

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з дисципліни
«Електропостачання промислових підприємств»

для студентів спеціальності **141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»**
освітньо-професійної програми
«Електротехнічні системи електроспоживання»
всіх форм навчання

2019

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» всіх форм навчання /Укл.: В.В. Попов, В.В. Дьяченко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 51 с.

Укладачі: В.В. Попов, доцент, канд. техн. наук,
В.В. Дьяченко, доцент, канд. техн. наук

Рецензент: І.В. Авдєєв, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
електропостачання промислових
підприємств
протокол № 1 від 05.09.2019 р.

Рекомендовано до видання
на засіданні НМК
електротехнічного факультету
протокол № 2 від 19.10.2019 р.

ЗМІСТ

стор.

1 Загальна частина	5
2 Обсяг та зміст курсового проекту	6
3 Завдання до курсового проекту	7
4 Організаційні вказівки	9
5 Методичні вказівки до основних розділів проекту	12
5.1 Аналіз технологічного процесу проектованого об'єкта	12
5.2 Розрахунок електричних навантажень	12
5.2.1 Розрахунок електричних навантажень силового електрообладнання	12
5.2.2 Світлотехнічний розрахунок	14
5.2.3 Розрахунок навантаження освітлювальної мережі	20
5.2.4 Розрахунок сумарного навантаження цеху	21
5.3 Формування схеми силової електричної мережі до 1000 В	22
5.3.1 Конструктивне виконання живильної мережі	23
5.3.2 Конструктивне виконання розподільної мережі	24
5.4 Визначення кількості, потужності і типу силових трансформаторів ЦТП з урахуванням компенсації реактивної потужності	25
5.5 Розрахунок електричних апаратів і кабелю напругою вище 1000 В	29
5.6 Розрахунок силової мережі напругою до 1000 В	30
5.6.1 Розрахунок електричного навантаження у вузлах схеми	31
5.6.2 Вибір розподільних пристроїв	31
5.6.3 Вибір апаратів захисту і керування	32
5.6.4 Вибір марки та перерізу проводів й кабелів	38
5.6.5 Особливості вибору перерізу провідників до зварювальних установок	39
5.6.6 Вибір тролейних ліній	41
5.7 Розрахунок струмів короткого замикання	43
5.8 Вибір і розрахунок заходів захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом	47

5.9 Застосування обчислювальної техніки	
й елементів САПР	48
Рекомендована література	50

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Відповідно до затвердженої програми курсу «Електропостачання промислових підприємств» та вимогам кваліфікаційної характеристики фахівця спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» передбачається розробка цехового електропостачання у курсовому проекті студентами денної та заочної форми навчання.

Курсовий проект є практична підготовка студентів з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств». Основною його метою є закріплення, розширення і систематизація знань студентів, отриманих на лекціях, лабораторних і практичних заняттях, виробничих практиках, а також при вивченні таких суміжних дисциплін, як «Математичні задачі енергетики», «Електричні системи і мережі», «Електричні станції і підстанції», «Перехідні процеси в системах електропостачання» та ін.

Робота над курсовим проектом дозволить студентам придбати знання в області побудови, функціонування систем цехового електропостачання, яка є частиною електропостачання промислових підприємств, практично освоїти методи розрахунку, проектування та оптимізації задач систем електропостачання, розв'язувати науково-технічні, економічні та інші задачі, придбати навички виконання самостійної творчої роботи, користуватися науковою довідковою літературою, стандартами, що діють та каталогами.

2 ОБСЯГ ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект, складається з пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини.

Обсяг ПЗ курсового проекту 45-60 сторінок рукописного або печатного тексту формату А4 (210х297 мм) і графічної частини - 2 листа креслень формату А1.

У пояснювальній записці мають бути послідовно розглянуті усі питання з обґрунтуванням прийнятих рішень і посиланнями на літературу, вказані методи розрахунків і розрахункові формули в загальному вигляді з їх розшифруванням, необхідними числовими підставками та отриманими результатами розрахунків. В одному прикладі це робиться докладно, а результати інших розрахунків мають бути наведені в таблиці, які мають нумерацію та назву. У необхідних випадках прийняті технічні рішення мають бути підтверджені техніко-економічними розрахунками.

ПЗ та креслення мають бути логічно пов'язані та відображати комплекс технічних рішень і розрахунків, які відповідають задачам передбаченим у завданні до курсового проекту.

Пояснювальна записка та графічна частина курсового проекту оформлюється з дотриманням усіх вимог і норм єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД) та державного стандарту України ДСТУ 3008:2015 «Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення».

Текст ПЗ можна писати від руки або з використанням комп'ютера на одному боці аркуша формату А4 з полями розміром, мм: верхнє, ліве та нижнє – не менш 20, праве – не менш 10.

Послідовність розділів ПЗ:

- титульний ліст;
- завдання на проектування;
- реферат;
- зміст;
- перелік скорочень, символів, спеціальних термінів;
- основна частина;
- перелік літератури;
- додатки.

3 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Завдання до курсового проекту видає керівник проекту згідно збірника завдань до курсового проекту з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств» для студентів спеціальності 141 освітньо-кваліфікаційної програми «Електротехнічні системи електроспоживання».

Відповідно завдання студенти повинні розробити систему цехового електропостачання одного технологічного підрозділу (цеху, відділення та ін.) промислового підприємства, яка відповідає основним вимогам до експлуатації систем електропостачання промислових підприємств.

Завдання, яке узгоджене з темою курсового проекту, має (згідно додатку збірника завдань) перелік: питань, що підлягають розробці; список графічного матеріалу. Бажано мати елементи новизни і прогресивності, які забезпечують творчий характер роботи над курсовим проектом.

