

Отриманого значення світлового потоку від стандартного не виходить за допустимі межі в (-10...+20%). Отже остаточно вибирається лампа Osram HQI-T 250W/D PRO.

На початковому етапі розрахунку приймається, що світловий потік лампи в одному світильнику становить 1000 лм. Освітленість, яка при цьому утворюється, називається умовною і позначається літерою  $e$ .

Значення цієї умовної освітленості залежить від типу світлорозподілу світильника, а також від геометричних параметрів:  $d$  — відстані від розрахункової точки до вертикалі, що проходить через світильник, та  $h$  — висоти підвісу світильника над робочою поверхнею.

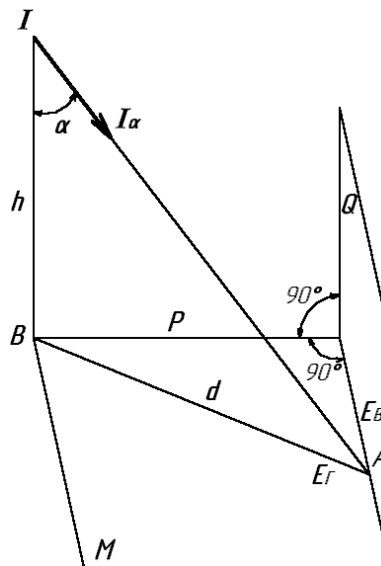


Рисунок 6.2 – Схема розрахунку освітленості точковим методом

На наступному етапі обчислюється загальна умовна освітленість  $\Sigma e$ , після чого визначається фактична освітленість у розрахунковій точці за відповідною формулою

$$E = \frac{\Phi_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot \Sigma e}{1000 \cdot k_{\text{зап}}}, \quad (6.6)$$

де  $\Phi_{\text{ст}}$  – стандартний світловий потік джерела світла ( $\Phi_{\text{ст}} = 20000$  лм);

$\mu$  – коефіцієнт, що враховує дію віддалених світильників (приймається  $\mu = 1,2$ ).

Розташування світильників по площі приміщення та розрахункові точки показані на рисунку 6.3. Результати розрахунку умовної освітленості приведені в таблиці 6.2.

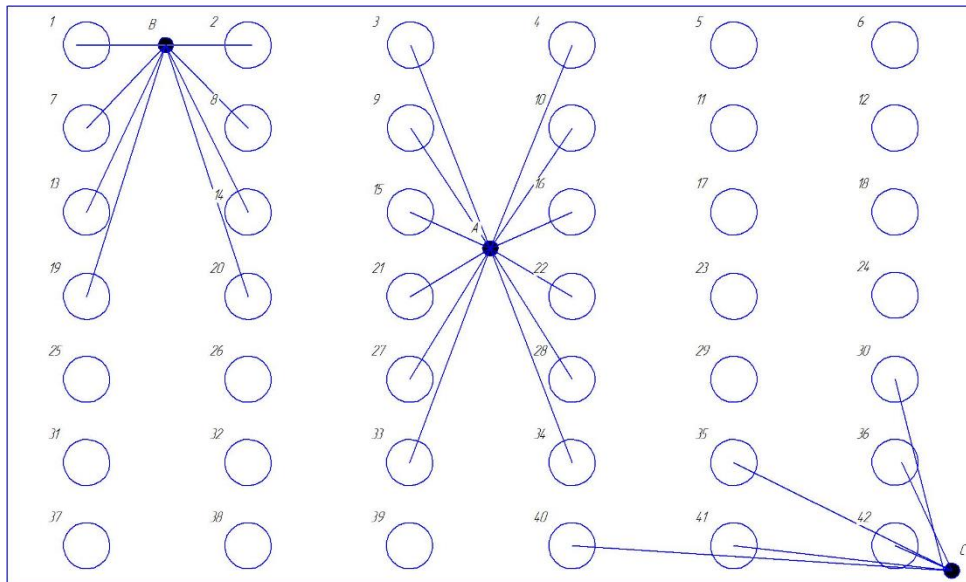


Рис. 6.3 – Розташування світильників робочого освітлення та розрахункових точок

Таблиця 6.2 – Розрахунок робочої освітленості точковим методом

Контрольна точка	№ світильника	Відстань d, м	Умове освітлення		
			від одного світильника	від усіх світильників	сумарна
1	2	3	4	5	6
А	3,4	11,5	0,35	0,7	16,86
	9,10	7,5	1,3	2,6	
	15,16	4,2	2,5	5,0	
	21,22	4,2	2,5	5,0	
	27,28	7,5	1,3	2,6	
	33,34	11,5	0,35	0,7	
	39,40	15	0,13	0,26	
В	1,2	4,2	3,3	6,6	14,21
	7,8	4,2	2,5	5,0	
	13,14	9,0	0,7	1,4	
	19,20	13,5	0,17	0,34	
	9	13,5	0,17	0,17	
	15	15,5	0,1	0,1	
	21	18,0	0,6	0,6	

