МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему:Електропостачання термічного цеху моторобудівного заводу

Виконала: студентка 4 курсу, _____
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Заєць В.Д.
(ініціали та прізвище)

Керівник ст. викл. Прихно В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент к.т.н., доц., Башлій С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут
ім. Ю.М. Потебні

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
к.т.н., доц. Д.М. Морозов
«_____»_____2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Засць Владислав Денисович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: Електропостачання термічного цеху моторобудівного заводу
керівник роботи Прихно В.Л, ст.. викл
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_»_12__2025__року №_1833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи 20 травня 2026 р.
3 Вихідні дані до роботи: Технічна характеристика, навантажувальні діаграми роботи електропривода, характеристика існуючої системи керування електроприводом механізму пересування мостового крана
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Електропостачання термічного цеху моторобудівного заводу 2) Реконструкція електроприводу шляхом заміни релейно-контактних елементів на безконтактні 3) Охорона праці та захист навколишнього середовища.
Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) постановка задачі дослідження; 2) схема до реконструкції; 3,4) математичні моделі електропривода; 5) дослідження динамічних властивостей електропривода; 6) Графіки перехідних процесів пуску двигуна в п'ять ступенів та сім щаблів

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-3	Прихно В.Л., ст.. викл.		

6.Дата видачі завдання 01.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Електропостачання термічного цеху моторобудівного заводу	10.03.2026	
2	Охорона праці та захист навколишнього середовища	15.05.2026	

Студент _____ В. Д.Заєць
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ В. Л . Прихно
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ С.В.Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Заєць Владислав Денисович: Тема роботи: Електропостачання термічного цеху моторобудівного заводу.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник к.т.н., доц., Прихно В.Л.,. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні заочної форми здобуття освіти. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання електропостачання термічного цеху моторобудівного заводу. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення надійності, енергоефективності та безпеки роботи кранових механізмів у складних умовах металургійного виробництва. У роботі проаналізовано особливості технологічного процесу роботи термічного цеху, досліджено існуючу систему освітлення та визначено її основні недоліки..

У процесі дослідження було виконано реконструкцію системи керування асинхронним двигуном з фазним ротором шляхом заміни релейно-контактних елементів на сучасні безконтактні пристрої. Для модернізації системи запропоновано використання програмованого логічного контролера, твердотільних реле та джойстикового керування, що дозволило підвищити плавність пуску, зменшити динамічні навантаження та покращити експлуатаційні характеристики електропривода.

У роботі проведено розрахунок параметрів механізму пересування візка, вибір електродвигуна та аналіз режимів його роботи. Значна увага приділена дослідженню перехідних процесів пуску асинхронного двигуна з фазним ротором при різній кількості ступенів пускових резисторів. За допомогою програмного середовища Autocad 14 виконано моделювання механічних

характеристик електропривода, побудовано графіки зміни моменту, швидкості та струму під час пуску двигуна.

Порівняльний аналіз показав, що застосування семиступеневого пуску дозволяє зменшити кидки струму і моменту, знизити втрати електроенергії та покращити умови роботи механічної частини електропривода. У результаті модернізації підвищується надійність роботи обладнання, зменшуються витрати на технічне обслуговування та забезпечується більш стабільна робота кранового механізму в умовах металургійного виробництва.

Ключові слова: асинхронний двигун з фазним ротором, заливочний кран, електропривод, механізм пересування візка, програмований логічний контролер, твердотільне реле, безконтактна система керування, перехідні процеси, реостатний пуск, енергоефективність.

Zaiets Vladyslav Denysovych: Title of the thesis: Power Supply of the Thermal Shop of a Motor-Building Plant. Bachelor's Qualification Thesis for the degree of Bachelor in Specialty 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Academic Supervisor: Ph.D. in Engineering, Associate Professor Prikhno V.L., Zaporizhzhia National University, Yuriy Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute, part-time form of education. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2026.

This qualification thesis addresses the issues of power supply for the thermal shop of a motor-building plant. The relevance of the work is driven by the need to increase the reliability, energy efficiency, and operational safety of crane mechanisms under the demanding conditions of metallurgical production. The paper analyzes the specific features of the technological process in the thermal shop, examines the existing lighting system, and identifies its main disadvantages.

In the course of the research, the control system of a wound-rotor induction motor was reconstructed by replacing relay-contact elements with modern contactless devices. To modernize the system, the use of a programmable logic controller, solid-state relays, and joystick control was proposed. This allowed for a smoother start-up, reduced dynamic loads, and improved the operational performance of the electric drive.

The thesis includes calculations of the parameters of the trolley travel mechanism, the choice of the electric motor, and an analysis of its operating modes. Significant attention is paid to the study of transients during the start-up of the wound-rotor induction motor with varying numbers of starting resistor stages. Modeling of the mechanical characteristics of the electric drive was performed using the AutoCAD 14 software environment, and graphs illustrating the changes in torque, speed, and current during the motor start-up were constructed.

A comparative analysis demonstrated that the application of a seven-stage start-up reduces current and torque spikes, minimizes energy losses, and improves the operating conditions of the mechanical part of the electric drive. As a result of the modernization, the reliability of the equipment is increased, maintenance costs are reduced, and more stable operation of the crane mechanism is ensured under metallurgical production conditions.

Keywords: wound-rotor induction motor, ladle crane, electric drive, trolley travel mechanism, programmable logic controller, solid-state relay, contactless control system, transients, rheostatic starting, energy efficiency.

РЕФЕРАТ

ПЗ: 56 с.56, рис.3, табл,7, джерел.7

ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ, ЗАПОБІЖНИК, ПЕРЕРІЗ, МЕРЕЖА, ТРАНСФОРМАТОР, СТРУМ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, УСТАВКА, ЗАХИСТ, ЗАЗЕМЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИЛАД, ЕЛЕКТРОУСТАНОВКА

Об'єкт розроблення – Термічний цех.

Мета роботи - спроектувати та вибрати обладнання цеху.

Метод дослідження – методом упорядкованих діаграм

У дипломному проекті проведено розрахунки та вибір апаратів, трансформаторів, перерізів, тролейної лінії.

У дипломному проекті розроблені наступні питання:

- аналіз і характеристика виробничого процесу;

- розрахунок силового й освітлювального навантажень;

- визначення кількості й потужності трансформаторів КТП з урахуванням

Вибір схеми електропостачання цеха (I та II варіант), зроблено ТЕП та вибрано кращій варіант. Розраховані елементи навантаження методом упорядкованих діаграм, навантаження цехової мережі.[1]

Розраховані струми КЗ у мережі до 1 кВ, проведено захисне заземлення.

Розроблена схема електропостачання термічного цеху.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....2

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ….....4

ВСТУП.....5

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ Й СПОЖИВАЧІВ.....6

2 СВІТЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....7

3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИЛОВОЇ ТА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ.....12

4 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРА ЗА УРАХУВАННЯМ КОМПЛЕКСНОЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....20

5 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ І ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ МЕРЕЖІ.....32

6 РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ.....36

6.1 Вибір схеми й конструктивного виконання цехової мережі 36

6.2 Вибір установок захисних апаратів і провідників цехової мережі …….38

6.3 Розрахунок мережі освітлення.....39

6.4 Вибір тролейних лінії.....43

7 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ У МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ МЕНШЕ 1 кВ.....45

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....51

9 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ БЛОКУ КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ – ТРАНСФОРМАТОР ….....55

9.1 Максимальний струмовий захист блоку кабельної лінії.....55

9.2 Струмова відсічка без витримки часу блоку кабельної лінії.....57
9.3 Захист від замикань на землю.....58
9.4 Захист від перевантажень.....58
10 ОСНОВНІ ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ.....59
ВИСНОВКИ.....65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВ – автоматичний вимикач;

АВР – автоматичне включення резерву;

АД – асинхронний двигун;

ЕД – електричний двигун;

ЕП – електричний приймач;

ЗРП – замкнений розподільчий пристрій

КЗ – коротке замикання;

КЛ – кабельна лінія;

КП – компенсаційний пристрій;

КРП – комплектний розподільчий пристрій;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

ППР – плановий попереджувальний ремонт;

ПРА – пускорегулювальна апаратура;

РП – розподільчий пристрій;

СП – силовий пункт;

ТП – трансформаторна підстанція;

ЦТП – цехова трансформаторна підстанція;

ТБ – технічна безпека.

ВСТУП

Динамічний розвиток та нарощування потужностей у моторобудівній галузі сьогодні відбуваються в умовах значного зносу наявної інфраструктури. Це зумовлює гостру потребу в модернізації діючих енергосистем, впровадженні енергоефективних технологій та спорудженні нових, більш надійних електричних мереж.

Ключовою метою проєктування систем електропостачання для промислових об'єктів є створення економічно доцільних та безперебійних схем живлення. Це передбачає точне визначення оптимальної кількості й потужності цехових трансформаторів, а також розрахунок необхідного рівня компенсації реактивної потужності.

Водночас оптимізація конструктивних рішень мереж спрямована на мінімізацію витрат провідникових матеріалів, а вибір захисної та комутаційної апаратури здійснюється з чітким дотриманням критеріїв селективності, чутливості та надійності. В епоху стрімкого технологічного прогресу та появи високовартісного обладнання критично важливим стає пошук балансу між економічною обґрунтованістю проєктних рішень та повною відповідністю технічним параметрам енергосистеми.

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ Й СПОЖИВАЧІВ

У термічному цеху здійснюється термічна обробка металу. Для цього в цеху встановлені верстати, вентилятори, насоси, електропечі неавтоматизовані, мостові крани та інше обладнання.

За надійністю електропостачання цехові електричні приймачі належать до II та III категорій. За ПУЕ приміщення цеху матиме агресивне середовище.

Завантаження змін – 1; 0.8; 0.8.

Цех складається з 4-х прольотів розміром 12х70 м. Висота цеху 7,5 м. Матеріал цехових колон – залізобетон, ферм і підкранових балок – метал. До цеху пристроюється службово-побутове приміщення, яке висотою у два поверхи. Його розмір 6х35 м.

Джерело живлення для цеху РП – 10 кВ, розташоване у 35 метрах від цеху. Час використання максимального навантаження $T_м = 4500$ год/рік.

Струм КЗ на шинах РП – 10 кВ:

$I'' = 14{,}5$ кА, $I_\infty = 10{,}5$ кА.

2 СВІТЛО – ТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2006 «Природне і штучне освітлення», штучне освітлення за своїм функціональним призначенням поділяється на три основні види: робоче, аварійне та евакуаційне. Головною відмінністю між ними є нормований рівень освітленості.

- Робоче освітлення є обов'язковим для всіх приміщень підприємства, незалежно від їхнього профілю, і забезпечує найвищий (нормативний) рівень освітленості для комфортного виконання технологічних операцій.

- Аварійне освітлення (для продовження роботи) у цьому цеху не передбачається. Раптове припинення живлення та перебування персоналу в темряві не створює загрози вибуху, пожежі чи тривалого порушення критичних технологічних процесів.

- Евакуаційне освітлення є обов'язковим, оскільки в приміщенні одночасно перебуває понад 55 осіб. Його мета — забезпечення безпечного виходу персоналу під час аварійних ситуацій. Нормована освітленість на рівні підлоги вздовж ліній основних проходів має становити не менше **0,5 лк** у найменш освітлених точках.

Вихідні дані для розрахунку:

- Довжина приміщення (А): 70 м
- Ширина приміщення (В): 12 м
- Висота приміщення (Н): 7,5 м
- Умови середовища (за ПУЕ): Жарке

Для організації світлового середовища у виробничій зоні прийнято систему загального освітлення з рівномірним розташуванням світильників.

Зважаючи на висоту приміщення (понад 6 м), як основні джерела світла доцільно використовувати газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ (дугові ртутні), які відзначаються високою світловою віддачею та задовільною передачею кольору. Для встановлення обрано світильники серії РСП-11, що мають такі технічні характеристики:

- Клас світлорозподілу — прямого світла (П);
- Крива сили світла (КСС) — глибока (Г);
- Ступінь захисту оболонки — IP23.

Для мережі евакуаційного освітлення виробничих зон використовуються надійні лампи розжарювання. Водночас у службово-побутових приміщеннях цеху застосовуються газорозрядні лампи низького тиску (люмінесцентні лампи

серії ЛБ у відповідних світильниках), які гарантують високу рівномірність світлового потоку та якісну передачу кольору.

Методологія розрахунку та розміщення

При розрахунку світлотехнічної установки обов'язково враховується коефіцієнт запасу. Цей параметр компенсує природне зниження світлового потоку джерел світла в процесі експлуатації через їхнє старіння та забруднення захисного скла світильників.

У системі загального освітлення світильники розміщують над робочою поверхнею рівномірними, симетричними рядами для створення однорідного світлового поля по всій площі цеху. При визначенні оптимальної відстані між світильниками (або рядами) враховується критерій досягнення мінімальної встановленої потужності освітлювальної установки за умови повного дотримання нормативних вимог щодо рівномірності освітлення.

Розрахунок освітленості обов'язково включає коефіцієнт запасу, який компенсує тьмяність джерел світла через їхнє забруднення з часом.

Для створення стабільного світлового фону світильники загального освітлення розташовують симетричними рядами. Відстань між ними підбирають так, щоб отримати максимальну рівномірність освітлення за мінімальних витрат електроенергії.