Враховуючи сучасні запити виробництва, які пов'язані з його реконструкцією, підвищенням надійності систем електропостачання, дослідженням режимів електроспоживання, розробкою елементів САПР і рішенням ряду інших задач, можливі курсові проекти з дослідницьким характером, котрі можуть бути самостійними і закінченими роботами та мати подальший розвиток у дипломному проектуванні.

При виконанні курсового проекту на тему «Електропостачання цеху промислового підприємства» вихідними даними є:

- план цеху з вказівкою прольотів, ділянок та розміщенням технологічного обладнання по всьому цеху чи в окремих прольотах, ділянках;
- специфікація технологічного обладнання з наведенням кількості і потужності ПЕ з напругою до та понад 1 кВ та їх енергетичні характеристики;
- характеристика середовища приміщень за ПУЕ;
- змінність роботи цеху і завантаження по змінах;
- відомості про джерело живлення (напруга, віддаленість, опір системи x_c , або потужність короткого замикання S_k , або його струми I'' й I_∞ на шинах розподільчих пристроїв);
- значення коефіцієнта потужності, яка видається у мережу

цеха у часи найбільшого та найменшого активного навантаження енергосистеми;

- вид ґрунту в місці пристрою заземлення.

При виконанні курсового проекту на реальні виробничі і дослідницькі теми вихідні дані на проектування визначає керівник проекту на підставі технічного завдання.

В окремих випадках керівник курсового проекту може частково змінювати вихідні дані, а також дати завдання студенту додатково розробити окреме питання.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ

Методичне та організаційне керівництво курсовим проектуванням забезпечується керівником проекту.

Керівник проекту постійно контролює виконання календарного графіка поетапного виконання курсового проекту студентом. Кожен тиждень студент звітує про виконання роботи під час консультацій у керівника. Керівник один раз на два тижні робить позначку про виконану роботу студентом в календарному графіку.

Студент самостійно працює над курсовим проектом, а саме: приймає технічні рішення, виконує усі розрахунки, використовуючи навчальну, довідково-католожну, науково-технічну та іншу інформацію.

Консультації керівника повинні мати характер спрямовуючих вказівок, що допоможуть розкрити сутність поставлених задач, шляхи їх рішень, спонукаючи студента на самостійну, творчу роботу. Керівник звертає увагу студента на технічно і стилістично грамотний виклад ПЗ.

Послідовність розрахунків ПЗ рекомендується виконувати у відповідності до алгоритму процесу проектування.

Після закінчення роботи над курсовим проектом студент складає ПЗ і креслення на перевірку керівнику проекту. Після внесення виправлень студент остаточно оформлює ПЗ та креслення.

Повністю оформлений курсовий проект, підписаний студентом і керівником, допускається до захисту. Захист проводиться у присутності комісії у складі двох - трьох викладачів з кафедри, серед яких і керівник курсового проекту, захист проводиться за графіком, затвердженим завідувачем кафедри.