Продовження таблиці 6.3

1	2	3	4	5	6
С	35	13	0,2	0,2	6,1
	36	6,5	1,5	1,5	
	41	12	0,3	0,3	
	42	3	3,3	3,3	
	30	10	0,5	0,5	
	40	19,5	0,3	0,3	

Фактична освітленість:

$$E_A = \frac{20000 \cdot 1,2 \cdot 16,86}{1000 \cdot 1,3} = 311,26 \text{ лк};$$

$$E_B = \frac{20000 \cdot 1,2 \cdot 14,21}{1000 \cdot 1,3} = 262,34 \text{ лк};$$

$$E_C = \frac{20000 \cdot 1,2 \cdot 6,1}{1000 \cdot 1,3} = 112,6 \text{ лк}.$$

Освітленість в контрольній точці А, В задовольняє вимогам норм освітленості, для освітлення спортзалу – 300 лк, освітленість в контрольній точці С не задовольняє нормам, тому що ця точка знаходиться у мало освітленій зоні (можливо установлення додаткових світильників на стінах приміщення).

Системи евакуаційного освітлення повинні передбачатися в приміщеннях та на відкритих просторах у таких випадках:

- у зонах, де пересування людей пов'язане з потенційною небезпекою;
- у коридорах і на сходах, якщо кількість осіб, які можуть одночасно евакуюватися, перевищує 50;
- уздовж головних проходів у виробничих приміщеннях із чисельністю персоналу понад 50 осіб;
- у сходових клітках житлових будівель висотою шість і більше поверхів;
- у залах громадських, адміністративних або допоміжних будівель промислових підприємств при можливому одночасному перебуванні понад 100 осіб;

- у виробничих приміщеннях з постійним перебуванням працівників, якщо вимкнення основного освітлення може створити ризик травмування;
- у виробничих зонах, що не мають доступу до природного світла.

У більшості випадків облаштування евакуаційного освітлення передбачає встановлення світильників уздовж основних шляхів руху.

У громадських, адміністративних та побутових будівлях виходи з приміщень, у яких можуть одночасно перебувати більше 100 осіб, а також виходи з виробничих зон без природного освітлення, де перебуває більше 50 осіб або площа яких перевищує 150 м<sup>2</sup>, мають бути обладнані відповідними показчиками.

Ці показчики можуть бути як світловими (з вбудованими джерелами світла, підключеними до системи аварійного освітлення), так і не світловими — за умови, що вони будуть достатньо освітлені аварійними світильниками.

Розміщення показчиків повинно передбачатися з інтервалом не більше 25 метрів, а також у точках повороту коридорів.

Освітлення безпеки повинно забезпечувати щонайменше 5% від рівня основного робочого освітлення, але не менше ніж 2 лк у внутрішніх приміщеннях і 1 лк на відкритих виробничих територіях. При цьому рівень

освітленості не повинен перевищувати 30 лк при використанні газорозрядних джерел світла та 10 лк — у випадку застосування ламп розжарювання.

Евакуаційне освітлення має гарантувати мінімальний рівень освітленості 0,5 лк на поверхні підлоги основних маршрутів проходу всередині приміщень, а також не менше 0,2 лк — на відкритих ділянках. Світильники, що застосовуються для освітлення безпеки у приміщеннях, можуть також виконувати функцію евакуаційного освітлення.

У приміщеннях, площа яких перевищує 60 м<sup>2</sup>, має передбачатися антипанічне освітлення, що забезпечує орієнтування людей для безпечного виходу до евакуаційних шляхів. Мінімальний рівень освітленості при цьому повинен бути не менше 0,5 лк на відстані понад 0,5 м від стін, з

нерівномірністю освітлення не гірше ніж 1:40. Тривалість роботи антипанічного освітлення повинна становити щонайменше одну годину з моменту ввімкнення.

### **6.6 Вибір джерел живлення для мереж робочого освітлення**

Відповідно до вимог розділу 2.1 ПУЕ [1], у мережах з напругою 380/220 В для живлення силового та освітлювального обладнання повинні використовуватись спільні трансформатори. У цьому випадку живлення мережі робочого освітлення здійснюється через щит робочого освітлення (ЩРО), який підключається безпосередньо до шин трансформаторної підстанції (ТП).

Згідно з ПУЕ, у межах однієї групової лінії дозволяється підключення не більше 20 газорозрядних ламп типу ДРІ на одну фазу.

Основним критерієм при виборі перерізу провідників є допустиме нагрівання, яке виникає внаслідок протікання електричного струму. Окрім цього, обраний переріз необхідно перевірити на відповідність вимогам до механічної міцності, допустимих втрат напруги, а також узгодити з параметрами встановлених засобів захисту. У практиці проектування особливу увагу приділяють саме останньому пункту, оскільки в освітлювальних мережах провідники зазвичай мають малий переріз, і вибір апаратів захисту стає визначальним фактором.