Розрахунок висоти приміщення визначається по формулі:

$$h_{\text{р}} = H - (h_c + h_n) \qquad (2.1)$$

де $H = 6.5$ м - Висота приміщення;

$h_c = 0.7$ м - висота підвісу світильника;

$h_n = 0.8$ м - висота поверхні з нормальною освітленістю;

$$h_{\text{р}} = 6.5 - (0.7 + 0.8) = 5 \text{ м}$$

Парамтр λ характеризує рекомендоване співвідношення між висотою робочої поверхні та висотою світильника $\lambda_{\max} = 1.2,\ \lambda_{\min} = 0.8$.

$$\lambda = \frac{L}{h_{\text{р}}} \qquad (2.2)$$

Висота, на якій встановлюються світильники:

$$L_{\text{св}} = \lambda \cdot h_{\text{р}} \qquad (2.3)$$

$$L_{\text{св}} = 1.2 \cdot 5 = 6 \text{ м}$$

Рівномірне освітлення:

$$n_{\text{р}} = \frac{B - L_{\text{св}}}{L_{\text{св}}} + 1 \qquad (2.4)$$

$B = 12$ м - Ширина прольоту

$$n_{\text{р}} = \frac{12-6}{6} + 1 = 2$$

Число світильників у рядах:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - L_{\text{св}}}{L_{\text{св}}} \qquad (2.5)$$

$A = 72$ м – Довжина прольоту

$$n_{\text{св}} = \frac{72-6}{6} = 11$$

Число світильників у прольоті:

$$N_{\text{св}} = n_{\text{р}} \cdot n_{\text{св}} \qquad (2.6)$$

$$N_{\text{св}} = 2 \cdot 11 = 22$$

Індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{р}} \cdot (A+B)} \qquad (2.7)$$

$$i = \frac{72 \cdot 12}{5 \cdot (72+12)} = 2.06$$

Для світильника РСП - 11 коефіцієнти: $\rho_{\text{стелі}} = 70$ %; $\rho_{\text{стін}} = 50$ %; $\rho_{\text{роб.поверхні}} = 10$ %.

Площа одного прольоту:

$$S = A \cdot B \qquad (2.8)$$

$$S = 72 \cdot 12 = 864 \text{ м}^2$$

Розрахунок світлового потоку однієї лампи:

$$\Phi = \frac{E_{\text{норм}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot k_{\text{п}} \cdot S}{N_{\text{св}} \cdot k_{\text{в}}} \qquad (2.9)$$

де $E_{\text{норм}} = 200$ люкс – нормована освітленість робочої поверхні, Лк

$k_{\text{зап}} = 1.5$ – коефіцієнт запасу для ламп ДРЛ; $k_{\text{п}} = 1.1$

S – площа прольоту м^2

$N_{св}$ – кількість світильників

$k_в = 0.68$

$$Ф = \frac{200 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 864}{22 \cdot 0.68} = 19059 \text{ люкс}$$

В даному випадку приймаємо: ДРЛ – 400 = 18500 люкс.

Визначаємо фактичну освітленість на поверхності з урахуванням потужності ламп:

$$E_ф = \frac{Ф_{ст}}{Ф_{розрахункове}} \cdot E_{норм} \quad (2.10)$$

$Ф_{ст} = 18500$ люкс - світловий поток однії лампи;

$Ф_{розрахункове} = 19059$ люкс .

$$E_ф = \frac{18500}{19059} \cdot 200 = 194$$

$$\Delta E = \frac{E_ф - E_{норм}}{E_{норм}} \cdot 100\ \% \quad (2.11)$$

$$\Delta E = \frac{194 - 200}{200} \cdot 100\ \% = -3\ \%$$

$$-10\ \% \le -3\ \% \le 20\ \%$$

Визначаємо усталену потужність:

Нормативна освітленість 200 Лк для цеху $P_{уд} = 8.55$ Вт/м^2

$$P_{уст.лл} = P_{уд} \cdot Ф \quad (2.12)$$

$$P_{уст.лл} = 8.55 \cdot 445 \cdot 10^{-3} = 3.8 \text{ кВт}$$

Для службово-побутових приміщень прийняті люмінісцентні лампи ЛСП 02 – 2 ∗ 80.

Кількість світильників для прольоту:

$$n_{\text{св}} = \frac{3.8}{0.16} = 23.75$$

Приймаємо: $n_{\text{св}} = 24$;

$$P_{\text{уст}} = 24 \cdot 0.16 = 3.84 \text{ кВт}$$

3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИЛОВОЇ ТА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок навантаження освітлювальної мережі проводиться методом коефіцієнта попиту [2].

Розрахункове навантаження живлячої освітлювальної мережі визначаються помноженням встановленої потужності лампи на коефіцієнт попиту K_c, а для газорозрядних ламп – ще й помножений на коефіцієнт $K_{ПАР}$, що враховує втрати потужності в пусковій регулюючій апаратурі (ПАР).

Розрахункова потужність ламп:

$$P_{розр.лл} = k_{сп} \cdot k_{ПАР} \cdot P_{уст.лл} \qquad (3.1)$$

де K_c - коефіцієнт попиту;

$K_c = 0.85$ - для службово-побутового приміщення;

$K_c = 0.95$ - для приміщення цеху;

$K_{ПАР}$ - коефіцієнт втрат потужності в пусковій регулюючій апаратурі;

$K_{ПАР} = 1.2$ - для люмінесцентних ламп;

$K_{ПАР} = 1.1$ - для ламп ДРЛ.

$$P_{розр.лл} = 0.85 \cdot 1.2 \cdot 3.84 = 3.9 \text{ кВт}$$

Визначаємо розрахункові навантаження по активній та реактивній потужності:

$$Q_{розр} = P_{розр.лл} \cdot tg(\varphi) \qquad (3.2)$$

де $Q_{розр}$ - розрахункова реактивна потужність освітлюваної мережі;

$tg(\varphi)$ - коефіцієнт реактивної потужності;

$tg(\varphi) = 1.73$ - для люмінесцентних ламп;

$tg(\varphi) = 1.33$ - для ламап ДРЛ.

$$Q_{\text{розр}} = 3.9 \cdot 1.73 = 6.7 \text{ кВАр}$$

$$P_{\text{уст.ДРЛ}} = P_{\text{ном}} + n_p \cdot N_{\text{св}} \quad (3.3)$$

$$P_{\text{уст.ДРЛ}} = 0.4 * 4 + 22 = 24 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{розр}} = K_{\text{с}} \cdot K_{\text{ПАР}} \cdot P_{\text{уст.ДРЛ}} \quad (3.4)$$

$$P_{\text{розр}} = 0.95 \cdot 1.1 \cdot 24 = 25 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{розр.ДРЛ}} = P_{\text{розр}} \cdot tg(\varphi) \quad (3.5)$$

$$Q_{\text{розр.ДРЛ}} = 25 \cdot 1.33 = 33.25 \text{ кВАр}$$

Визначаємо активну та реактивну потужність освітлення:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{розр}} + P_{\text{розр.лл}} \quad (3.5)$$

$$P_{\text{осв}} = 25 + 3.9 = 29 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{осв}} = Q_{\text{розр}} + Q_{\text{розр.лл}} \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{осв}} = 33.25 + 6.8 = 40 \text{ кВАр}$$

3.2 Розрахунок силових навантажень

Розрахунок силових електричних навантажень проводиться за методом впорядкованих діаграм.[4] Електроприймачі (ЕП) в залежності від режиму роботи розділяються на 2 групи:

Група А ($К_и \geq 0{,}6$, ПВ = 100%) – постійний режим роботи;

Група Б ($К_и \leq 0{,}6$, ПВ ≠ 100%) – змінний режим роботи.

Визначається середнє навантаження за максимально завантажену зміну:

$$Р_{см} = К_{иі} \cdot Р_{номі} \quad (3.3)$$

$$Q_{смі} = K_{иі} \cdot P_{номі} \cdot tg\varphi_i \quad (3.4)$$

де, $Р_{номі} = Р_{уст}\sqrt{\frac{ПВ}{100}}$ – номінальна потужність ЕП, зведена то

ПВ = 100%;

Киі – коефіцієнт використання і-го ЕП;

$tg\varphi$і – коефіцієнт реактивної потужності і-го ЕП.

$$S_{см} = \sqrt{P^2_{смі} + Q^2_{смі}} \quad (3.8)$$

Розрахункове максимальне навантаження визначається за формулою:

$$Рм = Км \cdot Рсм \quad (3.9)$$

$$Q_м = \begin{cases} Q_м \text{ при } n_{еф} > 10 \\ 1{,}1 \cdot Q_м \text{ при } n_{еф} \leq 10 \end{cases}$$

де, $К_м$ – коефіцієнт максимума:
для групи А $К^А_м = 1$; для групи Б $К^А_м = f(n_е \cdot К^Б_{и.св.})$;

де $n_е$ – ефективне число Еп для групи Б;

$К^Б_{и.св}$ – середньозважений коефіцієнт використання для групи Б.

$$n_e = \frac{(\sum P^{Б}_{номi})^2}{\sum (P^{Б}_{номi})^2} \quad (3.10)$$

$$K_{и.св} = \frac{P^{Б\ см}}{\sum P^{Б}_{номi}} \quad (3.11)$$

$$P_{мм} = P^{А} + P^{Б} \quad (3.12)$$

$$Q_{мм} = Q^{А} + Q^{Б} \quad (3.14)$$

$$S_{мм} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.15)$$

Таблиця 3.1 – Вхідні данні для розрахунку електричних навантажень мотодом упорядкованих діаграм.

№ ЕП	Найменування ЕП	$P_{уст}$ кВт	$K_и$	cos φ	ПВ %
1	Вентилятор	14	0,7	0,8	100
2	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
3	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
4	Вентилятор	14	0,4	0,8	100
5	Ел.печі неавтом	40	0,6	0,95	100
6	Ел.печі неавтом	30	0,6	0,95	100
7	Вентилятор	14	0,7	0,8	100
8	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
9	Вентилятор	14	0,7	0,8	100
10	Ел.печі неавтом	40	0,6	0,95	100
11	Ел.печі неавтом	40	0,6	0,95	100
23	Кран	20,7	0,3	0,5	25
24	Двигуни	20,7	0,3	0,5	25
12	Насос	10	0,8	0,9	100
13	Ел.печі неавтом	30	0,6	0,95	100
14	Вентилятор	10	0,7	0,8	100
15	Ел.печі неавтом	30	0,6	0,95	100
16	Ел.печі неавтом	40	0,6	0,95	100
17	Вентилятор	10	0,7	0,8	100
18	Ел.печі неавтом	30	0,6	0,95	100
19	Ел.печі неавтом	30	0,6	0,95	100
20	Вентилятор	10	0,7	0,8	100

21	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
22	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
1	Ел.печі неавтом	30	0,6	0,95	100
2	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
3	Ел.печі неавтом	10	0,6	0,95	100
3	Ел.печі неавтом	10	0,6	0,95	100
4	Верстати	20	0,2	0,6	100
5	Верстати	14	0,2	0,6	100
6	Верстати	7	0,2	0,6	100
7	Верстати	4,5	0,2	0,6	100
8	Вентилятор	10	0,7	0,8	100
9	Вентилятор	7	0,3	0,8	100
10	Кран	20,7	0,3	0,5	25
11	Двигуни	20,7	0,3	0,5	25
1	Ел.печі неавтом	20	0,6	0,95	100
2	Ел.печі неавтом	15	0,6	0,95	100
3	Ел.печі неавтом	10	0,6	0,95	100
7	Кран	20,7	0,3	0,5	25
8	Двигуни	20,7	0,3	0,5	25
4	Вентилятор	40	0,8	0,85	100
5	Вентилятор	7	0,8	0,85	100
6	Насос	4,5	0,8	0,9	100
1	Ел.печі неавтом	40	0,6	0,95	100
2	Ел.печі неавтом	25	0,6	0,95	100
3	Ел.печі неавтом	12	0,6	0,95	100
4	Верстати	14	0,25	0,6	100
5	Верстати	10	0,25	0,6	100
6	Верстати	4,5	0,25	0,6	100
7	Вентилятор	12	0,25	0,85	100
8	Вентилятор	7	0,8	0,85	100
9	Кран	20,7	0,3	0,5	25
10	Двигуни	20,7	0,3	0,5	25

Результати розрахунку електричних навантажень наведені у таблиці 3.2

№	$P_{уст}$	P_m	Q_m	S_m	I_m	P_{cm}	Q_{cm}	S_{cm}
1	1967,7	1248,6	1116,9	1675,3	2418,0	1224,1	1116,9	1657,1
ШР1	616,6	345,7	157,23	379,76	577	318,6	154,03	372
ШР2	438,15	235,6	135,5	271,75	413	231,93	130	265,99
ШР3	487	230,7	191,6	299,9	455,6	220,6	184,35	287,5
СП4	190,94	112	35,9	117,6	178,7	112	35,9	117,6
СП5	118,4	57,4	45,05	72,93	110,8	54	41,8	68,31
СП7	130	74	30	79,9	121,44	74	30	79,9
СП8	116,1	67	25	71,5	108,63	67	25	71,5

Розрахунок активної та реактивної потужності цеху:

$$P_Р = P_{розр} + P_{осв} \tag{3.16}$$

$$P_Р = 1248.6 + 29 = 1278 \text{ кВт}$$

$$Q_Р = Q_{розр} + Q_{осв} \tag{3.17}$$

$$Q_Р = 1116.9 + 40 = 1157 \text{ кВАр}$$

4 ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРА ЗА УРАХУРАННЯМ КОМПЛЕКСНОЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розраховуємо 2 варіанти цехової підстанції для виконання техніко-економічного порівняння варіанті. Кількість встановлених трансформаторів залежить від категорії ЕП за надійністю.

Для живлення цеху з ЕП II та III категорії, можливе застосування КТП з одним трансформатором (I варіант), або КТП з двома трансформаторами (II варіант). При першому варіанті, обов'язково передбачається складський резерв трансформаторів, для швидкого відновлення роботи підстанції.

Для підстанції з одним трансформатором коефіцієнт завантаження коливається в діапазоні (0,9 + 0,95). Потужність трансформаторів вибирається з урахуванням установки комплектуючих пристроїв на сторону НН (НКУ).