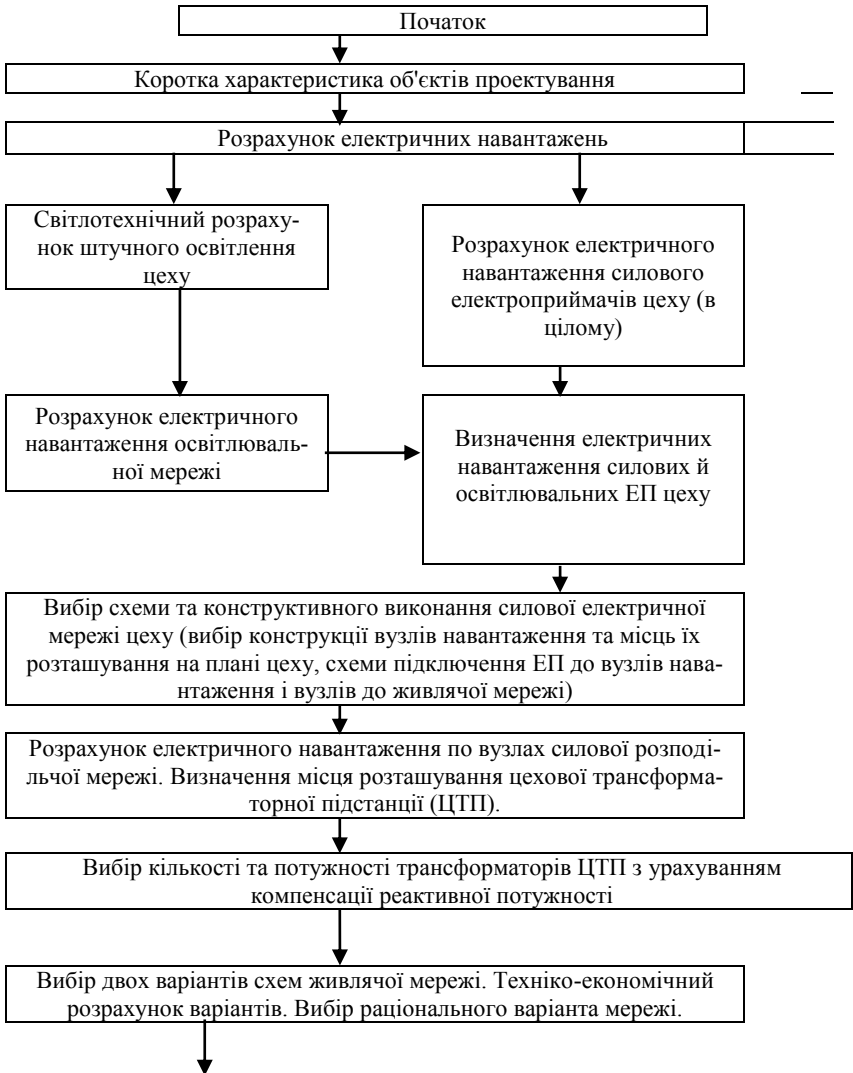
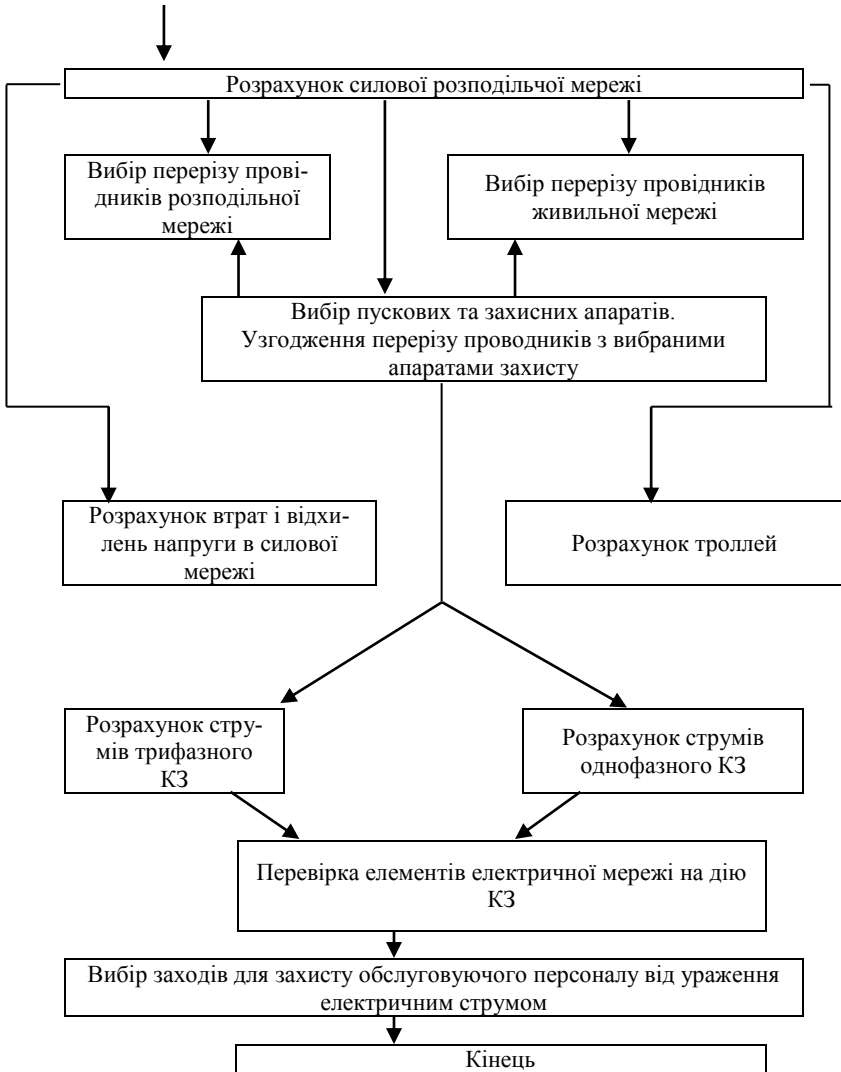


Рисунок 4.1 - Блок –схема проектування



Продовження рисунку 4.1

5 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ОСНОВНИХ РОЗДІЛІВ ПРОЕКТУ

5.1 Аналіз технологічного процесу проектуваного об'єкта

Проектування систем електропостачання необхідно починати з вивчення технології виробництва, що дозволить достовірніше визначити очікувані електричні навантаження і вибрати раціональну схему системи електропостачання.

У даному розділі курсового проекту студент повинний:

- коротко охарактеризувати використання основного технологічного устаткування в технологічному процесі, його взаємозв'язок у технології, режим роботи ПЕ;
- охарактеризувати навколишнє середовище по технологічних зонах об'єкта, що проектується;
- обґрунтувати вимоги до схеми електропостачання з точки зору безперебійності живлення електроспоживачів, а також інші вимоги, які висуюються до електропостачання об'єкта, що проектується.

5.2 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень - одна із самих відповідальних задач курсового проектування, за результатами рішення якої вибирають усі елементи схеми електропостачання цеху за пропускнуою можливістю (перерізи кабелів, проводів, шинопроводів), номінальні параметри апаратів захисту та керування, потужності силових трансформаторів та компенсуючих пристроїв, визначення втрат і відхилень напруги, втрат потужності та електроенергії та інше.

5.2.1 Розрахунок електричних навантажень силового електрообладнання

Рекомендується розрахункове навантаження силового електрообладнання будь-якого вузла цехової мережі (P_p , Q_p) визначати методом упорядкованих діаграм. Розрахункове навантаження вузла з великою кількістю ПЕ (ПЕ) (де кількість ПЕ більш 200 одиниць) - методом коефіцієнта попиту (K_{na}). Також вибір методу розрахунку

електричних навантажень визначається вихідною інформацією про ЕП за технологією, що наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок вибору метода розрахунку електричних навантажень