Згідно з вимогами до механічної міцності, мінімально допустимий переріз алюмінієвих провідників становить 2,5 мм<sup>2</sup>, а для мідних — не менше 1,5 мм<sup>2</sup>. Живильна мережа виконана із застосуванням чотирижильного кабелю марки АВВГ.

Кабель, який живить ЩРО вибирається за умовою нагрівання

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.о}}, \text{ А}, \quad (6.7)$$

де  $I'_{\text{доп}}$  – допустимий тривалий струм з урахуванням умов прокладки та температури навколишнього середовища, А;

$I_{p.o}$  – розрахунковий струм освітлювального навантаження, А.

Розрахунковий струм освітлювального навантаження визначається за формулою

$$I_{p.o} = \frac{\sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2}}{k_{\phi} U_{\phi}}, \text{ А}, \quad (6.8)$$

Де  $P_{p.o}$  – розрахункова активна потужність освітлювального навантаження, Вт;

$Q_{p.o}$  – розрахункова реактивна потужність освітлювального навантаження, вар;

$k_{\phi}$  – коефіцієнт фазності (приймається для  $k_{\phi} = 3$ );

$U_{\phi}$  – фазна напруга мережі ( $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ ).

Допустимий тривалий струм визначається як

$$I'_{\text{доп}} = \kappa_{\text{сер}} \kappa_{\text{пр}} \kappa_{\text{попр}} I_{\text{доп}}, \text{ А}, \quad (6.9)$$

де  $\kappa_{\text{сер}}$  – коефіцієнт, який враховує відхилення температури навколишнього середовища від стандартної величини ( $\kappa_{\text{сер}} = 1$ );

$\kappa_{\text{пр}}$  – поправковий коефіцієнт на кількість кабелів, що лежать поруч у землі ( $\kappa_{\text{пр}} = 1$ );

$\kappa_{\text{попр}}$  – поправковий коефіцієнт для приведення допустимого струму  $I_{\text{доп}}$  трижильного кабелю до чотирижильного ( $\kappa_{\text{попр}} = 0,92$ ).

Розрахункова активна потужність освітлювального навантаження визначається як

$$P_{p.o} = k_{пра} k_{п} N P_{л}, \text{ кВт}, \quad (6.10)$$

де  $k_{пра}$  – коефіцієнт, який характеризує втрати потужності в ПРА, (для металогалогених ламп приймається  $k_{пра} = 1,15$ );

$k_{п}$  – коефіцієнт попиту (для цивільних приміщень приймається  $k_{п} = 0,9$ );

$P_{л}$  – потужність однієї лампи, Вт.

Розрахункова реактивна потужність освітлювального навантаження визначається як

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}, \quad (6.11)$$

$\operatorname{tg} \varphi$  – відповідає значенню коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi = 0,5$ )

За формулами (6.10) - (6.11) активне та реактивне навантаження освітлювальної мережі дорівнює

$$P_{p.o} = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 42 \cdot 0,250 = 10,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = 10,9 \cdot 1,73 = 18,9 \text{ квар}.$$

За формулою (6.8) розрахунковий струм освітлювального навантаження дорівнює

$$I_{p.o} = \frac{\sqrt{10,9^2 + 18,9^2}}{3 \cdot 0,22} = 33,1 \text{ А}.$$

Вибирається кабель АВВГ(3х10+1х10) з допустимим тривалим струмом  $I_{доп} = 38 \text{ А}$ .

За умовою (6.7)

$$38 \text{ А} > 33,1 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Активне та реактивне навантаження на провід, який живить ряд світильників робочого освітлення за формулами (6.10) та (6.11) дорівнює

$$P_{p.o} = 1,15 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 0,250 = 1,73 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.o} = 1,73 \cdot 1,73 = 2,99 \text{ квар.}$$

Розрахунковий струм освітлювального навантаження за формулою (6.8)

$$I_{p.o} = \frac{\sqrt{1,73^2 + 2,99^2}}{3 \cdot 0,22} = 5,23 \text{ А.}$$

Вибирається провід АВВГ(4×2,5) з допустимим струмом  $I_{доп} = 16 \text{ А}$

$$16 \text{ А} > 4,99 \text{ А.}$$

Вибирається кабель, що живе щиток аварійного освітлення. Визначається освітлювальне навантаження на кабель, що живить світильники  $N = 8$  (реактивне навантаження для ламп розжарювання відсутнє)

$$P_{p.o} = 1 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 500 = 4 \text{ кВт.}$$

Розрахунковий струм освітлювального навантаження на провід визначається як

$$I_{p.o} = \frac{4}{3 \cdot 0,22} = 6,06 \text{ А.}$$

Вибирається кабель АВВГ(4×2,5) з допустимим струмом  $I_{доп} = 16 \text{ А}$ .

Вибраний переріз кабелю перевіряється за умовою нагрівання

$$16 \text{ А} > 6,06 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Вибирається провід, що живить ряд аварійних світильників ( $N = 4$ ).