Для першого варіанту:

Визначаємо розрахункову потужність трансформатора:

$$S_{\text{номтрозр1}} = \frac{P_p}{n_т \cdot k_з} \qquad (4.1)$$

$P_p = 1345$ - активне розрахункове навантаження, кВт;

$n_т = 1$ - кількість трансформаторів;

$k_з = 0.9$ - коефіцієнт завантаження для однофазного трансформатора.

$$S_{\text{номтрозр1}} = \frac{1278}{1 \cdot 0.9} = 1420 \text{ кВА}$$

Для однофазного трансформатора приймаємо КТП 2 * 1600 кВА трансформатор 1600/10:

$S_{\text{номТ}} = 1600$ кВА, $U_{\text{ВН}} = 10$ кВ, $U_{\text{НН}} = 0.4$ кВ, $U_{\text{К}} = 6$ %, $I_{\text{Х}} = 1$ %,

$\Delta P_{\text{Х}} = 2.65$ кВт, $\Delta P_{\text{К}} = 16.5$ кВт.

Відповідно можна встановити комплектну трансформаторну підстанцію КТП з трансформатором ТМЗ 1600/10.

Втрати реактивної потужності КТП:

$$\Delta Q_{КТП} = n_т \cdot \left(\frac{I_X \cdot S_{номТ}}{100} + k_з^2 \cdot \frac{U_К \cdot S_{номТ}}{100}\right) \quad (4.2)$$

$$\Delta Q_{КТП} = 1 \cdot \left(\frac{1 \cdot 1600}{100} + 0.9^2 \cdot \frac{6 \cdot 1600}{100}\right) = 94 \text{ кВАр}$$

Реактивна пропускна здатність трансформатора за реактивною потужністю:

$$Q_т = \sqrt{(k_з \cdot n_т \cdot S_{номТ})^2 - (P)^2} \quad (4.3)$$

$$Q_т = \sqrt{(0.9 \cdot 1 \cdot 1600)^2 - (1278)^2} = 664 \text{ кВАр}$$

Визначаємо розрахункову потужність компенсуючих пристроїв на сторону НН:

$$Q_{НКУ.розр} = Q_p + \Delta Q_{КТП} - Q_т \quad (4.4)$$

$$Q_{НКУ.розр} = 1247 + 94 - 664 = 677$$

Встановлюємо конденсаторну батарею = 800 кВАр

Повна потужність КТП:

$$S_{розр\ КТП} = \sqrt{P^2 + (Q_p + \Delta Q_{КТП} - Q_{НКУ.ст})^2} \quad (4.5)$$

$$S_{розр\ КТП} = \sqrt{1278^2 + (1157 + 94 - 900)^2} = 1325 \text{ кВАр}$$

Коефіцієнт завантаження:

$$K_{ЗГ} = \frac{S_{розр}}{n_т \cdot S_{номТ}} \quad (4.6)$$

$$K_{ЗГ} = \frac{1325}{1 \cdot 1600} = 0.8$$

Визначаємо реактивну потужність від енергосистеми:

$$Q_{ЭІ} = P_p \cdot tg(\varphi) \quad (4.7)$$

$$Q_{ЭІ} = 1278 \cdot 0.25 = 319 \text{ кВАр}$$

Визначаємо реактивну потужність ВКП:

$$Q_{ВКП} = Q_p + Q_т - Q_{НКУ.розр} - Q_{ЭІ} \quad (4.8)$$

$$Q_{ВКП} = 1157 + 514 - 827 - 319 = 525 \text{ кВАр}$$

Для другого варіанта:

Для підстанції з двома трансформаторами завантаження коливається(0,6 / 0,7). Це є доцільним варіантом , так як в ПАР допускається перевантаження одного з трансформаторів на 40 %.

Визначаємо розрахункову потужність

трансформаторів за формулою (4.1):

$$S_{номтрозр1} = \frac{1278}{2 \cdot 0.7} = 912.8 \text{ кВА}$$

Для КТП з двома трансформаторами 2 * 1000 кВА приймаємо трансформатор 1000/10.

$S_{номТ} = 1000$ кВА, $U_{ВН} = 10$ кВ, $U_{НН} = 0.4$ кВ, $U_К = 5.5$ %, $I_Х = 1.2$ %,

$\Delta P_X = 1.8$ кВт, $\Delta P_К = 10.9$ кВт.

Відповідно можна встановити комплектну трансформаторну підстанцію КТП з трансформатором ТМЗ 1000/10

Втрати реактивної потужності КТП за формулою (4.2):

$$\Delta Q_{КТП} = 2 \cdot \left(\frac{1.2 \cdot 1000}{100} + 0.7^2 \cdot \frac{5.5 \cdot 1000}{100}\right) = 78 \text{ кВАр}$$

Реактивна пропускна здатність за формулою (4.3):

$$Q_т = \sqrt{(0.7 \cdot 2 \cdot 1000)^2 - (1278)^2} = 572 \text{ кВАр}$$

Визначаємо розрахункову потужність компенсуючих пристроїв на сторону НН за формулою (4.4):

$$Q_{НКУ.розр} = 1247 + 78 - 572 = 753 \text{ кВАр}$$

Встановлюємо конденсаторну батарею = 900 кВАр.

Повна потужність КТП за формулою (4.5):

$$S_{розр\ КТП} = \sqrt{1278^2 + (1247 + 78 - 939)^2} = 1278 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт завантаження за формулою (4.6):

$$K_{ЗГ} = \frac{1278}{2 \cdot 1000} = 0.6$$

Коефіцієнт завантаження ПАР:

$$K_{ЗГ.ПАР} = K_{ЗГ} \cdot 2 \qquad (4.9)$$

$$K_{ЗГ.ПАР} = 0.6 \cdot 2 = 1.2$$

Визначаємо реактивну потужність від енергосистеми за формулою (4.7):

$$Q_{ЭІ} = 1278 \cdot 0.25 = 319 \text{ кВАр}$$

Визначаємо реактивну потужність ВКП

за формулою (4.8):

$$Q_{ВКП} = 1247 + 389 - 939 - 336 = 288 \text{ кВАр}$$

Для техніко-економічного розрахунку розглянемо два варіанти трансформаторної підстанції на рисунку 4.1

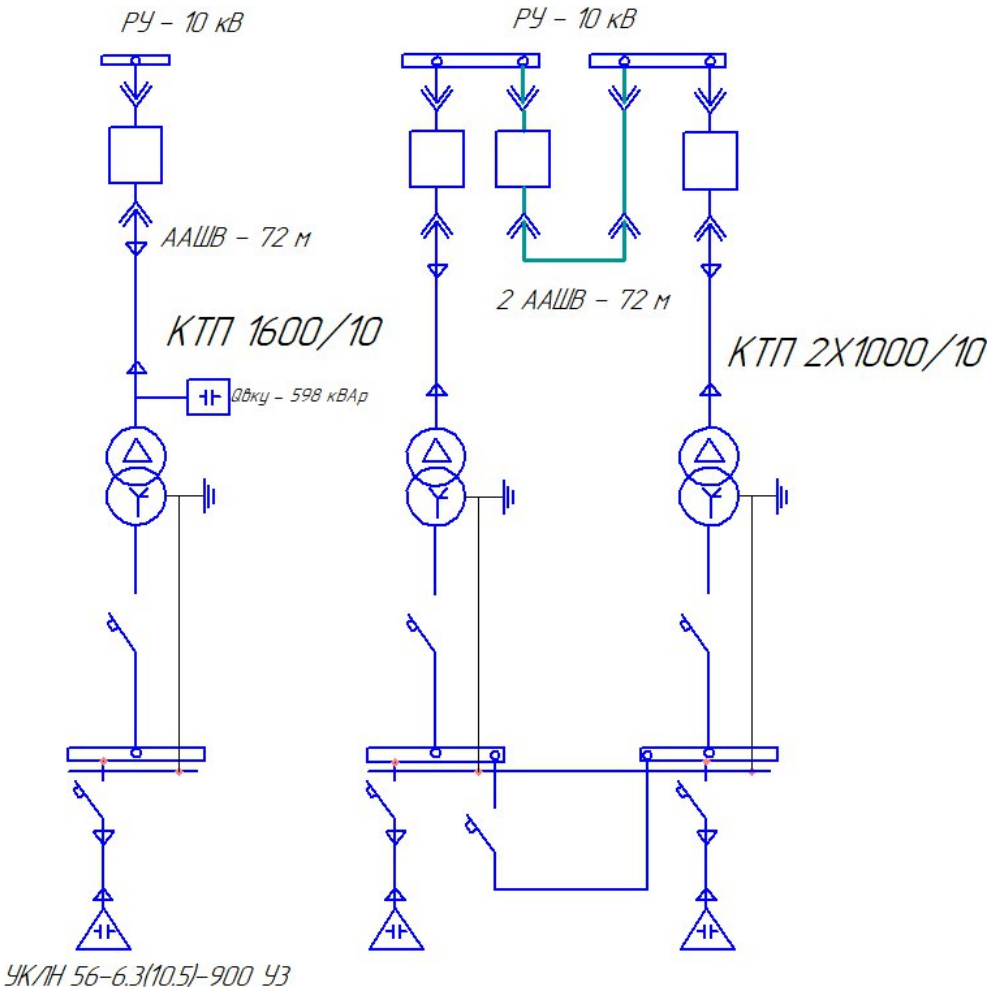


Рисунок 4.1 – Схема варіантів

електропостачання цеха а) І варіант

б) ІІ варіант

Техніко-економічне порівняння варіантів дозволяє визначити оптимальний варіант трансформаторної підстанції. Критерієм є мінімум річних витрат.

Техніко-економічне порівняння варіантів проводиться шляхом визначення наведених витрат по формулі:

$$З_i = Е_н \cdot К + И + У \quad (4.10)$$

де $Е_н = 0,12$ – нормативний коефіцієнт ефективності;

К – капітальні витрати;

И – експлуатаційні витрати;

У – збитки від перерви електропостачанням;

Капітальні витрати:

$$К = К_{ктп} + К_{кру} + К_{кл} + К_{нку} + К_{вку} \quad (4.11)$$

де $К_{ктп}$ – капітальні витрати на КТП;

$К_{кру}$ – капітальні витрати на КРУ;

$К_{кл}$ – капітальні витрати на кабельні лінії;

$К_{нку}$ – капітальні витрати на НКУ;

$К_{вку}$ - капітальні витрати на ВКУ;

Капітальні витрати кабельної лінії:

$$К_{кл} = К_{0кл} \cdot l_{кл} \quad (4.12)$$

де $l_{кл} = 70$ м – довжина кабельної лінії, км;

$К_{0кл}$ - питома вартість кабельної лінії;

$К_{0кл} = 5,1 \cdot 10^3$ у.о/км.

Капітальні витрати ВКУ:

$$К_{вкп} = К_{0ВКП} \cdot Q_{ВКП} \quad (4.13)$$

Питома вартість ВКП : $K_{0ВКП} = 2.3 \cdot 10^3$ у.о

Шафа КРУ - 10Ц з вимикачем 1-10/633 - 3,300 у.о.

Для першого варіанта КТП – 1 по 1600 – $38{,}5 * 10^3$ у.о

Для першого варіанта та другого струм:

$$I_р = \frac{S_{р.КТП}}{n_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (4.14)$$

$$I_р = \frac{1440}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 42 \text{ А}$$

$$I_р = \frac{S_{р.КТП}}{n_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (4.15)$$

$$I_р = \frac{1399}{\sqrt{3} \cdot 10} = 81 \text{ А}$$

Переріз для першого варіанта:

$$F_{эк} = \frac{I_р}{j_{эк}} \quad (4.16)$$

$j_{эк} = 1.2$ А/мм^2 – густина струму

$$F_{эк} = \frac{42}{1.2} = 35 \text{ мм}^2$$

Переріз для першого варіанта за формулою (4.17):

$$F_{эк} = \frac{81}{1.2} = 68 \text{ мм}^2$$

Приймаємо кабельну лінію: ААШВ - 3х35 мм^2; Питомий активний опір лінії: $R_0 = 0.894$ Ом/км.

Капітальні витрати на кабельну лінію для КТП з двома трансформаторами за формулою (4.12) :

$$K_{кл} = 5{,}1 \cdot 10^3 \cdot 0{,}072 = 367 * 10^{-3} \text{ у. о}$$

$$367 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 1{,}468 \cdot 10^1 = 14{,}7 \text{ тис грн}$$

Капітальні витрати на НКУ:

$$K_{нку} = 3.2 \cdot 10^3 \text{ у. о}$$

Капітальні витрати на ВКП за формулою (4.13):

$$K_{ВКП} = 2.3 \cdot 10^3 * 0{,}525 = 1{,}2 * 10^3$$

$$1{,}2 \cdot 40 = 48 \cdot 10^3 \text{ тис. грн}$$

Капітальні витрати двох трансформаторної КТП за формулою (4.11) : Капітальні витрати на КТП: $K_{КТП} = 28{,}9 \cdot 10^3$ у. о,

Капітальні витрати на КРУ: $K_{КРУ} = 3.300$ у. о
Капітальні витрати кабельної лінії: $K_{кл} = 367$ у. о

$$K = 28{,}9 \cdot 10^3 + 3.300 + 367 + 3{,}2 \cdot 10^3 + 1{,}2 \cdot 10^3 = 33668 \text{ у. о}$$

$$33{,}668 * 40 = 1{,}3 * 10^3 \text{ тис. грн}$$

КТП з одним трансформатором:

$$K_{нку} = 5{,}5 \cdot 10^3 \text{ у. о}$$

Капітальні витрати на ВКП для одно трансформаторної КТП за формулою (4.21):

$$K_{ВКУ} = 2.3 \cdot 10^3 * 0{,}827 = 2 * 10^3 \text{ у. о}$$

$$2 \cdot 40 = 80 \cdot 10^3 \text{ тис. грн}$$

Капітальні витрати для КТП з одним трансформатором за формулою (4.11) :

Капітальні витрати на КТП: $K_{КТП} = 38.5 \cdot 10^3$ у. о,

$$K = 38.5 \cdot 10^3 + 3.300 + 5.5 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3 = 49300 \text{ у. о}$$

$$49{,}3 \cdot 10^3 * 40 = 1{,}97 * 10^3 \text{ тис. грн}$$

Загальні експлуатаційні витрати:

$$И = И_а + И_о + И_{пот} \quad (4.17)$$

де $И_а$, $И_о$ – витрати на експлуатацію и обслуговування

$И_{пот}$ – витрати на покриття втрат електроенергії.

$$И_а + И_о = \frac{K_а + K_о}{100} \cdot K_i \quad (4.18)$$

$K_а = 6.4$ % - нормативний коефіцієнт на амортизацію та обслуговування

$K_о = 3$ %, $K_{акл} = 5.3$ %, $K_{окл} = 2$ %.