Метод розрахунку	Вихідні дані	Джерело
упорядкованих діаграм	номінальна активна потужність кожного ПЕ вузла, що розраховується, кВт; тривалість включення TB , %	завдання на проектування
	середньозважений коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$; індивідуальний коефіцієнт використання за активною потужністю k_{ea} кожного приймача електроенергії, відн.од.	довідник
коефіцієнт попиту	номінальна активна потужність кожного приймача електроенергії вузла, що розраховується, або кожної характерної технологічної групи ПЕ в цілому, кВт	завдання на проектування
	груповий коефіцієнт попиту за активною потужністю характерної технологічної групи ПЕ K_{na} , відн.од.; середньозважений коефіцієнт потужності $\cos\varphi$, відн.од.	довідник

Якщо розрахункове навантаження вузла силової розподільчої мережі визначається методом упорядкованих діаграм, то для поділу ПЕ за графіками навантаження усередині вузла, що розраховується, рекомендується застосовувати наступне правило: якщо $k_{ea} \geq 0,6$ та $TB = 100\%$ (одночасно), то ПЕ має рівномірний (постійний) графік навантаження; при невиконанні хоча б однієї з приведених умов варто відносити ПЕ до групи з перемінним графіком навантаження.

Резервні, ремонтні і працюючі в короткочасному режимі силові ПЕ (засувки, вентиля, дренажні насоси та ін.) у розрахунку електри-

чних навантажень не враховуються. При наявності в цеху потужних ПЕ з нерівномірним графіком навантаження (прокатні стани, потужні електропечі та ін.) розрахункове навантаження по цеху визначається алгебраїчним підсумовуванням розрахункових навантажень від цих та інших ПЕ. Причому, розрахункове навантаження потужних ПЕ визначається або методом питомих витрат електроенергії на одиницю продукції, або за допомогою технологічного графіка навантаження, або методом упорядкованих діаграм (це залежить від вхідної інформації).

Силові однофазні ПЕ, включені у мережу на фазні і лінійні напруги і розподілені по фазах з нерівномірністю не більш 15% щодо сумарної потужності трифазних і рівномірно розподілених однофазних ПЕ, враховуються в розрахунках як трифазні ПЕ тієї ж сумарної потужності. При перевищенні зазначеної нерівномірності розрахункове навантаження від однофазних ПЕ приймається рівним триразовому значенню навантаження найбільш завантаженої фази.

Силові ПЕ з випереджуючим струмом (статичні конденсатори, синхронні двигуни в режимі перезбудження) враховуються в розрахунку електричних навантажень за реактивною потужністю зі знаком «-». Розрахункові навантаження на високій стороні трансформатора визначають алгебраїчним підсумовуванням розрахункового навантаження на низькій його стороні і втрат потужності в ньому.

5.2.2 Світлотехнічний розрахунок

Світлотехнічний розрахунок є основою при проектуванні освітлювальних установок. Головною задачею розрахунку є визначення величини необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площини. За величиною цього потоку у довідкових таблицях знаходять найбільш близькі значення потужності стандартних ламп потрібного типу.

На практиці для розрахунків штучного освітлення використовують наступні методи:

- за коефіцієнтом використання світлового потоку;
- метод питомої потужності (найменш точний метод, який застосовують в найпростіших випадках).

Метод коефіцієнта використання світлового потоку є основним при розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних

поверхонь з урахуванням відбитих від стелі і стін світлових потоків. Цей метод дозволяє визначити потужність електричних ламп, які використовуються у складі визначених світильників, якщо задана їх кількість. Також метод дає можливість вирішити зворотню задачу – визначити кількість ламп, якщо завчасно відома їх потужність.

Для проведення розрахунків використовують таку залежність:

$$\Phi_{роз} = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot z}{N_l \cdot \eta} \quad (5.1)$$

де $\Phi_{роз}$ – розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

K_z – коефіцієнт запасу;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

N_l – загальна кількість ламп у складі освітлювальної установки;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Послідовність проведення розрахунків наступна:

- в першу чергу визначають рівень нормованої освітленості в залежності від розряду зорової роботи E_n ;
- визначають значення висоти розміщення джерел світла над робочою поверхнею;
- в залежності від умов виробничого середовища і класу освітлюваного приміщення по вибухопожежонебезпеці вибирають тип джерела світла і відповідних світильників;
- визначають значення індексу приміщення, який характеризує співвідношення розмірів освітлюваного приміщення і висоти розміщення світильників;
- визначають коефіцієнти відбиття світлового потоку від стелі, підлоги і стін приміщення;
- з довідкової таблиці визначають значення коефіцієнта використання світлового потоку, створюваного світильниками вибраного типу;

- визначають коефіцієнт запасу і коефіцієнт мінімальної освітленості;
- визначають необхідну кількість світильників;
- розраховують значення необхідного світлового потоку джерел світла у світильнику $\Phi_{розр}$;
- визначають (за довідковою таблицею для ламп вибраного типу) найближчу стандартну лампу за величиною створюваного світлового потоку $\Phi_{ст}$;
- розраховують фактичну освітленість:

$$E_{факт} = E_n \cdot \frac{\Phi_{ст}}{\Phi_{розр}} \cdot 100\%; \quad (5.2)$$

- визначають відхилення фактичного значення світлового потоку від нормативного:

$$\Delta E = \frac{E_{факт} - E_n}{E_n} \cdot 100\%. \quad (5.3)$$

Якщо фактична освітленість відрізняється більш, ніж на - 10 % або +20 % від нормативної, то вибирають лампу з відповідно більшим або меншим значенням світлового потоку, підставляють це значення в розрахунковий вираз (5.1) й уточнюють необхідну кількість світильників. При цьому початковий варіант кількості і висоти розміщення світильників у виробничому приміщенні може бути відповідно змінений.