Визначається освітлювальне навантаження на провід

$$P_{p.o} = 1 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 500 = 2 \text{ кВт.}$$

Визначається розрахунковий струм освітлювального навантаження на провід

$$I_{p.o} = \frac{2}{3 \cdot 0,22} = 3,03 \text{ А.}$$

Вибирається провід АВВГ(4×2,5) з допустимим струмом  $I_{доп} = 16 \text{ А}$ ., та перевіряється за умовою нагрівання

$$16 \text{ А} > 3,03 \text{ А.}$$

Умова виконується.

## 6.7 Перевірка вибраного провідника за втратою напруги

Згідно з нормами втрата напруги від джерела живлення до найбільш віддаленого світильника не повинна перевищувати 5 %.

Втрата напруги від джерела живлення до затискачів найбільш віддаленого світильника визначається за формулою

$$\Delta U = \frac{M}{CS}, \%, \quad (6.12)$$

де  $M$  – момент освітлювального навантаження, кВт·м;

$C$  – значення, яке визначається залежно від номінальної напруги мережі, типу обраної системи електропостачання та матеріалу, з якого виготовлений провідник (приймається  $C = 7,38$ );

$S$  – переріз провідника, мм<sup>2</sup>.

Момент навантаження визначається так:

$$M = \sum_{i=1}^n P_i l_i, \text{кВт} \cdot \text{м}, \quad (6.13)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки лінії, м;

$P_i$  – освітлювальне навантаження, яке проходить через  $i$ -ту ділянку лінії, кВт.

Для лінії що живить групу світильників робочого освітлення визначається момент навантаження так:

$$M = 10 \cdot (6 \cdot 0,25) + 8,3 \cdot (5 \cdot 0,25) + 8,3 \cdot (4 \cdot 0,25) + 8,3 \cdot (3 \cdot 0,25) + \dots$$

$$\dots + 8,3 \cdot (2 \cdot 0,25) + 8,3 \cdot (1 \cdot 0,25) = 50,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Втрати напруги в лінії, що живить групу світильників робочого освітлення визначається так:

$$\Delta U = \frac{50,6}{7,38 \cdot 2,5} = 2,74\% < 5\%.$$

Умова виконується.

Вибираються вимикачі ліній на ТП, від якої живиться щиток робочого освітлення, і на сусідній ТП, від якої живиться щиток аварійного освітлення.

Вибір запобіжників полягає у дотриманні наступних умов.

1) Номінальна напруга вибирається як

$$U_{\text{ном.зап}} \geq U_{\text{ном.м}}, \text{ В}, \quad (6.14)$$

2) Номінальний струм запобіжників

$$I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{р.о}}, \text{ А}, \quad (6.15)$$

3) Номінальний струм плавкої вставки вибирається за умовою

$$I_{\text{ном.вст}} \geq k_{\text{л}} I_{\text{р.о}}, \text{ А}. \quad (6.16)$$

де  $k_{\text{л}}$  – коефіцієнт, який враховує умови пуску лампи (для ламп типу МГЛ  $k_{\text{л}} = 1,2$ );

4) Номінальний струм запобіжника повинен бути не менший за номінальний струм плавкої вставки

$$I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{ном.вст}}, \text{ А}, \quad (6.17)$$

Оскільки, лінійні шафи на цехових ТП поставляються із стандартним обладнанням, то до ЩРО вибирається запобіжник НПН2-60 50,0 А.

За формулами (6.14)–(6.17)

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В},$$

$$50 \text{ А} > 33,1 \text{ А},$$

$$50 \text{ А} > 1,2 \cdot 33,1 = 39,72 \text{ А},$$

$$50 \text{ А} > 33,1 \text{ А}.$$

Умови виконуються. Кінцево вибирається запобіжник НПН2-60 50,0 А.

Для робочого освітлення і для аварійного освітлення використовується щиток ОЦВ-6 з вимикачами ВА47-60М (ІЕК) на відгалужувальних лініях.

Вибір автоматів полягає у дотриманні наступних умов.

1) Номінальна напруга вибирається як

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}, \text{ В}, \quad (6.18)$$

2) Номінальний струм автоматів

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р.о}}, \text{ А}. \quad (6.19)$$

3) Номінальний струм розчіплювача вибирається за умовою

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{р.о}}, \text{ А.} \quad (6.20)$$

4) Уставка спрацювання теплового розчіплювача перевіряється за умовою для робочого освітлення

$$I_{\text{с.п}} \geq k_l I_{\text{р.о}}, \text{ А,} \quad (6.21)$$

де  $k_l$  – коефіцієнт, який враховує умови пуску лампи (для ламп типу ДРІ  $k_l = 1,2$ ).

В ЩРО встановлюється автомат ВА47-60М 2р 40 А, характеристика спрацювання С. За формулами (6.18)–(6.21) для робочого освітлення

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В},$$

$$40 \text{ А} > 33,1 \text{ А},$$

$$40 \text{ А} > 1,2 \cdot 33,1 = 39,72 \text{ А},$$

$$40 \text{ А} > 33,1 \text{ А}.$$

Умови виконуються.