КТП з двома трансформаторами:

$$И_а + И_о = \frac{6.4 + 3}{100} \cdot 1.5 \cdot 10^6 = 141 \text{ тис. грн}$$

КТП з одним трансформатором:

$$И_а + И_о = \frac{5.3 + 2}{100} \cdot 14.4 = 1.1 \text{ тис. грн}$$

$$K_2 - K_{КЛ} = 1970 - 14.7 = 1955 \text{ тис. грн}$$

Всі капітальні витрати крім капіталовкладення на кабельні лінії:

$$(K_2 - K_{КЛ}) \cdot \frac{K_а + K_о}{100} \quad (4.19)$$

$$(1955) \cdot \frac{6.4 + 3}{100} = 183.77 \text{ тис. грн}$$

Витрати на покриття втрат електроенергії:

$$И_{пот} = C_w \cdot \Delta W_a \qquad (4.20)$$

ΔW_a – втрати активної електроенергії

$C_w = 3.5$ грн/кВт · год – тариф на електроенергію

Кількість годин максимальних втрат:

$$\tau_м = (0.124 + \frac{T_м}{8760})^2 \cdot 8760 \qquad (4.21)$$

$$\tau_м = (0.124 + \frac{5000}{8760})^2 \cdot 8760 = 4229 \text{ год/рік}$$

Для КТП з двома трансформаторами:

$I_x = 1.2$ %, $U_к = 5.5$ %, $\Delta P_K = 10.9$ кВт, $\Delta P_x = 1.8$ кВт, $I_р = 42$ А, $F_{эк} = 35$, $n_{кл} = 2$, $k_{зг} = 0.7$.

Для з одним трансформатором КТП:

$I_x = 1$ %, $U_к = 6$ %, $\Delta P_K = 16.5$ кВт, $\Delta P_x = 2.65$ кВт, $I_р = 81$ А, $F_{эк} = 35$, $n_{кл} = 1$, $k_{зг} = 0.9$.

Втрати активної енергії для варіанта № 1:

$$\Delta W_a = \Delta W_{КТП} + \Delta W_{кл} \qquad (4.22)$$

$$\Delta W_{КТП} = n_т \cdot (\Delta P_x \cdot 8760 + k_{зг}^2 \cdot \Delta P_K \cdot \tau_м) \cdot 10^{-3} \qquad (4.23)$$

$$\Delta W_{КТП} = 2 \cdot (1.8 \cdot 8760 + 0.7^2 \cdot 10.9 \cdot 4230) \cdot 10^{-3} = 77 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

Втрати активної енергії в кабельних лініях для варіанта № 1:

$$\Delta W_{кл} = n_{кл} \cdot 3 \cdot I_{кл}^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot \tau_м \cdot 10^{-6} \qquad (4.24)$$

$$\Delta W_{кл} = 2 \cdot 3 \cdot 42^2 \cdot 0.894 \cdot 0.072 \cdot 4229 \cdot 10^{-6} = 2.9 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_a = 77 + 2.9 = 79.9 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

Втрати активної енергії для варіанта № 2 за формулою (4.23) :

$$\Delta W_{КТП} = 1 \cdot (2.65 \cdot 8760 + 0.9^2 \cdot 16.5 \cdot 4229) \cdot 10^{-3} = 79.7 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

Втрати активної енергії в кабельних лініях для варіанта № 1 за формулою (4.24):

$$\Delta W_{кл} = 1 \cdot 3 \cdot 81^2 \cdot 0.894 \cdot 0.072 \cdot 4229 \cdot 10^{-6} = 5.4 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_a = 79.7 + 5.4 = 85.1 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

Витрати на покриття втрат електроенергії для варіанта № 1 за формулою (4.21) :

$$И_{пот} = 5 \cdot 79.9 = 399{,}5 \text{ тис. грн}$$

$$И_{пот} + (И_а + И_о) = 399{,}5 + 141 = 540{,}5 \text{ тис. грн}$$

Витрати на покриття втрат електроенергії для варіанта № 2 за формулою (4.20) :

$$И_{пот} = 5 \cdot 85.5 = 427{,}5 \text{ тис. грн}$$

$$И_{пот} + (И_а + И_о) = 427{,}5 + 1.1 = 428{,}6 \text{ тис. грн}$$

Збитки від перерви електропостачання:

$$У = У_0 \cdot Р_М \cdot g_Z \cdot 10^{-3} \qquad (4.25)$$

$У_0 = 40$ грн/кВт*год – питомі збитки

g_Z – сумарна ймовірність перерви електричного постачання

$$g_Z = \lambda_i \cdot T_{Bi} \qquad (4.26)$$

λ_i – параметр потоковідмови для і-того елемента

T_{Bi} – час відновлення для і-того елемента

Тариф, за яким розраховувалось – 5 грн.

Таблиця 4.1 Вихідні дані до розрахунку збитків

Найменування елемента	λ_i	T_{Bi}	g
КРУ	0.005	$1.2 * 10^{-3}$	$0.6 * 10^{-5}$
КЛ	0.078	0.01	$0.56 * 10^{-5}$
КТП	0.01	$7 * 10^{-3}$	$7 * 10^{-5}$
QF	$2.4 * 10^{-3}$	$2.3 * 10^{-3}$	$0.5 * 10^{-5}$

$$g_Z = g_{КРУ} + g_{КЛ} + g_{КТП} + g_{QF} \quad (4.27)$$

$$g_Z = 0.6 \cdot 10^{-5} + 0.56 \cdot 10^{-5} + 7 \cdot 10^{-5} + 0.5 \cdot 10^{-5} = 8.66 \cdot 10^{-5} \text{ у. о}$$

Збитки від перерви електропостачанням за формулою (4.33):

$$У = 40 \cdot 1248.6 \cdot 5000 \cdot (8.66 \cdot 10^{-5}) = 27 \text{ тис. грн}$$

Зведені витрати для варіанта № 2 за формулою (4.10) :

$$З = 0.12 \cdot 1500 + 359 = 539 \text{ тис. грн}$$

Зведені витрати для варіанта № 2 за формулою (4.10) :

$$З = 0.12 \cdot 1970 + 300.1 + 27 = 563{,}5 \text{ тис. грн}$$

$$\Delta З = \frac{З_{max} - З_{min}}{З_{min}} \cdot 100 \quad (4.28)$$

$$\Delta З = \frac{563{,}5 - 539}{539} \cdot 100 = 4{,}5\ \%$$

Якщо дельта становить $\Delta З > 4{,}5$ %, то приймаємо варіант №1. Так як два варіанти є еквівалентними, приймаємо до установки один трансформатор ТМЗ 1600/10 з огляду на те, що електричні приймачі цеху не відносяться до І категорії з надійності електропостачання.

Таблиця 4.1 – Порівняння економічних показників.

Показник	I варіант	II варіант	Абсолютний показник	Показник порівняння варіантів
Одноразові капіталовкладення, тис.грн	1970	1500	470	$\Delta K = \frac{1970 - 1500}{1970} \cdot 100\ \% = 23.9\ \%$
Річні експлуатаційні витрати, тис.грн	300	359	59	$\Delta И = \frac{359 - 300.1}{359} \cdot 100\ \% = 16.4\ \%$
Збиток від перерви електропостачання, тис.грн	27	-	27	-
Зведені витрати, тис.грн	563,5	539	83,4	$\Delta З = \frac{563,5 - 539}{539} \cdot 100\ \% = 4,5\ \%$

Наведені техніко-економічні розрахунки показали, що відносно приведених витрат перший варіант схеми є більш економним, тому цілком приймаємо I варіант з КТП 1600 кВА.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ І ПРОВІДНИКІВ ЖИВІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Для РП – 10 кВ вибираймо шафу КРУ типу КРУ – 10У з вакуумним вимикачем типу ВР – І – 10 – 20/630 У3.

Шафа КРУ складається з трансформатору типу: ТОЛ – 10 – 100/5У3.

Шафа КРУ складається з трансформатору струму нульової послідовності ТЗЛ.

Робочий максимальний струм на сторону високої напруги: умови вибору й перевірки шафи КРУ:

$$I_{\text{р.max}} = \frac{S_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{В}}} \quad (5.1)$$

$$I_{\text{р.max}} = \frac{1325}{\sqrt{3} \cdot 10} = 76 \text{ А}$$

Умови вибору та перевірки шафи КРУ:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{с}} \quad (5.2)$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.max}} \quad (5.3)$$

$$I_{\text{вим}} \geq I''_{\text{кз}} \quad (5.4)$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}} \quad (5.5)$$

$$I^2 \cdot t_T \geq I_{\infty}{}^2 \cdot t_T \quad (5.6)$$

Табиця 5.1 – Вибір КРУ та вимикача для РП – 10 кВ

Найменування	Вимикач ВР – 1 – 20/630 У3
$U_{ном} = 10$ кВ	$U_с = 10$ кВ
$I_{р.max} = 76$ А	$I_{ном} = 630$ А
$I''_{кз} = 14{,}3$ кА	$I_{вим} = 20$ кА
$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 14.3 = 36.4$ кА	$i_{дин} = 52$ кА
$I_{\infty}^2 \cdot t_T = 11{,}2^2 \cdot 3 = 376{,}3$ кА$^2 * с$	$I^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА$^2 * с$

Площа поперечного перерізу проводів КЛ – 10 кВ обирається за наступними умовами :

- Економічної густиною струму;
- Довгострокового допустимого нагрівання при ПАР;
- Термічної стійкості до струму КЗ.

$$F_{ек} = \frac{I_{р.max}}{j_{ек}} \qquad (5.7)$$

Економічна густина струму для КЛ з алюмінієвими жилами по $T_M = 5000 \frac{год}{рік}$ становить $j_{ек} = 1.2$

$$F_{ек} = \frac{76}{1.2} = 63 \text{ мм}^2$$

$$F_{min} = \frac{I_p \cdot \sqrt{T_п}}{C} \qquad (5.8)$$

де $C = 88$ – коефіцієнт для КЛ ААШВ при прокладці траншей;

$T_п$ – наведений час КЗ.

$$T_n = T_{nn} + T_{na} \tag{5.9}$$

$$T_{nn} = \frac{I''}{I_\infty} \tag{5.10}$$

$$T_{nn} = \frac{14.3}{11.2} = 1.28$$

$$T_{na} = 0.05 \cdot \left(\frac{I''}{I_\infty}\right)^2 \cdot T_{nn} \tag{5.11}$$

$$T_{na} = 0.05 \cdot \left(\frac{14.3}{11.2}\right)^2 \cdot 0.74 = 0.06$$

$$T_n = 0.74 + 0.06 = 0.8$$

$$F_{min} = \frac{11200 \cdot \sqrt{0.8}}{88} = 114 \text{ мм}^2$$

Обираємо найближчий стандартний перетин – 95 мм^2 марки ААШВ 3 х 95.

6 РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

6.1 Вибір схеми й конструктивного виконання цехової мережі

Для цехової мережі вибрана змішана схема для живлячої мережі 0.4 кВ із застосуванням 3-х шинопроводів типа ШРА – 73 і СП типа

ШР – 11 укомплектованими запобіжниками типа ПН – 2.

Для розподільної мережі прийнята радіальна схема.

Розташування КТП у цеху неможливо тому КТП виконується прибудованого типу в боку зовнішнього джерела живлення. КТП складається з силового трансформатора ТМ – 1600/10, шафа високого вводу ШВВ, шафи низьковольтного вводу ШНВ і двох лінійних шаф ШНЛ, укомплектованими автоматичними вимикачами серії ВА

Живляча мережа виконується кабельними лініями марки АВВГ, з прокладкою по стінам. Розподільна мережа 0,4 кВ виконана проводом марки АПВ з прокладкою у підлозі в пластикових трубах.