Деякі примітки у розрахунках:

- рівень нормованої освітленості $E_{норм}$ визначають у відповідності до вимог Державних будівельних норм України «ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення»;
- висоту розміщення світильників над робочою поверхнею (рис. 5.1) знаходять з формули:

$$h = H - h_c - h_p \quad (5.4)$$

де H – висота приміщення, м;

h_c – відстань від світильника до перекриття (стелі приміщення), м (приймається $h_c = 0,3$ м для ламп типу ЛР, $h_c = 0,2$ м для ЛЛ, $h_c = 0,7$ м для ДРЛ и ДРИ);

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м (висота умовної робочої поверхні приймається 0,8 м);

- вибір джерел світла обумовлено їх характеристиками та вимогами до освітлення; якщо при виконанні виробничого процесу немає жорстких вимог до розрізнення відтінків кольорів, то лампи вибирають за техніко-економічними показниками;

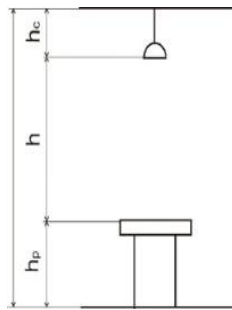


Рисунок 5.1- Схема розміщення світильників над робочою поверхнею

- при проведенні розрахунків необхідно уточнити більш детально тип кривої сили світла (КСС) для конкретних світильників, які будуть використовуватись в складі системи освітлення;

- чисельне значення індексу приміщення визначають із співвідношення:

$$i_n = \frac{A \cdot B}{h(A + B)}, \quad (5.5)$$

де A , B , h - відповідно довжина, ширина приміщення, висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м ;

- значення коефіцієнта використання світлового потоку η (відношення світлового потоку, падаючого на розрахункову поверхню, до світлового потоку джерела світла) приймається в залежності

від типу кривої сили світла обраних світильників, значень коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення: перекриття (стелі) – ρ_n , стін – ρ_c , $\rho_{\text{под}}$ (обумовлені типом поверхонь) та чисельного значення індекса приміщення – i_n ;

- чисельне значення коефіцієнта запасу K_z , який вводиться в розрахункову залежність (5.1) з метою врахування зниження рівня освітленості з часом через старіння і забруднення ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов;

- коефіцієнт нерівномірності освітленості z (визначається відношенням середньої освітленості до мінімальної) в значній мірі залежить від величини співвідношення L/h (L та h – відстань між світильниками та висота від робочої поверхні до світильника відповідно, м); Якщо це співвідношення знаходиться в межах рекомендованих значень, то приймають: $z = 1,15$ (для ламп розжарювання і газорозрядних ламп високого тиску типу ДРЛ, ДРИ) та $z = 1,1$ (для ЛЛ);

- розрахункове значення світлового потоку однієї лампи (типу ЛР, ДРЛ, ДРИ) в кожному світильнику визначається за формулою (5.1);

- для обраного типу ламп визначають найближчу лампу за значенням створюваного світлового потоку;

- розраховують величину відхилення освітленості потоку у відповідності з (5.2) й, у разі необхідності, уточнюють кількість світильників.

Розрахунок необхідної кількості світильників виконується наступним чином.

При загальному рівномірному освітленні світильники з ЛР та ДРЛ рекомендується розташовувати у вершинах квадрату, прямокутника (з відношенням більшої сторони прямокутника до меншої не більше 1,5) або ромбів (з гострим кутом ромба більше 60°). Для розміщення світильників повинні бути відомі такі розміри (рис. 5.2):

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

L – відстань між сусідніми рядами світильників чи світильниками в ряду, м;

l – відстань від крайніх світильників чи рядів світильників до стіни, м.

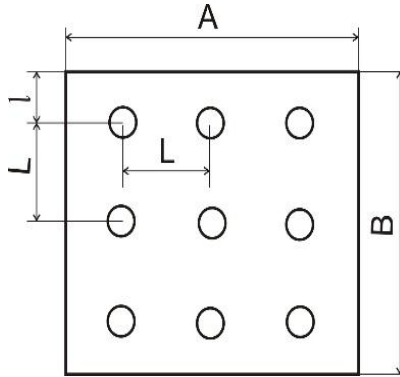


Рисунок 5.2- Схема розміщення світильників

Приймається, що $l \leq (0,25-0,3)L$ за умови наявності поблизу стін робочих місць і $l \leq 0,5L$ – якщо робочі місця біля стін не передбачаються.

Розподіл освітленості по освітлюваній поверхні визначається типом кривої сили світла світильників і відношенням відстані між сусідніми світильниками (або рядами світильників) до висоти їх установки над робочою поверхнею (L/h). Для кожного типу КСС існує найвигідніше значення L/h , яке забезпечує найбільшу рівномірність розподілу освітленості і максимальну енергетичну ефективність світильників.

Кількість рядів світильників визначають за формулою

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1, \quad (5.6)$$

а число світильників в ряду за співвідношенням

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1. \quad (5.7)$$

Загальну кількість світильників визначають за формулою:

$$N_{\text{св}} = R \cdot N_R \quad (5.8)$$

5.2.3 Розрахунок навантаження освітлювальної мережі

Розрахункове навантаження освітлювальної мережі цеху визначається методом коефіцієнта попиту (з урахуванням втрат потужності в пускорегулюючих апаратах, якщо як джерела світла обрані газорозрядні лампи). Вихідними даними для розрахунку є: кількість світильників у цеху, потужність одного світильника, тип джерела світла і схема його включення (для люмінесцентних ламп) - результати світлотехнічного розрахунку штучного освітлення; характеристика виробничої будівлі і відповідні їй груповий коефіцієнт попиту за активною потужністю K_{na} та коефіцієнт потужності для газорозрядних ламп $\cos\varphi$.