На ввіді в ЩАО встановлюється автомат ВА47-60М 2р 10 А ІЕК. За формулами (6.18)–(6.21) для аварійного освітлення

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В},$$

$$10 \text{ А} > 3,03 \text{ А},$$

$$10 \text{ А} > 1,2 \cdot 6,06 = 7,27 \text{ А},$$

$$10 \text{ А} > 3,03 \text{ А}.$$

Умова виконується.

### **6.8 Узгодження вибраних перерізів з апаратами захисту**

Провідники, переріз яких визначено на основі допустимого тривалого струмового навантаження з урахуванням нагріву, необхідно додатково перевірити на відповідність умовам узгодження з параметрами апаратури захисту.

$$I'_{\text{доп}} \geq K_{\text{зах}} I_{\text{зах}}, \text{ А,} \quad (6.22)$$

де  $K_{\text{зах}}$  – Згідно з ПУЕ, допустиме струмове навантаження на провідники повинне бути узгоджене з параметрами захисних пристроїв шляхом дотримання визначеної кратності (для запобіжника  $K_{\text{зах}} = 0,33$ );

$I_{\text{зах}}$  – струм захисного апарата (при застосуванні автоматичних вимикачів з тепловими розчеплювачами  $I_{\text{зах}} = I_{\text{у.т.р}}$ , при застосуванні запобіжника  $I_{\text{зах}}$  дорівнює струму плавкої вставки), А.

За формулою (6.22)

$$38 \text{ А} \geq 0,33 \cdot 40 = 13,2 \text{ А.}$$

Умова виконується, що свідчить про узгодженість вибраного перерізу провідника та апарату захисту.

Визначення питомих освітлювальних навантажень та вартості спожитої електроенергії за рік

$$p_{\text{п.о}} = \frac{P_{\text{р.о}}}{S}, \text{ Вт/м}^2, \quad (6.23)$$

де  $S$  – площа приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$P_{\text{р.о}}$  – розрахункова активна потужність освітлювальної установки, Вт.

$$p_{\text{п.о}} = \frac{10900}{1500} = 7,27 \text{ Вт/м}^2.$$

Для визначення вартості спожитої електроенергії потрібно знати тривалість роботи освітлювальної установки на протязі року. Приймається тривалість роботи  $T = 3458$  год/рік.

Тоді вартість спожитої електроенергії за рік визначається так:

$$C = c_{\text{п}} P_{\text{р.о}} T, \text{ грн}, \quad (6.18)$$

де  $c_{\text{п}}$  – питома вартість 1 кВт·год електроенергії ( $c_{\text{п}} = 1,34$  грн/(кВт·год));

$P_{\text{р.о}}$  – розрахункова активна потужність ОУ,  $P_{\text{р.о}} = 10,9$  кВт.

За формулою (6.18)

$$C = 1,34 \cdot 10,9 \cdot 3458 = 50507,5 \text{ грн/рік.}$$

## 7. ПРОЕКТУВАННЯ ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Заземлювальний пристрій включає в себе заземлювач та заземлювальні провідники. Заземлювачі бувають природні (елементи будівельних конструкцій або комунікацій, які мають контакт із землею) та штучні (спеціально встановлені металеві елементи для заземлення).

Під час проектування визначають розрахунковий струм замикання на землю та опір заземлювального пристрою, який повинен відповідати вимогам нормативних документів.

За додатковими даними  $I_3 = 25 \text{ А}$

Для мережі 10 кВ

$$R_3 \leq \frac{U_3}{I_3}, \quad (7.1)$$

де  $U_3 = 250 \text{ В}$ , якщо заземлюючий пристрій застосовується тільки для устаткування напругою вище 1000 В;

$U_3 = 125 \text{ В}$ , якщо заземлюючий пристрій використовується одночасно і для устаткування до 1000 В.

$$R_3 \leq \frac{125}{25} = 5 \text{ Ом}$$

Для мережі 0,4 кВ  $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$  (за ПБЕ). Приймається  $R_3 = 4 \text{ Ом}$  так, як заземлюючий пристрій загальний.

Опір штучних заземлювачів  $R_{шт}$ , Ом визначається за формулою

$$R_{шт} = \frac{R_{np.} \cdot R_3}{R_{np.} - R_3}, \quad (7.2)$$

де  $R_3$  – допустимий опір заземлюючого пристрою, Ом;

$R_{np.}$  – опір природних заземлювачів, Ом.

$$R_{шт} = \frac{12 \cdot 4}{12 - 4} = 6 \text{ Ом}$$

Розрахункове значення питомого опору ґрунту  $\rho_{розв}$ , Ом·м, з урахуванням підвищувальних коефіцієнтів, що враховують сезонне збільшення опору в зимовий та літній періоди, визначається за відповідною формулою

$$\rho_{роз. в.} = \psi_{\epsilon} \cdot \rho_{вим}, \quad (7.3)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт підвищення опору який враховує пересихання та перемерзання ґрунту;

$\rho_{вим}$  – вимірний питомий опір ґрунту, Ом·м, [14].