Таблиця 6.1 – Вибір розподільних шинопроводів

№	$I_{розр}$, А	Тип ШР	$I_{ном}$, А
ШР1	577	ШРА – 73	630
ШР2	413	ШРА – 73	630
ШР3	455,6	ШРА – 73	630

6.2 Вибір установок захисних апаратів і провідників цехової мережі

Установки автоматичних вимикачів вибираються за наступними умовами:

$$I_{\text{тр.доп}} \geq I_p \tag{6.1}$$

$$I_{\text{тр.доп}} \geq I_{\text{номт.розр}} \tag{6.2}$$

$$I_{\text{ел.відс}}{}^{(1)} \geq 1.25 \cdot I_{\text{п}} \tag{6.3}$$

$$\frac{I_{\text{к}}{}^{(1)}}{I_{\text{відс.}}} \geq 1.4 \tag{6.4}$$

де $I_{\text{номт.розр}}$ – номінальний мтрум теплового розчеплювача АВ;

$I_{\text{ел.відс}}$ – струм електромагнітного відсічення;

I_p – розрахунковий струм лінії;

$I_{\text{тр.доп}}$ – довгостроковий припустимий струм;

$I_{\text{п}}$ – піковий струм лінії;

$I_{\text{к}}{}^{(1)}$ – струм однофазного КЗ;

Піковий струм лінії:

$$I_{\text{п}} = I_p + (\text{K}_{\text{п}} - 1) \cdot I_{\text{номт.max}} \tag{6.5}$$

де $\text{K}_{\text{п}}$ - коефіцієнт пуску двигуна з максимальною потужнісю;

Переріз КЛ вибирається за наступними умовами:

$$I_{\text{тр.доп}} \geq I_{\text{розр}} \tag{6.6}$$

Вибір установок АВ і перерізу КЛ наведені у таблиці 6.2

Таблиця 6.2 – Вибір установок АВ і перерізів КЛ для живлячої мережі [3]

Найменування лінії	$I_{розр}$, А	$I_п$, А	Кабель Марки	Переріз поровода АВВГ мм^2	$I_{тр.доп}$, А	АВ		
						$I_{номт.розр}$	$I_{ел.відс}$	Тип АВ
ШР – 1	548	738	АВВГ	3[(3х120)+1х70]	600	630	1890	ВА51-39
ШР – 2	392	772	АВВГ	3[(3х120)+1х70]	400	400	1200	ВА51-37
ШР – 3	433	813	АВВГ	3[(3х120)+1х70]	600	630	1890	ВА51-39
СП – 4	170	303	АВВГ	3[(3х120)+1х70]	200	200	600	ВА51-35
СП – 5	105.3	200,3	АВВГ	[3х(120)+1х70]	200	200	600	ВА51-35
СП – 7	115,4	210,4	АВВГ	[3х(70)+1х35]	140	125	375	ВА51-33
СП – 8	242	420,1	АВВГ	[3х(150)+1х90]	260	250	750	ВА75-45
Ввід	2081	2294	АВВГ	-	-	2500	5000	ВА75-41
$k_у$	913	913	АВВГ	5[(3х120)+1х70]	1000	1000	3000	ВА35-31
ЩО	99	99	АВВГ	[3х(35)+1х16]	120	100	300	ВА51-35

Для розподільної мережі вибираємо провод АПВ та пилові пункти: Номінальний струм плавкой вставки вибирається за умовами:

$$I_{пл.вст} = \frac{I_п}{2,5} \qquad (6.7)$$

Де $I_п$ – пусковий або піковий струм;

Таблиця 6.3 – Вибір установок запобіжників і перерізів проводів розподільчої мережі [4]

№ ЕП	$I_р$ А	$I_{пуск}$, А	Провод				Запобіжник	
			Марка	Переріз	$I_{тр.доп}$, А	$I_{тип}$	$I_{ном}$, А	$I_{ном.пл.вст}$, А
1	64	40	АПВ	(3х25)+1х16	74	ПН – 2	100	80
2	48	30	АПВ	3х(1х16)+1х10	55	ПН – 2	80	63
3	190	38	АПВ	3х(1х10)+1х16	46	ПН – 2	100	76
4	95	19	АПВ	3х(1х4)+1х2,5	26	ПН – 2	63	38
5	95	19	АПВ	3х(1х4)+1х2,5	26	ПН – 2	63	38
6	95	19	АПВ	3х(1х4)+1х2,5	26	ПН – 2	63	38
8	135	27	АПВ	3х(1х6)+1х4	36	ПН – 2	80	54
9	190	38	АПВ	3х(1х10)+1х16	46	ПН – 2	100	76
10	135	27	АПВ	3х(1х6)+1х4	36	ПН – 2	80	54
11	65	13	АПВ	4х(1)+2,5	19	ПН – 2	40	26
12	42.5	8.5	АПВ	4х(1)+2,5	19	ПН – 2	40	17
13	11	7	АПВ	4х(1)+2,5	19	ПН – 2	63	40
14	24	15	АПВ	3х(1х6)+1х4	36	ПН – 2	63	40
15	380	76	АПВ	3х(1х25)+1х2,5	90	ПН – 2	200	156
16	65	13	АПВ	4х(1)+2,5	19	ПН – 2	40	26
17	42.5	8.5	АПВ	4х(1)+2,5	19	ПН – 2	40	17
18	235	47	АПВ	(3х16)+1х10	55	ПН – 2	125	94
19	115	23	АПВ	3х(1х4)+1х2,5	26	ПН – 2	63	46
20	115	23	АПВ	3х(1х4)+1х2,5	26	ПН – 2	63	46

6.3 Розрахунок системи освітлення

Для освітлення застосовуємо радіально-магнітну схему живлення щита освітлення (ЩО) типу ПР – 8501 з автоматичним вимикачем серії ВА5131 від РП – 0,4 кВ.

Групові щити освітлення ЯОУ – 8501 з вимикачами АЕ – 1031 живляться від щитка освітлення по радіальних лініях. Живлення світильника прокладається магнітними схемами.[6]

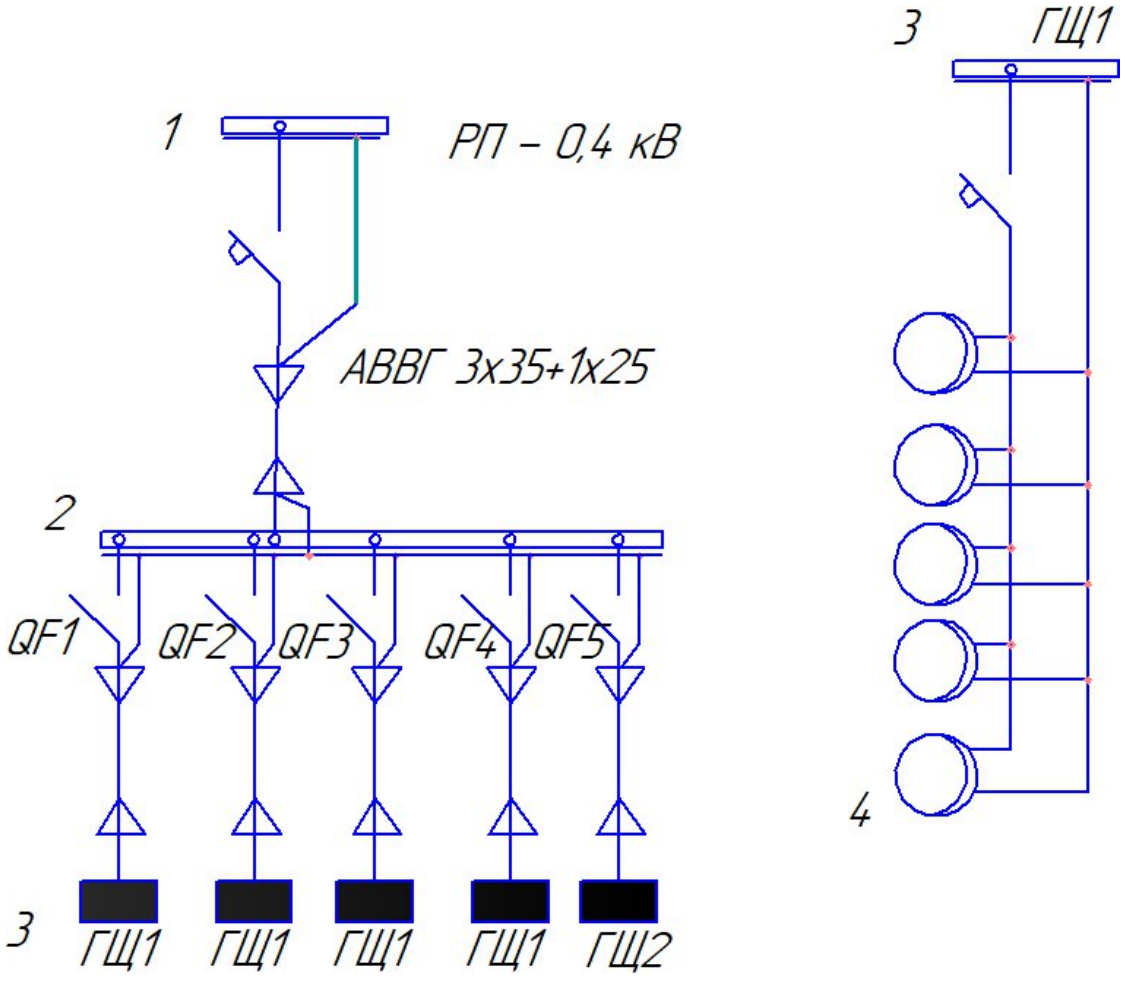


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема системи освітлення

Струм для щитків освітлення:

$$I_{що} = \frac{S_{р.осв}}{\sqrt{3}\cdot U} \quad (6.8)$$

$$I_{що} = \frac{68.9^{c}}{\sqrt{3}\cdot 0.4} = 99\ А$$

$$I_{гщі} = \frac{P_{ном.осв}\cdot n_{св}}{\sqrt{3}\cdot U_{с}\cdot\cos(\varphi)} \quad (6.9)$$

$$I_{гщі} = \frac{0.4\cdot 22}{\sqrt{3}\cdot 0.4\cdot 0.6} = 21\ А$$

$$I_{гщ2} = \frac{P_{уст}}{\sqrt{3}\cdot U_{с}\cdot\cos(\varphi)} \quad (6.10)$$

$$I_{гщ2} = \frac{3.84}{\sqrt{3}\cdot 0.4\cdot 0.5} = 11\ А$$

$$I_{З} = \frac{P_{ном.св}\cdot n_{пр}}{U_{ф}\cdot\cos(\varphi)} \quad (6.11)$$

$$I_{З} = \frac{0.4\cdot 4}{0.22\cdot 0.6} = 12\ А$$

Для лінії 1-2 обираємо КЛ АВВГ (3х50)+1х25 мм^2

$$(I_{тр.доп} = 110) > I_{р} = 99\ А$$

Для QF 1-2 обираємо автоматичний вимикачь ВА51-31

$$(I_{ном} = 100) > I_{р} = 99\ А$$

Для лінії 2-3 обираємо КЛ АВВГ 4(1х2,5) мм^2

$$(I_{тр.доп} = 19) > I_{р} = 11\ А$$

Для QF 2-3 обираємо автоматичний вимикач ВА51-31

$$(I_{ном} = 20) > I_{р} = 11 \text{ А}$$

Для лінії 2-4 обираймо КЛ АВВГ 4(1х2,5) мм^2

$$I_{\text{тр.доп}} = 19\ \text{А} > I_{\text{р}} = 12\ \text{А}$$

Для QF 2-4 вибираємо автоматичний вимикачь ВА51-31

$$I_{\text{ном}} = 16\ \text{А} > I_{\text{р}} = 12\ \text{А}$$

Для групового цитка обираємо:

Для лінії АПВ 2(1х2,5) мм^2

$$I_{\text{тр.доп}} = 20\ \text{А} > I_{\text{що}} = 21\ \text{А}$$

Автоматичний вимикач 6хВА51-31

$$I_{\text{ном}} = 20\ \text{А} > I_{\text{р}} = 21\ \text{А}$$

Перевіряємо вибрані перерізи за втратою напруги для більш віддаленого світильника:

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{\text{р.КТП}}}{S_{\text{розр.КТП}}} \tag{6.12}$$

$$\cos(\varphi) = \frac{1282}{1440} = 0.89$$

$$\sin(\varphi) = \frac{Q_{\text{р.КТП}} + \Delta Q_{\text{т}} - Q_{\text{НКУ}}}{S_{\text{розр.КТП}}} \tag{6.13}$$

$$\sin(\varphi) = \frac{1173 + 92 - 600}{1440} = 0.46$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{10 \cdot S_{\text{ном}}} \tag{6.14}$$

$$U_a = \frac{16.5}{10 \cdot 1.6} = 1$$

$$U_p = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_a^2} \tag{6.15}$$

$$U_p = \sqrt{6^2 - 1^2} = 5.9$$

$$\Delta U_{КТП} = U_a \cdot \cos(\varphi) + K_{3Г}^2 \cdot U_p \cdot \sin(\varphi) \quad (6.16)$$

$$\Delta U_{КТП} = 1 \cdot 0.89 + 0.9^2 \cdot 5.9 \cdot 0.46 = 3$$

$$\Delta U_{О} = \frac{P_{ном.що} \cdot l_{що}}{C \cdot F_{О}} \quad (6.17)$$

$$\Delta U_{О} = \frac{39 \cdot 20}{46 \cdot 50} = 0.3$$

$$\Delta U_{Г} = \frac{P_{ном.гщ} \cdot l_{гщ}}{C \cdot F_{Г}} \quad (6.18)$$

$$\Delta U_{Г} = \frac{8.8 \cdot 60}{46 \cdot 6} = 1.91$$

$$\Delta U_{св} = \frac{(\sum P_{ном.св} \cdot l_i)}{C \cdot F_{св}} \quad (6.19)$$

$$\Delta U_{св} = \frac{0.4 \cdot (20 + (1 + 2 + 4) \cdot 6)}{46 \cdot 4} = 0.6$$

$$\Delta U_{свЕ} = 5 + \Delta U_{доп} \quad (6.20)$$

$\Delta U_{доп}$ = 2.5 %

$$\Delta U_{свЕ} = 5 + 2.5 = 7.5$$

$$\Delta U_{свЕ} = \Delta U_{КТП} + \Delta U_{О} + \Delta U_{Г} + \Delta U_{св} \quad (6.21)$$

$$\Delta U_{свЕ} = 3 + 0.3 + 1.91 + 0.6 = 5{,}8\ \%$$

$$-2{,}5\ \% < \Delta U_{свЕ} = 7{,}5\ \% < 5{,}8\ \% < 6\ \%$$

6.4 Вибір тролейних лінії

До тролейної лінії підключення мостовий кран потужністю 20,7 кВт.