Втрати потужності в пускорегулюючих апаратах газорозрядних ламп (враховуються коефіцієнтом $K_{пра}$): для газорозрядних ламп високого тиску (ДРЛ, ДРІ) – 10%; для люмінесцентних ламп, що включаються за стартерними схемами - 20%; для таких самих ламп, що включаються за безстартерними схемами - 30%. Для виробничих будівель, що складаються з багатьох окремих приміщень, $K_{na}=0,85$; для виробничих будівель, що складаються з окремих великих прольотів, $K_{na}=0,95$; для групових щитків $K_{na}=1,0$.

При визначенні розрахункового навантаження освітлювальної мережі за реактивною потужністю коефіцієнт потужності для газорозрядних ламп $\cos\varphi$ дорівнює 0,95 та 0,5 для ЛЛ з та без компенсації відповідно; для ламп ДРЛ, ДРІ – 0,6.

$$P_{рцеха}^o = K_{na} \cdot K_{пра} \cdot P_{уст} \quad (5.9)$$

$$Q_{рцеха}^o = P_{рцеха}^o \cdot \tg\varphi \quad (5.10)$$

Розрахункова потужність електричного освітлення для службовопобутових приміщень визначається за питомою потужністю:

$$P_{р.сл.поб}^o = K_{na} P_{уд} S, \quad (5.11)$$

$$Q_{р.сл.поб}^o = P_{р.сл.поб}^o \cdot \tg\varphi \quad (5.12)$$

де $P_{p.сл.поб}^o$, $Q_{p.сл.поб}^o$ - розрахункова потужність, необхідна для освітлення службово-побутових приміщень, кВт;

$P_{пнт}$ - питома потужність освітлення службово-побутових приміщень, Вт/м²;

$K_{па}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

S - площа цеху, м².

При розрахунку можна взяти $P_{пнт}=5,7$ Вт/м², $K_{па}=0,9$.

Розрахункова потужність освітлення для цеху та службово-побутових приміщень:

$$P_p^o = P_{p.сл.поб}^o + P_{p.цеха}^o, \quad (5.13)$$

$$Q_p^o = Q_{p.сл.поб}^o + Q_{p.цеха}^o. \quad (5.14)$$

5.2.4 Розрахунок сумарного навантаження цеху

Повне розрахункове навантаження на трансформаторну підстанцію цеху в цілому, від яких живляться силова й освітлювальна мережі, визначається алгебраїчним підсумовуванням розрахункових навантажень цих мереж.

Повна розрахункова потужність цеху (на шинах 0.4 кв ТП) $S_{p\Sigma}$, кВА:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}, \quad (5.15)$$

де $P_{p\Sigma}$ - сумарна активна розрахункова потужність цеху, кВт;

$Q_{p\Sigma}$ - сумарна реактивна розрахункова потужність цеху, кВАр:

$$P_{p\Sigma} = P_p + Q_p^o. \quad (5.16)$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + Q_p^o. \quad (5.17)$$

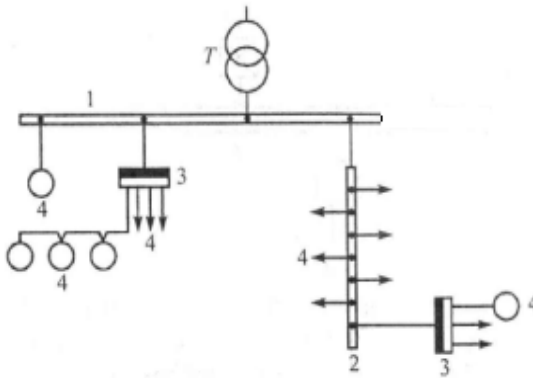
5.3 Формування схеми силової електричної мережі до 1000 В

У цехові силові електричні мережі закладається величезна кількість провідникового матеріалу електричної апаратури, тому вибір схеми живлення визначає не лише якість та особливість роботи ЕО, але й техніко-економічні показники (ТЕП) усієї СЕП.

Цехові силові електричні мережі можуть бути виконані за радіальною, магістральною або змішаною схемами. Кожна з них відрізняється за ступенем надійності й ТЕП, має свої переваги та недоліки.

Лінії цехової силової мережі, які відходять від шин низької напруги (НН) цехової ТП (ЦТП) або шинопроводу магістрального алюмінієвого (ШМА) до силової розподільної шафи (СРШ) або силового пункту (СП), або до розподільчого шинопроводу ШРА, утворюють живильну мережу, а лінії, які підводять електроенергію безпосередньо до ПЕ, — розподільну.

Для живильної мережі застосовують радіальні, магістральні та змішані схеми. Розподільну мережу, як правило, виконують радіальною або змішаною, рідше — магістральною.



1- розподільний пристрій НН ЦТП; 2 – ШРА; 3 – СРШ (СП); 4 - ПЕ

Рисунок 5.3 – Приклад змішаної схеми.

Звичайно цехова силова електрична мережа виконується за змішаною схемою. Змішана схема (рисунк 5.3) поєднує в собі елементи магістральної й радіальної — частина ПЕ (4) одержує живлення

від магістралей ШРА (2), частина — від СРШ (3). Таке сполучення дозволяє більш повно використовувати переваги обох схем.

За будь-яких схем живлення слід так розміщувати СП або СРШ, ШРА, щоб звести до мінімуму довжину провідників живильної та розподільної мереж, зворотні (стосовно напрямку від ДЖ) потоки електроенергії.

5.3.1 Конструктивне виконання живильної мережі

Конструктивно цехова живильна мережа виконується кабелями, шинопроводами, модульними проводками й рідше проводами.