$$\rho_{роз. в.} = 1,5 \cdot 150 = 225 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір розтікання одиночного вертикального заземлювача може визначатися за приблизними формулами

– для заглибленого пруткового заземлювача діаметром 12 мм, довжиною 5 м

$$r_{в. пр.} = 0,27 \cdot \rho_{роз. в.} \quad (7.4)$$

$$r_{в. пр.} = 0,227 \cdot 225 = 51,07 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів  $n$ , шт, визначається за формулою

$$n = \frac{r_{в. пр.}}{R_{ум}} \quad (7.5)$$

$$n = \frac{51,07}{6} = 9 \text{ шт}$$

$$n = \frac{r_{в. пр.}}{R_{ум} \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (7.6)$$

де  $\eta_{\epsilon}$  – Використання вертикальних заземлювачів обирається залежно від коефіцієнта, що визначається співвідношенням відстані між заземлювачами до їх довжини, а також типу їх розташування;

$r_{в. пр.}$  – опір одиночного вертикального заземлювача, Ом.

$$n = \frac{51,07}{6 \cdot 0,87} = 10 \text{ шт}$$

Загальна довжина з'єднувальної полоси  $l_2$ , м, якщо електроди розташовані по контуру, визначається за формулою

$$l_2 = a \cdot n, \quad (7.7)$$

де  $a$  – відстань між електродами, м.

$$l_2 = 8 \cdot 4 = 32 \text{ м}$$

Розрахунковий питомий опір горизонтального заземлювача  $\rho_{роз.г}$ , Ом·м, визначається за формулою

$$\rho_{роз.г} = \psi_г \cdot \rho_{вим}, \quad (7.8)$$

де  $\psi_г$  – коефіцієнт підвищення опору горизонтального заземлювача [8];

$$\rho_{роз.г} = 2,5 \cdot 150 = 375 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір розтікання струму горизонтального заземлювача  $R_{з.г}$ , Ом, виготовленого зі сталевий смуги шириною  $b$  і товщиною  $h$ , визначається за відповідною розрахунковою формулою

$$r_{з.г} = \frac{0,366 \cdot \rho_{роз.г}}{l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t_2}, \quad (7.9)$$

де  $\rho_{роз.г}$  – розрахунковий питомий опір горизонтального заземлювача;

$l_2$  – загальна довжина полоси, м;

$b$  – ширина полоси горизонтального заземлювача, м:  $b = 40 \cdot 10^{-3}$  м;

$t_2$  – глибина заглиблення, м.

$$r_{з.г} = \frac{0,366 \cdot 375}{32} \cdot \lg \frac{2 \cdot 32^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 20,58 \text{ Ом}$$

Опір розтікання горизонтального заземлювача з урахуванням впливу екранування  $R_г$ , Ом, визначається за відповідною розрахунковою формулою.

$$R_г = \frac{r_{з.г}}{\eta_г}, \quad (7.10)$$

де  $\eta_г$  – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів [13].

$$R_г = \frac{20,58}{0,41} = 50,19 \text{ Ом}$$

Уточнене значення опору вертикальних заземлювальних електродів з урахуванням наявності горизонтального заземлювача  $R_г$ , Ом, також обчислюється за встановленою формулою

$$R_г = \frac{R_г \cdot R_{ум.}}{R_г + R_{ум.}} \quad (7.11)$$

$$R_6 = \frac{50,19 \cdot 6}{50,19 - 6} = 11,27 \text{ Ом}$$

Уточнюється точна кількість вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{r_{6.нр}}{R_6 \cdot \eta_6} \quad (7.12)$$

$$n = \frac{51,08}{11,27 \cdot 0,6} = 8 \text{ шт}$$

Загальний опір контура захисного заземлення визначається за формулою

$$R_{зaz} = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 \cdot \eta_6 + R_2 \cdot \eta_2 \cdot n} \quad (7.13)$$

$$R_{зaz} = \frac{11,27 \cdot 50,19}{11,27 \cdot 0,41 + 50,19 \cdot 0,36 \cdot 8} = 4 \text{ Ом}$$

Перевіряється виконання умови

$$R_{зaz} \leq R_{ум} \quad (7.14)$$

$$4 \text{ Ом} < 6 \text{ Ом}$$

### **7.1 Вимоги техніки безпеки при електричних випробуваннях в діючих електроустановках. Роботи з мегомметром та електровимірювальними приладами**

Для проведення випробувань допускаються тільки співробітники, які пройшли спеціальне навчання та успішно склали перевірку знань. Керівник робіт додатково повинен пройти місячне стажування під наглядом досвідченого працівника.

У посвідченні таких працівників має бути відповідна відмітка про проходження перевірки знань. Випробування електрообладнання як в межах електроустановки, так і за її межами (наприклад, на складах, відкритих територіях чи полях) з використанням пересувних випробувальних установок проводяться за спеціальним нарядом.