Визначаємо номінальний і пусковий струми для двигуна максимальної потужності:

Для двигуна масового крану:

$$I_{\text{ном.max}} = \frac{P_{\text{уст.max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi)} \tag{6.22}$$

де $P_{\text{уст.max}} = 11$ кВт – максимальна усталена потужність

$U_{\text{ном}} = 0.38$ – номінальна напруга

$$I_{\text{ном.max}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.8} = 21 \text{ А}$$

$$I_{\text{пік}} = I_{\text{ном.max}} \cdot K_{\text{ПУСК}} \tag{6.23}$$

$K_{\text{ПУСК}} = 6$ – коефіцієнт пуску

$$I_{\text{пік}} = 21 \cdot 6 = 126 \text{ А}$$

Споживча потужність:

$$P_{\text{потр}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{100}}}{\eta} \tag{6.24}$$

$\eta = 0.91$ – коефіцієнт корисної дії

$$P_{\text{потр}} = \frac{20.7 \cdot \sqrt{\frac{25}{100}}}{0.91} = 11.4 \text{ кВт}$$

$$11.4 \cdot 2 = 22.8 \text{ кВт}$$

Для тролеї із масовим краном $K_c = 0.4$ та $K_c = 0.5$

$$I_{\text{М}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{потр}} \cdot K_{\text{с}})^2 + (P_{\text{потр}} \cdot K_{\text{с}} \cdot \text{tg}(\varphi))^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (6.25)$$

$$I_{\text{М1}} = \frac{\sqrt{(11.4 \cdot 0.5)^2 + (11.4 \cdot 0.5 \cdot 1.33)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 21 \text{ А}$$

$$I_{\text{М2}} = \frac{\sqrt{(22.8 \cdot 0.4)^2 + (22.8 \cdot 0.4 \cdot 1.33)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 38 \text{ А}$$

Критичний струм для тролеї з краном:

$$I_{\text{КР}} = I_{\text{М}} + I_{\text{пік}} - I_{\text{ном.max}} \quad (6.26)$$

$$I_{\text{КР1}} = 21 + 126 - 21 = 126 \text{ А}$$

$$I_{\text{КР2}} = 38 + 126 - 21 = 143 \text{ А}$$

Струм допустимий плавкої вставки:

$$I_{\text{доп.пл.вст}} = \frac{I_{\text{КР}}}{2.5} \quad (6.27)$$

$$I_{\text{доп.пл.вст1}} = \frac{126}{2.5} = 50 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп.пл.вст2}} = \frac{143}{2.5} = 57 \text{ А}$$

Приймаємо струм допустимий плавкої вставки: $I_{\text{доп.пл.вст1}} = 63$ А, $I_{\text{доп.пл.вст2}} = 63$ А.

7.РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ У МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ МЕНШЕ 1 кВ

Розрахунок струмів КЗ здійснюємо для найбільш віддаленого ЕП під'єднаного до СП4.

Розрахунок виконується методом іменованих одиниць. Розрахункова схема й схема заміщення наведені на рис.7.1.

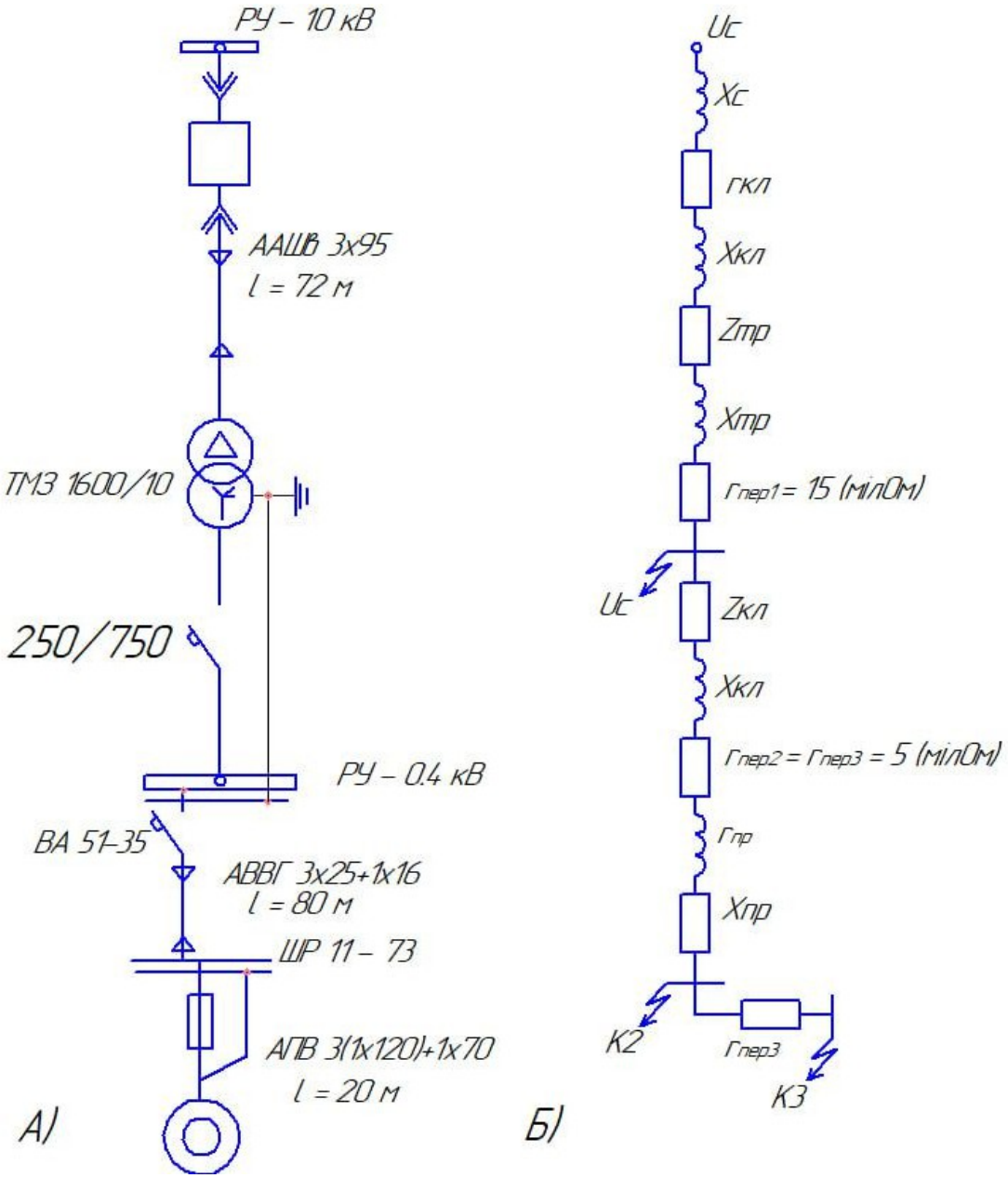


Рисунок 7.1 Схема розрахунку токів КЗ

А) Схема розрахункова Б) Схема заміщення

Розрахуємо індуктивні та активні опори прямої послідовності елементів схеми.

Визначимо опір системи за формулою:

$$X_c = \frac{U_{НН}^2 \cdot 10^3}{U_{ВН} \cdot I''} \quad (7.1)$$

де $U_{НН} = 10$ кВ – номінальна напруга на низькій стороні;

$U_{ВН} = 4$ кВ – номінальна напруга на високій стороні;

$I'' = 14.3$ кА – надперехідний струм КЗ;

$$X_c = \frac{0.4^2 \cdot 10^3}{10 \cdot 14.3} = 1.12 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір для кабельної лінії:

$$r_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2 \quad (7.2)$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2 \quad (7.3)$$

$r_0 = 0.35$ Ом/км, $x_0 = 0.075$ Ом/км – питомі активний та індуктивний опори відповідно

$$r_{кл} = 0.35 \cdot 72 \cdot \left(\frac{0.4}{10}\right)^2 = 0.04 \text{ Ом}$$

$$x_{кл} = 0.075 \cdot 72 \cdot \left(\frac{0.4}{10}\right)^2 = 0.0086 \text{ Ом}$$

Визначаємо активний опір трансформатора:

$$r_{тр} = \frac{\Delta P_к \cdot U_{НН}^2}{S_{ном.т}} \quad (7.4)$$

де $S_{ном.т}$ – номінальна потужність трансформатора кВт

$$r_{тр} = \frac{16.5 \cdot 0.4^2}{1.6} = 1.65 \text{ Ом}$$

Визначаємо повний опір трансформатора:

$$z_{тр} = \frac{U_к}{100} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{ном.т}} \cdot 10^3 \quad (7.5)$$

де $U_к$ – напуга КЗ %

$$z_{тр} = \frac{6}{100} \cdot \frac{0.4^2}{1.6} \cdot 10^3 = 6 \text{ Ом}$$

Визначаємо реактивний опір трансформатора:

$$x_{тр} = \sqrt{z_{тр}^2 - r_{тр}^2} \quad (7.6)$$

$$x_{тр} = \sqrt{6^2 - 1.65^2} = 5.77 \text{ Ом}$$

Кабель марки АВВГ 3х120+1х70

$$r_{кл1} = r_0 \cdot l_{кл} \quad (7.7)$$

$r_0 = 0.208$ мм^2 – опір кабелю

$$r_{кл1} = 0.208 \cdot 72 = 14.98 \text{ мОм}$$

$$x_{кл1} = x_0 \cdot l_{кл1} \quad (7.8)$$

$x_0 = 0.06$ мм^2 - опір кабелю

$l_{кл1} = 80$ м

$$x_{кл1} = 0.06 \cdot 80 = 4.8 \text{ мОм}$$

$$z_{пр} = r_0 \cdot l_{пр} \quad (7.9)$$

$$x_{пр} = x_0 \cdot l_{пр}$$

$r_0 = 1.25$ мм^2, $x_0 = 0.091$мм^2 – опір кабелю

$$z_{пр} = 1.25 \cdot 20 = 25 \text{ мОм}$$

$$x_{пр} = 0.091 \cdot 20 = 1.82 \text{ мОм}$$

Знайдемо значення струму трифазного КЗ для точки К1:

$$r_{к1} = r_{кл} + r_{тр} + r_{пер1} \tag{7.10}$$

$$r_{к1} = 0.04 + 1.65 + 15 = 16.7 \text{ мОм}$$

$$x_{к1} = x_{кл} + x_{тр} + x_{с} \tag{7.11}$$

$$x_{к1} = 0.01 + 5.76 + 1.12 = 6.89 \text{ мОм}$$

$$Z_{К1} = \sqrt{r_{к1}^2 + x_{к1}^2} \tag{7.12}$$

$$Z_{К1} = \sqrt{16.7^2 + 6.89^2} = 18.1 \text{ мОм}$$

$$I''_{К1} = \frac{U_c \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot Z_{К1}} \tag{7.13}$$

$$I''_{К1} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 18.1} = 12.8 \text{ кА}$$

Визначаємо ударний струм:

$$i_{уК1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I''_{К1} \tag{7.14}$$

де $K_y = 1.1$ – ударний коефіцієнт для мережі 1 кВ.

$$i_{уК1} = \sqrt{2} \cdot 1.1 \cdot 12.8 = 19.91$$

Для QF1:

$$I_{від} = 25 \text{ кА} > I''_{К1} = 12.8 \text{ кА}$$

$$i_{дин} = 40 \text{ кА} > i_у > 19.91 \text{ кА}$$

$$\frac{I_{К1}^{(1)}}{I_{від}} = \frac{6.8}{5} = 1.36 \text{ кА}$$

Знайдемо значення струму трифазного КЗ для точки К2:

$$r_{к2} = r_{к1} + r_{кл1} + r_{пер2} \quad (7.15)$$

$$r_{к2} = 16.7 + 14.97 + 5 = 36.7 \text{ мОм}$$

$$x_{к2} = x_{к1} + x_{кл1} \quad (7.16)$$

$$x_{к2} = 6.7 + 4.8 = 11.5 \text{ мОм}$$

$$Z_{К2} = \sqrt{r_{к2}^2 + x_{к2}^2} \quad (7.17)$$

$$Z_{К2} = \sqrt{36.7^2 + 11.5^2} = 38.5 \text{ мОм}$$

$$I''_{К1} = \frac{U_c \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot Z_{К1}} \quad (7.18)$$

$$I''_{К1} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 38.4} = 6 \text{ кА}$$

Для QF2:

$$I_{від} = 25 \text{ кА} > I''_{К1} = 6 \text{ кА}$$

$$i_{дин} = 25 \text{ кА} > i_у > 12.8 \text{ кА}$$

$$\frac{I_{К1}^{(1)}}{I_{від}} = \frac{2.31}{0.6} = 3.85 \text{ кА}$$

Знайдемо струм однофазного КЗ пристроїв захисту, для петлі фази 0:

$$z_{пф0К1} = z_{тр} + 2 \cdot z_{пер1} \quad (7.19)$$

$$z_{пф0К1} = 1.65 + 2 \cdot 15 = 31.65 \text{ мОм}$$

$$I_{К1}^{(1)} = \frac{U_Ф}{z_{пф0К1}} \quad (7.20)$$

$$I_{К1}^{(1)} = \frac{220}{32.2} = 6.8 \text{ кА}$$

Для точки К2:

$$r_{пф0К2} = r_{пф0К1} + (r_{0кл1} + (r_{0кл1})^{(0)} \cdot l_{кл1} + 2 \cdot r_{пер2} \quad (7.21$$

$$r_{пф0К2} = 31.65 + (0.208 + 0.447) \cdot 80 + 2 \cdot 5 = 94.05 \text{ мОм}$$

$$x_{пф0К2} = x_{пф0К1} + (x_{0кл1} + (x_{0кл1})^{(0)} \cdot l_{кл1} \quad (7.22$$

$$x_{пф0К2} = 5.76 + (0.06 + 0.07) \cdot 80 = 16.16 \text{ мОм}$$

$$z_{проК2} = \sqrt{r_{пф0К2}{}^2 + x_{пф0К2}{}^2} \quad (7.23$$

$$z_{проК2} = \sqrt{94.05^2 + 16.16^2} = 95.4 \text{ мОм}$$

$$I_{К2}{}^{(1)} = \frac{U_ф}{z_{проК2}} \quad (7.24$$

$$I_{К2}{}^{(1)} = \frac{220}{95.4} = 2.31 \text{ кА}$$

Для точки К3:

$$r_{пф0К3} = r_{пф0К2} + (r_{0пр} + (r_{0пр})^{(0)} \cdot l_{пр} + 2 \cdot r_{пер3} \quad (7.25)$$

$$r_{пф0К3} = 95.4 + (0.208 + 1.25) \cdot 20 + 2 \cdot 5 = 134.56 \text{ мОм}$$

$$I_{К3}{}^{(1)} = \frac{U_ф}{r_{пф0К3}} \quad (7.26)$$

$$I_{К3}{}^{(1)} = \frac{220}{134.56} = 1.63 \text{ кА}$$

Для QF3:

$$I_{ном.ВС.зап} = 100 \text{ кА} > I''_{К1} = 6 \text{ кА}$$

$$i_{дин} = 25 \text{ кА} > i_у > 12.8 \text{ кА}$$

$$\frac{I_{К1}{}^{(1)}}{I_{від}} = \frac{1.63}{0.08} = 20.4 \text{ кА}$$

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмоведучих частин електроустановки, що можуть опинитися під напругою в аварійних ситуаціях.