У радіальних мережах при прокладанні кабелів у середині цехів застосовуються броньовані й найчастіше неброньовані без зовнішнього джутово-бітумного (через пожежонебезпеку) кабелів марок АВВГ, АВРГ, АНРГ (чотирижильні для мереж з глухозаземленою нейтраллю або трижильні для мереж з ізольованою нейтраллю).

Спосіб прокладання кабелів вибирають залежно від їхньої кількості, наявності вибухонебезпечних газів, які важчі за повітря, та ін. Рекомендується застосовувати відкрите прокладання кабелів. Бажано, щоб траса кабелів була прямолінійною та віддаленою від різних трубопроводів. Прокладання кабелів усередині цехів промислових підприємств їх розташовують на стінах, колонах, фермах, перекриттях, лотках, у трубах, коробах і спеціальних кабельних каналах, блоках, тунелях.

У разі невеликої кількості кабелів, коли споруджувати кабельні канали недоцільно або неможливо, доводиться прокладати кабелі в борознах підлоги в сталевих трубах або під швелером чи сталевим куточком, що погіршує умови охолодження й вимагає зниження навантажень на кабелі. Таке прокладання кабелю рекомендується лише в тих випадках, коли інші способи неможливі.

Магістральні мережі конструктивно виконуються у вигляді магістралей з шинопроводів, кабелями і проводами в трубах.

В електричних мережах напругою до 1 кВ здебільшого застосовують закриті шинопроводи, які виготовляють на електротехнічних підприємствах та називають комплектними (на струми більш 100 А). Вони поставляються окремими збірними секціями, які складаються з

трьох або чотирьох шин з ізоляторами в оболонці та комутаційних апаратів.

Шинопроводи типу ШМА призначенні для живильної мережі в схемі блок-трансформатор-магістраль (БТМ). Відгалуження від ШМА виконуються глухими або з автоматичними повітряними вимикачами (автоматами), які встановлені у відгалжувальній коробці. Магістральні шинопроводи звичайно кріплять на висоті 3-4 м над підлогою приміщення на кронштейнах чи спеціальних стійках. Це забезпечує невелику довжину спусків до ШРА, СРШ і потужних ПЕ.

Розподільні шинопроводи типу ШРА також випускаються секціями різної конфігурації. Для штепсельного приєднання відгалжувальних коробок на бічних сторонах прямих секцій шинопроводу довжиною 3 м виконані вікна (у шинопроводі типу ШРА73 два чи чотири на секцію). Відгалжувальні коробки комплектуються рубильниками, запобіжниками або автоматами, чим забезпечується приєднання окремих ПЕ або їх груп зі струмом до 250 А. Для штепсельного приєднання відгалжувальних коробок на секціях шинопроводу передбачені вікна зі шторками, що закриваються автоматично. Це гарантує безпечне приєднання коробок до шинопроводу, який перебуває під напругою в процесі експлуатації. При відкриванні кришки коробки живлення ПЕ припиняється. Лінії від штепсельних коробок до ПЕ виконуються ізольованими проводами в трубах, коробах та металорукавах, а також шланговими кабелями на тросі.

5.3.2 Конструктивне виконання розподільної мережі

Конструктивно розподільну мережу в основному виконують проводами у трубах (металевих або пластмасових) та (або) кабелем.

При прокладанні проводів у середині цехів здебільшого застосовуються одножильні ізольовані проводи марок АПВ, АПРТО (ПВ, ПРТО, якщо на те є технічні вимоги до провідників).

Відкрите прокладання ізольованих проводів допускається в усіх приміщеннях, за винятком приміщень з вибухонебезпечним середовищем.

Прокладання ізольованих проводів у звичайних сталевих водогазопровідних трубах допускається лише у вибухонебезпечних зонах. Легкі водогазопровідні труби можна застосовувати в усіх середовищах і

зовнішніх установках, але рекомендуються в приміщеннях вогких, особливо вогких, з хімічно активним середовищем.

Застосування пластмасових труб із вініласту, поліетилену та поліпропілену дозволяє економити сталеві труби, знизити трудомісткість трубних електропроводок. Вініластові труби є жорсткими й застосовуються для схованих і відкритих прокладок у всіх середовищах, крім вибухонебезпечних і пожежонебезпечних. Застосування поліетиленових і поліпропіленових труб заборонене у вибухонебезпечних і пожежонебезпечних приміщеннях і рекомендоване для схованої прокладки в сухих, вогких, курних, з хімічно активним середовищем приміщеннях.

Трубні проводки звичайно виконують у підлозі перед заливанням його бетоном. Максимально можливий переріз проводів, що затягується в трубу, залежить від діаметра труби, її довжини і кількості вигинів.

5.4 Визначення кількості, потужності і типу силових трансформаторів ЦТП з урахуванням компенсації реактивної потужності

При визначенні кількості, потужності й типу трансформаторів ЦТП варто врахувати: категорію надійності електропостачання ПЕ; компенсацію реактивної потужності на напрузі до 1 кВ; переважальну здатність трансформаторів у нормальному й аварійному режимах; кроку стандартних потужностей; економічність режимів роботи трансформаторів у залежності від графіка навантаження.

Однотрансформаторні підстанції рекомендується застосовувати за наявності в цеху в основному споживачів 3-ї категорій.

Двотрансформаторні підстанції рекомендується застосовувати в наступних випадках:

- якщо переважають споживачі 1-ї та 2 –ої категорії;
- при живленні від цехової ТП об'єктів загальнозаводського призначення (компресорних і насосних станцій);
- для цехів з високою питомою щільністю навантажень (вище $0,5-0,7 \text{кВА/м}^2$).