Такий наряд оформлює уповноважений працівник, який приймає рішення про доцільність проведення випробувань. Оперативний або оперативно-виробничий працівник із необхідними повноваженнями виконує допуск до випробувань у діючих електроустановках.

У недіючих електроустановках, на території підприємств або в польових умовах допуск здійснює керівник робіт згідно з нарядом. У випадках, коли випробування є частиною монтажу чи ремонту, це зазначається в графі "Доручається" наряду. В електроустановках напругою до 1000 В випробування можуть проводитися за розпорядженням.

Для виконання таких робіт формується бригада, яку очолює працівник із IV групою допуску, а також залучаються працівник із III групою та охоронець із II групою. Членами бригади можуть бути виробничі працівники для виконання підготовчих завдань і спостереження за обладнанням. У разі потреби в налагоджувальних роботах залучають фахівців відповідних організацій, при цьому керівництво випробуваннями покладається на керівника робіт або іншого працівника з IV групою зі складу лабораторії чи організації. Допуск для

випробувань або підготовчих робіт за нарядами здійснюється тільки після того, як усі інші бригади завершать роботу на обладнанні та здадуть наряди допускарю.

Якщо місцеві оперативні працівники відсутні, керівник робіт може залишити наряд у себе після перерви в роботі, забезпечивши подальше його оформлення. Зони, де розміщена випробувальна установка, обладнання для перевірки та з'єднувальні проводи, повинні бути огорожені за допомогою щитів або канатів із розміщенням попереджувальних плакатів "Випробування. небезпечно для життя!".

За монтаж огорожень відповідають члени бригади. На постах за необхідності виставляють охоронця з II групою допуску для недопущення сторонніх осіб. Якщо випробування проводяться на кабельній лінії, протилежний кінець якої розташовано в приміщенні чи відсіку, на дверях і огорожах слід закріпити попереджувальні знаки.

У разі незамкнених дверей або відсутності огорож виставляють додаткових охоронців. Коли випробувальна установка та об'єкт перевірки знаходяться у різних приміщеннях, дозволяється розміщення спостерігачів із III групою окремо від керівника робіт. Перед початком вони проходять інструктаж. Масові випробування ізоляційних матеріалів і захисних засобів поза електроустановками виконуються стаціонарними установками із забезпеченням відповідного огороження. Такі роботи може виконувати один працівник із III групою відповідно до локальних інструкцій.

## **7.2 Роботи з електровимірювальними кліщами та вимірювальними штангами**

У електроустановках із напругою понад 1000 В роботу з електровимірювальними кліщами мають виконувати двоє працівників із кваліфікаційними групами IV та III відповідно, за наявності належного розпорядження. Заборонено нахилитися до пристрою під час зчитування показів. Важливо, щоб ця робота завжди проводилася в діелектричних рукавичках.

У електроустановках із напругою до 1000 В допускається виконувати роботу з електровимірювальними кліщами одному працівнику, якщо він має групу III. У такому разі використання діелектричних рукавичок не є обов'язковим. Забороняється застосовувати електровимірювальні кліщі на опорах повітряних ліній електропередачі.

Робота з вимірювальними штангами передбачає залучення щонайменше двох осіб: один із них повинен мати групу IV, інші — групу III. Підніматися на конструкції або пристрої для підйому людей, а також спускатися з них, слід без штанги. Якщо необхідно піднятися на невелику висоту, допускається передача штанги вручну. Під час роботи зі штангою діелектричні рукавички використовувати не обов'язково.

### 7.3 Роботи з імпульсним вимірником ліній

Підключення імпульсного вимірювача дозволяється лише до знеструмленої та заземленої повітряної лінії (ПЛ). Послідовність виконання підключення має бути такою:

1. Спочатку приєднується з'єднувальний провід до заземленої проводки імпульсного вимірювача, яка з'єднана із захисним пристроєм. Після цього за допомогою ізолювальних штанг з'єднувальний провід приєднується до проводу ПЛ. Ізолювальні штанги, що використовуються під час цього процесу, повинні залишатися на проводі протягом усього періоду вимірювань. При роботі зі штангами необхідно використовувати діелектричні рукавички.

2. Після підключення знімається заземлення з ПЛ на тій стороні, де приєднано імпульсний вимірювач. За необхідності допускається зняття заземлення й на інших кінцях перевіряємої ПЛ. Після того як заземлення зняте, всю систему, що складається із з'єднувального проводу, захисного пристрою та підключень, слід вважати частиною, що знаходиться під напругою. Будь-які контакти з цією системою заборонені.

3. Після зняття заземлення необхідно демонтувати заземлення з проводки імпульсного вимірювача, і лише після цього розпочинати вимірювання.