Мета захисного заземлення - усунення небезпеки ураження людини електричним струмом при появі напруги на корпусі або на інших струмоведучих металевих частинах ЕУ, тобто при замиканні на корпус (наприклад, при пробої ізоляції).

Дія захисного заземлення полягає у зменшенні до безпечної величини сили струму, що проходить через тіло людини при її дотику до корпусу ЕУ. що опинився під напругою. Це досягається зменшенням потенціалу корпусу заземленого устаткування.

Захисний заземлюючий пристрій складається із сукупності заземлювача і провідників, що заземлюють. Заземлювач являє собою провідник або систему з'єднаних між собою металевих провідників, що знаходяться в безпосередньому контакті з землею. Провідник, що заземлює - це металевий провідник, що з'єднує частини електричної установки, які заземлюються, з заземлювачем.

В залежності від призначення заземлення електроустановок поділяються на захисне, робоче і грозозахисне. Зазвичай для виконання всіх трьох типів заземлення використовується один заземлюючий пристрій. Розрахунок таких пристроїв можна вести методом коефіцієнта використання, приймаючи грунт однорідним по глибині.

Згідно допустимих правил експлуатації опір заземлення електроустановки напругою до 1000 В, яка живиться від трансформатора потужністю 1600 кВА, повинен бути не більше 4 Ом.

Опір вертикального трубчатого електрода визначимо за формулою:

$$\rho_{в.е} = K_{с.в} \cdot \rho_{гр} \quad (8.1)$$

$$\rho_{р.е} = K_{с.г} \cdot \rho_{ге} \quad (8.2)$$

$K_{с.в} = 1.4$ – для вертикальних електродів;

$K_{с.г} = 2$ – для горизонтальних електродів;

$\rho_{гр}$, $\rho_{ге}$ – питомий опір грунту, коефіцієнт сезонності який враховує зміну опору грунту;

$$\rho_{Ве} = 1.4 \cdot 100 = 140 \ Ом * м$$

$$\rho_{рв} = 2 \cdot 100 = 200 \ Ом * м$$

Опір розтікання для вертикальниї електродів:

$$R_{Ве} = \frac{0.366 \cdot \rho_{Ве}}{l} \cdot \left(\lg \cdot \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l}\right) \quad (8.3)$$

де $l = 5$ - довжина вертикального електрода

$d = 0.012$ м - Діаметр

$t = 3.2$ - Глибина прокладки горизонтального електроду

$$R_{Ве} = \frac{0.366 \cdot 140}{5} \cdot \left(\lg \cdot \frac{2 \cdot 5}{0.012} + \frac{1}{2} \cdot \lg \cdot \frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5}\right) = 31.8 \ Ом$$

Коефіцієнт використання вертикальних електродів $K_{Ве} = 0.7$

Попередня кількість вертикальних електродів:

$$n_{Ве} = \frac{R_{Ве}}{K_{Ве} \cdot R_{знорм}} \quad (8.4)$$

$R_{знорм} = 4$ Ом - нормативний опір

$$n_{Ве} = \frac{31.8}{0.7 \cdot 4} = 11,6$$

Приймаємо $n_{Ве} = 12$ шт

При відстані між вертикальними електродами $l_{ге} = 5$ мм

Довжина горизонтального електрода:

$$L_{\text{ге}} = (n_{\text{Ве}} - 1) \cdot l_{\text{ге}} \tag{8.5}$$

$$L_{\text{ге}} = (12 - 1) \cdot 5 = 55 \text{ мм}$$

Опір розтікання струму для горизонтального електропровода:

$$R_{\text{ГЕ}} = \frac{0.366 \cdot \rho_{\text{р.ГЕ}}}{\eta_{\text{ГЕ}} \cdot L_{\text{ге}}} \cdot \lg \cdot \frac{L_{\text{ге}}^2}{d_{\text{ге}} \cdot t_{\text{ге}}} \tag{8.6}$$

$\eta_{\text{ГЕ}} = 0.35$ – коефіцієнт горизонтального електропровода;

$$R_{\text{ГЕ}} = \frac{0.366 \cdot 200}{0.35 \cdot 55} \cdot \lg \cdot \frac{55^2}{0.04 \cdot 0.004} = 27.76 \text{ Ом}$$

Сумарний опір вертикальних електрод:

$$R_{\text{ZВе}} = \frac{R_{\text{Ве}}}{n_{\text{Ве}} \cdot K_{\text{Ве}}} \tag{8.7}$$

$$R_{\text{ZВе}} = \frac{31.8}{12 \cdot 0.7} = 3.79 \text{ Ом}$$

Опір заземлювальних пристроїв:

$$R_{\text{ПЗ}} = \frac{R_{\Sigma\text{Ве}} \cdot R_{\text{ГЕ}}}{R_{\Sigma\text{Ве}} + R_{\text{ГЕ}}} \tag{8.8}$$

$$R_{\text{ПЗ}} = \frac{3.79 \cdot 27.76}{3.76 + 27.76} = 3.34 \text{ Ом}$$

$R_{\text{ПЗ}} = 3.34 \text{ Ом} < R_{\text{знорм}} = 4 \text{ Ом}$ що задовільняє умовам.

Інші технічні й організаційні заходи з техники безпеки прийняті відповідно до вимог ПТБ.

9 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

На основі ПУЕ вибираємо:

- Трьох ступеневий струмовий захист;
- Без дугового струмового захисту;
- Одно ступеневий захист струмової відсічки витримки часу;

9.1 Максимальний струмовий захист блоку кабельної лінії

Струм спрацювання МСЗ:

$$I_{сз} = \frac{k_{зап} \cdot k_{сз} \cdot I_{роб.мах}}{k_{пов}} \quad (9.1)$$

$k_{зап} = 1.2$ –коефіцієнт запасу;

$k_{сз} = 2.5$ –коефіцієнт самозахисту;

$I_{роб.мах} = 76$ – робочий максимальний струм;

$k_{пов} = 0.8$ –коефіцієнт повернення;

$$I_{сз} = \frac{1.2 \cdot 2.5 \cdot 76}{0.8} = 285 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле МСЗ:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх} \cdot I_{сз}}{k_{ТС}} \quad (9.2)$$

$k_{сх} = 1$ –коефіцієнт схеми;

$k_{ТС}$ –коефіцієнт трансформації ТС;

$$I_{ТС} = \frac{1600}{10 \cdot \sqrt{3}} \cdot 0.9 = 83 \text{ А} \quad (9.3)$$

$$k_{ТС} = \frac{100}{5} = 20 \quad (9.4)$$

Струм спрацювання реле розрахункове:

$$I_{ср} = \frac{1 \cdot 285}{20} = 14.25 \text{ А}$$

Приймаємо Струм спрацювання реле $I_{ср} = 14.5$ А

Струм спрацювання МСЗ:

$$I_{МСЗ} = I_{ср} \cdot k_{ТС} \quad (9.5)$$

$$I_{МСЗ} = 14.5 \cdot 20 = 290 \text{ А}$$

Вибираймо реле максимального струмового захисту типу РТ 40/20

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{Ч} = \frac{I_{K1.min}}{I_{МСЗ}} \geq 1.5 \quad (9.6)$$

$$I_{K1.min} = \frac{512 \cdot \sqrt{3}}{2} = 443.4 \text{ А} \quad (9.7)$$

$$K_{Ч} = \frac{443.4}{290} = 1.53$$

Час спрацювання МСЗ:

$$t_{сз} = t_{ел} + \Delta t \quad (9.8)$$

де $t_{ел} = 1$ с – час спрацювання МСЗ попереднього елемента;

$\Delta t = 0.5$ с – ступінь селективності;

$$t_{сз} = 1 + 0.5 = 1.5 \text{ с}$$

9.2 Струмова відсічка без витримки часу блоку кабельної лінії

Струм спрацювання СВ:

$$I_{\text{св}} = k_{\text{від}} \cdot I_{\text{K1.max}} \quad (9.9)$$

$k_{\text{від}} = 1.2$ – коефіцієнт відстройки

$$I_{\text{K1.max}} = \frac{12.8}{25} = 0.512 \text{ кА} \quad (9.10)$$

$$I_{\text{св}} = 1.2 \cdot 512 = 614 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле розрахункове:

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{св}}}{k_{\text{ТС}}} \quad (9.11)$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{1 \cdot 614}{20} = 31 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле СВ:

$$I_{\text{СВ}} = I_{\text{ср}} \cdot k_{\text{ТС}} \quad (9.12)$$

$$I_{\text{СВ}} = 31 \cdot 20 = 620 \text{ А}$$

Вибираймо реле струмової відсічки без витримки часу типу РТ 40/40

Коефіцієнт чутдивості:

$$I_{\text{K2.max}} = \frac{6 \cdot \sqrt{3}}{2} = 5.2 \text{ кА} \quad (9.12)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{K2.max}}}{I_{\text{СВ}}} \quad (9.14)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{5200}{620} = 8.4$$

9.3 Захист від замикань на землю

Перетин кабелю 3х95

$I_{\text{е.кл}} = 2.9$ А/км

$$I_{\text{е.кл}} \cdot 3 = 8.7 \text{ А} \quad (9.15)$$

Струм спрацювання МСЗ нульової послідовності:

$$I_{\text{сз}} = k_{\text{Від}} \cdot 8.7 \quad (9.16)$$

$$I_{\text{сз}} = 2.5 \cdot 8.7 = 21.75 \text{ А}$$

9.4 Захист від перевантажень

Струм спрацювання МСЗ по кабельній лйнії:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{зап}} \cdot I_{\text{т.ном}}}{k_{\text{пов}}} \quad (9.17)$$

$k_{\text{зап}} = 1.05$ – коефіцієнт запасу;

$I_{\text{т.ном}}$ - номінальний струм трансформатора;

$k_{\text{пов}} = 0.8$ – коефіцієнт повернення;

Номінальний струм трансформатора:

$$I_{\text{т.ном}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92.4 \text{ А} \quad (9.18)$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{1.05 \cdot 92.4}{0.8} = 121.3 \text{ А}$$

Струм спрацювання реле МСЗ від перевантажень:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}}}{k_{\text{ТС}}} \quad (9.19)$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{121.3}{20} = 6.1 \text{ А}$$

9 ОСНОВНІ ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ

1. Якщо це можливо, то обов'язково знеструмлюйте об'єкт, на якому працюєте.

Звучить як істина, але нерідко працівники порушують це правило. Зручно відразу бачити результат робіт, тому не хочеться постійно підходити до вимикача (подібне часто відбувається, коли немає заздалегідь підготовленої схеми). Отже, коли монтаж під напругою, без відповідного захисту, це часто стає причиною електричного травмування.

Дуже важливо те, як відключається електроживлення. Рекомендується відключати як всі фазові дроти, так і нейтральні. Для знеструмлення об'єкта використовують зручні ручки управління, які мають сучасні захисні автомати. Нове покоління електриків стало відкидати використання рубильників, як великі та застарілі агрегати, припускаючи, що при напрузі до 1 000 В вони взагалі не потрібні. Але таке зневажливе ставлення до рубильників є зовсім не правильним. Наявність рубильника дозволяє підвищити рівень безпеки при виконанні електромонтажних робіт. Він надійніший в порівнянні з захисним автоматом (у якого можуть зварюватись контакти). Крім цього, наявність окремого перемикача, на який покладено тільки одна функція - відключення подачі електроенергії - виключає можливу плутанину і знижує вплив людського чинника.

2. У гальванічних цехах є силові електричні установки постійного та змінного струму.

Більшість технологічних операцій, де використовується напруга 3 - 12 В, є безпечними для обслуговуючого персоналу. Однак значну небезпеку для здоров'я робітників складає обладнання, яке працює на змінному струмі найбільш небезпечним для людини вважається змінний струм - частотою

50-60 Гц, силою 0.1 А та напругою більше 250 В. Тому в гальванічних цехах біля потенційно небезпечного обладнання розташовують попереджувальні та застережні плакати, написи та знаки.