Процес підключення імпульсного вимірювача до ПЛ через ізолювальні штанги виконується оперативним працівником із групою IV або працівником електролабораторії під наглядом оперативного персоналу. У випадках, коли імпульсний вимірювач підключається через стаціонарну комутаційну апаратуру до вже приєднаної проведеної ПЛ, вимірювання можуть виконувати самостійно черговий працівник або працівник із групою IV зі складу електролабораторії за відповідним розпорядженням. Після завершення вимірювань необхідно відновити заземлення ПЛ. Лише після цього допустимо знімати вимірювальні штанги зі з'єднувального проводу: спершу від'єднуються штанги від ПЛ, а потім від проводки імпульсного вимірювача.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було проведено комплексне дослідження з реконструкції системи електрифікації виробничого приміщення ТОВ «БВК Федорченко» з розробкою автоматизованої системи вентиляції. На основі аналізу діяльності підприємства та його енергетичного оснащення встановлено, що існуюча система електропостачання хоча й перебуває у задовільному технічному стані, однак потребує модернізації для підвищення енергоефективності, надійності та відповідності сучасним вимогам безпеки.

Було розроблено технічні рішення для реконструкції внутрішньоцехової електричної мережі, виконано необхідні розрахунки навантажень, обґрунтовано вибір трансформаторного, кабельного та захисного обладнання. Визначено доцільність використання трансформаторів типу ТМЗ-630/10 і сучасних комплектних конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності.

Особливу увагу приділено розробці автоматизованої системи вентиляції, яка включає функціональні, принципіві та монтажні схеми. Система забезпечує підтримання стабільного мікроклімату на виробництві, має ручний і дистанційний режими управління та дозволяє знизити енерговитрати. Також було спроектовано систему освітлення відповідно до діючих норм із урахуванням необхідного рівня освітленості, типів світильників і захисного обладнання.

У дипломній роботі враховано всі вимоги охорони праці, електробезпеки та екології. Отримані результати можуть бути впроваджені у виробничу практику та сприятимуть підвищенню надійності електропостачання, ефективності роботи обладнання й безпеки праці персоналу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO 12100:2021. Безпека машин. Загальні принципи проектування.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — К.: Міненерговугілля України, 2019.
3. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпека машин. Електрообладнання машин.
4. Сидоренко О.М. Електропостачання промислових підприємств. — К.: Либідь, 2020. — 312 с.
5. Guo, A., Yue, W., Yang, J., Li, M., Xie, P., He, T., Zhang, M., & Yu, H. (2023). Quantifying the impact of urban ventilation corridors on thermal environment in Chinese megacities. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111072>
6. Oh, S., Chang, J., Jeong, J., Yang, D.S., Ham, D.J., Kwon, H.J., Choi, H., Kim, M., Ha, J., Heo, H., Vervoort, R., & Lee, H.C. (2023). Effects of air purifiers and ventilation on particulate matter concentration at semi-outdoor space. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139903>
7. Костенко В.І., Павленко С.М. Електротехніка та основи електроніки. — Харків: НТУ «ХПІ», 2018. — 268 с.
8. Hao, H., Jiang, S., Wu, Z., Wang, K., & Xi, X. (2023). Experimental study on precise control air quantity on demand by the cooperation of multiple main fans in mine. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137626>
9. Shi, S., Miyata, S., Akashi, Y., Momota, M., Sawachi, T., & Gao, Y. (2024). Model-based optimal control strategy for multizone VAV air-conditioning systems for neutralizing room pressure and minimizing fan energy consumption. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111464>
10. Fulpagare, Y., Huang, K., Liao, Y., & Wang, C. (2022). Optimal Energy Management for Air Cooled Server Fans using Deep Reinforcement Learning Control Method. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112542>
11. Liu, Q., Liu, H., Wang, Y., Shang, X., & Wang, S. (2024). Acoustic mechanisms and tonal noise control of contra-rotating ducted fan by rotating speed regulation. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2024.109917>

12. Cao, J., Zhao, W., Song, J., Peng, J., & Yin, R. (2023). Development of a dynamic demand response quantification and control framework for fan-coil air-conditioning systems based on prediction models. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122098>
13. Schneider Electric. *Low Voltage Electrical Installation Guide*. — 2023.
14. Siemens. *Electrical Installation Handbook, 2021 Edition*. — Siemens AG.
15. ABB Group. *Technical Application Papers: Power Factor Correction, 2020*. — ABB.
16. Ковальчук І.П. *Охорона праці в галузі*. — К.: КНЕУ, 2020.
17. Андрущенко М.А. *Кабельні лінії напругою до 1 кВ*. — Харків: ХНУРЕ, 2019.
18. Гордієнко В.М. *Світлотехніка та освітлення*. - К.: Видавництво «Основа», 2017.
19. Степаненко Ю.В. *Проектування систем електропостачання*. - К.: НАУ, 2021.
20. Войтович В.В. *Розрахунок струмів короткого замикання*. — Львів: ЛНАУ, 2020.
21. ДСТУ EN 13141-8:2019 *Вентиляція в будівлях. Випробування експлуатаційних характеристик компонентів/виробів для вентиляції житлових приміщень. ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)*. Наказ від 21.12.2019 № 472 Про прийняття та скасування національних стандартів
22. **ВЕНТИЛЯЦІЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ** Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря (EN 13779:2007, IDT) ДСТУ Б EN 13779:2011