3. Пошкодження електричним струмом характеризується високим відсотком смертності та каліцтв. Воно характеризується - втратою свідомості, миттєвим судомним скороченням м’язів, послабленням або повним припиненням серцевої діяльності та дихання. При роботі з електрообладнанням найбільш небезпечним є двополюсний дотик до струмоведучих частин (у випадку замикання електричного ланцюга тіло людини опиняється під повною лінійною напругою).

Небезпечним є дотик до провідника, який знаходиться під високою напругою, якщо робітник стоїть на вологій та/або металевій підлозі.

3.1 Ураження робітників електричним струмом виникає:

- несправностей та пошкоджень електрообладнання, провідників та пускачів;

- використання в сирих приміщеннях ламп та електричних приладів, що знаходяться під напругою 110-220 В;

- за відсутності або незадовільним станом електрозахисних засобів (заземлення, занулення та інші);

- за відсутності або невмінням у користуванні індивідуальних засобів захисту;

- невідповідності використаного обладнання умовам виробництва;

- недотриманням працівниками правил техніки безпеки.

4. Небезпечним вважають не тільки струм високої напруги, а й малої. Тому потрібно обережно працювати з електрообладнанням, яке працює під напругою більше 36 В, особливо в гальванічних цехах. У таких приміщеннях прилади електричного освітлення повинні розміщуватись на висоті не нижче ніж 2.5 м від підлоги; якщо за умовами технологічного процесу світильник повинен знаходитись нижче, тоді напруга його живлення повинна бути не вищою, ніж 24 В.

Небезпека ураження електричним струмом визначається не тільки напругою, під якою знаходиться електрообладнання, але і умовами, при яких людина опинилась в контакті з приладами, які підключені до електричної мережі. Ці умови в електролітичних та травильних цехах вкрай небезпечні, тому працівники, котрі працюють з електрообладнанням при будь-якій напрузі, повинні дотримуватись заходів безпеки для захисту від дії електричного струму. Практично струм напругою в 12 В є небезпечним, особливо для робітників, які працюють в сирих приміщеннях.

5. Небезпечними є також статичні електричні заряди, джерелом утворення яких є процеси тертя. В приміщеннях, де встановлені вентилятори, є приводні ремінні передачі від електродвигунів, що є причиною утворення іскрових розрядів. Іскровий розряд при наявності органічного пилу в приміщеннях може призвести до вибуху та пожежі.

Для усунення іскрових розрядів застосовують наступні заходи:

- знімають з ременів електричний заряд гребінками або щітками, які накладаються на ремені або розміщені поблизу;

- зменшують до мінімуму ковзання ременя на шківу.

6. Роботи під напругою повинні вестися з використанням захисних засобів

Іноді знеструмити об'єкт, на якому ведуться роботи, абсолютно неможливо. Деякі електрики сподіваються на високу якість ізоляції проводів і беруться за ізольовані ділянки незахищеними руками. Але навіть якщо провід новий і на його ізоляції немає тріщин, ніхто не застрахований від того, що рука зісковзне на оголену ділянку проводу.

Для монтажу під напругою до 1 000 В основним засобом захисту є спеціальні гумові рукавички, при напрузі понад 1 000 В вони є допоміжним засобом. У тому випадку, якщо електромонтажні роботи проводяться при низьких температурах, рукавички з утеплювального матеріалу одягаються під гумові.

Інші поширені засоби захисту – діелектричний килимок, діелектричні галоші (менше 1 000 В), діелектричні ботильйони (1 000 В і вище), ізолюючі штанги. Монтаж слід вести інструментами з ізольованими ручками. При цьому не допускається використання інструменту, в якого ручки насаджені на загострені кінці металевих частин.

Засоби захисту повинні обов'язково відповідати напрузі, під якою ведеться монтаж. Електроізольовані інструменти та засоби захисту обов'язково повинні проходити перевірку ізоляції в терміни, встановлені нормативними документами (зазвичай раз на рік). Ні в якому разі не користуйтеся інструментом і захисними засобами, щодо яких у вас виникли будь-які сумніви, наприклад, при огляді ви виявили тріщини, відколи або вибоїни.

Також необхідним заходом, який забезпечує безпеку робітників, а також пожежу та вибухобезпеку є заземлення електротехнічного обладнання (генераторів, моторів, перетворювачів струму, а також предметів, на яких можуть появитися при аваріях або при русі та терті - статичні електричні заряди.

Заземляти необхідно: трубопроводи, вентилі та інші металічні частини, які можуть опинитись під напругою.

7. У всього електрообладнання повинно бути огороджено рухомі деталі. Огородження виконуються з металічної сітки або встановлюють металічну чи дерев'яну загорожу. Огородження електродвигунів – обов'язкове; на всі рубильники включення та виключення встановлюються кожухи; потрібно встановлювати електромеханічні пускачі. Також виставляються попереджувальні плакати та написи.

8. Для захисту від електричного струму застосовують:

- ізолюючі захисні засоби (штанги, інструмент з ізолюючими руків'ями, гумові рукавиці, гумові чоботи та галоші, ізолюючі підставки, гумові килимки);

- переносні фіксуючі пристрої напруги та сили струму - трубки з неоновими лампами, кліщі з амперметром;

- переносні тимчасові захисні заземлення, переносні огородження та плакати;

- захисні засоби, від дії електричної дуги, продуктів горіння та механічних ушкоджень - захисні окуляри, брезентові рукавиці, протигази.

Чітко дотримуйтесь рекомендацій щодо вибору одягу для електромонтажних робіт.

Наявність спецівок і касок, призначених саме для електромонтажних робіт – найважливіша вимога безпеки.

Костюм для роботи під напругою 1 000 В і вище часто має струмопровідні вставки або, навіть, весь виконаний із цього ж матеріалу. У тому випадку, якщо електромонтажник потрапить в електричний розряд, струм піде через спецодяг в обхід його тіла.

Інша вимога до костюму електромонтажника – синтетичні матеріали при високій температурі, характерній для вольтової дуги, не мають плавитися (розплавлена пластмаса потрапляє на шкіру та викликає сильний опік), а розщеплюватися (наприклад, обвуглюватися). В касках електромонтажників завжди використовуються діелектричні матеріали задля запобіганню нещасних випадків.

Гумові черевики та галоші не повинне лускатись. Перевіряти їх необхідно раз на 6 місяців.

Гумові рукавиці повинні бути еластичними та достатньо тонкими, щоб було зручно виконувати ручні операції; водночас рукавиці повинні виконувати діелектричні функції. Перед використанням рукавиці провіряють на цілісність, надуваючи їх. Інструмент з ізольованими рукоятками є надійним захистом від електричного струму.

9. Підключення струму при електричному підігріві електролітів та розчинів у ваннах необхідно виконувати обережно. Руки робітника, що включає, мають бути сухими або в гумових рукавицях.

10. Не працюйте з високою напругою поодинці.

Поруч завжди повинна знаходитися людина, здатна надати вам першу допомогу в разі ураження струмом. Якщо ви тільки освоюєте професію електромонтажника, то перші кроки необхідно робити лише під наглядом досвідченого фахівця.

11. Уникайте заплутаних переплетень проводів.

Будь-яка плутанина та безлад в розміщенні проводів – джерело потенційної загрози для безпеки електромонтажника. Використовуйте кабельні стяжки всюди, де це можливо, для отримання грамотної розводки кабелів.

12. Активно користуйтеся індикатором напруги.

Дроти, до яких ви будете торкатися голіруч, краще заздалегідь перевіряти дотиком індикатора напруги. Якщо він показує наявність небезпечної напруги, але ви допускаєте, що це всього-навсього струми витоку малої величини – не можна навіть припускати таке. Необхідно з'ясувати, з чим пов'язана поява напруги там, де її не має бути, усунути проблему й тільки тоді продовжувати роботи. Для мережі 220 (230) В дуже зручна недорога індикаторна викрутка з неоновою лампою.

Її переваги – відсутність батарейок і мінімальна ймовірність помилкового спрацьовування від випромінювання побутових електроприладів, що стоять поруч. Якщо ви вирішили придбати більш дорогий електронний індикатор, то краще вибрати модель, в якій світлова індикація наявності напруги дублюється звуковою.

13. Ознайомтеся з планом електропроводки та проведіть пошук прихованих дротів.

Перед свердлінням стіни ознайомтеся з планом розміщення електропроводки всередині приміщення, за його відсутності проведіть обстеження за допомогою приладу для виявлення прихованої електропроводки.

Ця рекомендація має відношення до будь-яких ремонтних робіт у будівлі. Але для електромонтажників вона дуже поширена, адже їм доводиться свердлити саме поблизу розеток, вимикачів та іншого електрообладнання, де проходять дроти, вмуровані в стіну.

З точки зору електробезпеки краще обрати дешевші та простіші прилади, що працюють на електростатичному принципі – вони дозволяють виявляти дроти, які знаходяться під напругою, але по ним не протікає струм, наприклад, в результаті обриву.

Прилади, створені на електромагнітному принципі, якнайточніше знаходять місце проходження дротів, але вони визначають тільки справні непошкоджені дроти. Найкращим варіантом є комбінований прилад, що поєднує кілька методів виявлення дротів. Недоліком таких приладів є висока вартість та необхідність мати кваліфікованого користувача.

14. Під час зварювальних або пайових робіт робоча поверхня повинно бути вільним від легкозаймистих конструкцій. При знаходженні легкозаймистих конструкцій в радіусі до 5 м необхідно накрити їх спеціальними захисними екранами.

15. Подбайте про якісне освітлення робочої поверхні.

Після відключення подачі електроенергії в місці проведення електромонтажних робіт доводиться користуватися лише джерелами світла з автономним живленням. Практика підведення окремої лінії для освітлення об'єкта, де проводяться роботи, розповсюджена частіше на великих проектах. Здебільшого використовується налобний ліхтар на світлодіодах. Але для підтримання безпеки необхідне загальне освітлення, достатнє для впевненої орієнтації електромонтажника в просторі. Роботи часто можуть проводитися в такий час і в такому місці, для яких природного освітлення буде недостатньо.

Саме тому електромонтажник повинен мати при собі не тільки налобний ліхтар, що дає вузький пучок світла, але й досить потужний акумуляторний світлодіодний ліхтар. Освітленість повинна бути рівномірною, ліхтар не повинен засліплювати робітника. Тому доречним варіантом буде ліхтар на світлодіодах.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті була розроблена схема електропостачання термічного цеху.

Оброблений та обчислений світлотехнічних розрахунок та обрані світильники робочого освітлення. Розрахункове навантаження освітлювальної мережі було здійснене методом коефіцієнта попиту. Обчислення силового навантаження було проведене методом упорядкованих діаграм на ЕОМ.

Керуючись техніко-економічним порівнянням двох варіантів, була обрана КТП з трансформатором ТМ – 1600/10.

Для мереж 10 кВ вибрано шафу КРУ типу КРУ – 10У з вакуумним вимикачем ВР – І – 10 – 20/630 У3 та КЛ 10 кВ ААШв 3х95 із прокладанням у траншеях. КТП обрана прибудованого типу.

Були проведені такі дії щодо даного проєкту: розроблено схему цехової мережі, вибрані установки захисних апаратів і перетин проводів та КЛ, проведений розрахунок освітлювальної мережі.

Для тролейних ліній була вибрана кутова сталь 25х25х4. Проведена перевірка захисних апаратів на підставі розрахунку струмів КЗ у мережі напругою до 1 кВ.

Для заходу з техніки безпеки був проведений розрахунок заземленого пристрою та вибрана його комплектація.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Федоров А.А., Старкова Л.Є. Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування з електропостачання промислових підприємств: Навч. посібник для вузів. – М.: Енергоатомвидат, 1987 – 368 с.
2. Князєвський Б.А., Липкин Б.Ю. електропостачання промислових підприємств: Підруч. для студ. вузів за спец. «Електропривід та автоматизація промислових установок». – 3-є вид., перероб. і доп. – М.: Вища шк., 1986. – 400 с.
3. Дірацу В.С. та ін. Електропостачання промислових підприємств. – К.: Вища шк., 1974. – 280 с.
4. Довідник із проєктування електропостачання / Під ред. Ю.Г. Барибіна та ін. – М.: Енергоатомвидат, 1990. – 576 с.
5. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. – Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 324 с.
6. Єрмілов А.А. Електропостачання промислових підприємств. – 4-е видан., доп та перероб. – М.: Енергоатомвидат, 1983. – 208 с.
7. Рістхейн Е.М. Енергопостачання промислових установок: Підруч. для вузів. – М.: Енергоатомвидат, 1991. – 424 с.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Електропостачання промислових підприємств та установок: Навч. посіб. для технікумів. – М.: Енергоатомвидат, 1989. – 528 с.
9. Коптєв А.А. Монтаж електричних мереж напругою до 1 кВ.: Довідник електромонтажника / За ред. А.Д. Смірнова та ін. – М.: Енергоатомвидат, 1988. – 192 с.
10. Ліґерман І.І. Конструювання електроустановок промпідприємств. – М.: Енергоатомвидат, 1984. – 168 с.
11. Правила улаштування електроустановок / Міненерго СРСР. – 6-е видан., доп. Та перероб. – М.: Енергоатомвидат, 1986. – 648 с.

12. Довідник із проектування електричних мереж та електроустановок / За ред. Ю.Г. Барибіна та ін. – М.: Енергоатомвидат, 1991. – 464 с.
13. Львів А.П. Електричні мережі підвищеної частоти. – М.: Енергія, 1973. – 80 с.
14. Федоров А.А., Камєнєва В.В. Основи електропостачання промислових підприємств: Підруч. для вузів. – 4-е видан., доп. та перероб. – М.: Енергоатомвидат, 1984. – 472 с.
15. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Українська книга», 2006 – 153 с.