Іноді виявляється доцільним застосування двохтрансформаторної підстанції при нерівномірному добовому чи річному графіку навантажень. У цьому випадку можна змінювати приєднану потужність

трансформаторів, використовуючи їх для більш раціонального режиму роботи.

Цехові ТП із кількістю трансформаторів більш двох використовуються тільки за умови належного обґрунтування.

Цехові трансформатори мають наступні номінальні потужності: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВт (ДСТУ 14209-97).

Номінальну потужність трансформатора $S_{n_{mp}}$ без урахування компенсації реактивної потужності вибирають з умови

$$S_{n_{mp}} \geq \frac{S_{p\Sigma}}{N_m K_3}, \quad (5.18)$$

де K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора;

N_{mp} - кількість трансформаторів на ТП;

$S_{p\Sigma}$ - повна розрахункова потужність цеху, кВА.

Рекомендується брати наступні коефіцієнти завантаження трансформаторів:

- якщо переважають навантаження 1-ї категорії для двох трансформаторної ТП, приймають $K_3 = 0,65 - 0,7$;

- якщо переважають навантаження 2-ї категорії для однострансформаторних ТП у випадку взаємного резервування трансформаторів на нижчій напрузі, приймають $K_3 = 0,7 - 0,8$;

- якщо переважають навантаження 2-ї категорії і наявний централізований (складський) резерв трансформаторів, а також при навантаженнях 3-ї категорії, приймають $K_3 = 0,9 - 0,95$.

У перших двох випадках значення коефіцієнтів завантаження трансформаторів визначені з умови їхнього взаємного резервування в аварійному режимі з урахуванням припустимого перевантаження трансформатора, що залишився в роботі.

Потужність трансформаторів ЦТП може бути знижена при компенсації реактивної потужності на боці нижчої напруги.

Визначимо потужність конденсаторної установки за критерієм зниження потужності цехових трансформаторів. Необхідна потуж-

ність трансформатора $S_{н_{mp}}$ для живлення заданого максимального активного навантаження цеху $P_{p\Sigma}$ повинна відповідати умові:

$$S_{н_{mp}} \geq \frac{P_{p\Sigma}}{N_m K_3}, \quad (5.19)$$

де K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора;

N_{mp} - кількість трансформаторів на ТП;

$P_{p\Sigma}$ - активна розрахункова потужність цеху, кВА.

Потужність трансформатора вибираємо зі стандартного ряду ($S_{ном.м}$). Якщо номінальна потужність трансформатора, вибраного за умовою (5.19) знизилася порівняно з номінальною потужністю трансформатора, вибраного за умовою (5.18), встановлення компенсуючих пристроїв на стороні 0.4 кВ є доцільним.

Виходячи з прийнятої потужності трансформатора, за виразом (5.20) визначимо реактивну потужність Q_{mp} , яку можна передати через трансформатор:

$$Q_{mp} = \sqrt{(N_m K_3 S_{ном.м})^2 - P_{p\Sigma}^2} \quad (5.20)$$

Визначаємо реактивні втрати в трансформаторі:

$$\Delta Q_{mp} = \frac{I_\kappa \cdot S_{ном.м}}{100} + K_3^2 \cdot \frac{U_\kappa \cdot S_{ном.м}}{100} \quad (5.21)$$

Потужність конденсаторної установки напругою до 1000 В, що визначають за формулою:

$$Q_{нву} = Q_{p\Sigma} - Q_{mp} \quad (5.22)$$

Потужність конденсаторної установки напругою 380 В вибирають зі стандартного ряду, що наведені в таблицях у довідниках.

Конденсаторні установки можуть бути встановлені як на НН ЦТП, так і в окремих потужних ПЕ.

Остаточню обирати кількість і потужність трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій слід альтернативно на основі техніко-економічних розрахунків, з урахуванням рішень з вибору потужності і місця установки компенсуючих пристроїв.

Розміщення цехових підстанцій на плані цеху залежить від розташування технологічного обладнання, конфігурації виробничих приміщень, умов навколишнього середовища, пожежної й електричної безпеки, а також виробничих, архітектурно-будівельних і експлуатаційних вимог. Найбільш оптимальний варіант розміщення цехових трансформаторних підстанцій - це максимальне наближення до центра груп споживачів, які живляться ними, що дозволяє значно скоротити довжину живильної низьковольтних мереж, знизити в них втрати електричної енергії і відхилення напруги.

В усіх випадках, коли цьому не перешкоджають умови середовища й обслуговування, усередині цехів повинні застосовуватися комплектні трансформаторні підстанції (КТП), які встановлюються відкрито. Внутрішньоцехові підстанції рекомендується розташовувати в кроці колон і біля постійно закритих внутрішньоцехових приміщень з таким розрахунком, щоб по можливості не займати площ, що обслуговуються кранами. У гарячих, запилених цехах, а також у цехах з хімічно активним середовищем підстанції варто встановлювати в спеціально відведених приміщеннях відповідно до вимог.

У випадку неможливості відкритої установки трансформаторних підстанцій останні виконуються із закритою установкою трансформаторів, прибудованими до глухої стіни цеху або вбудованими у цех.

При наявності в цеху електроприймачів напругою вище 1 кВ може виявитися доцільним розміщення в цеху розподільчого пункту чи розподільного пристрою без перетворення електроенергії. У цьому випадку рекомендується розташування розподільчого пункту (розподільного пристрою) разом з найближчою трансформаторною підстанцією, якщо це не викликає значного зсуву останньої з центру електричних навантажень.

5.5 Розрахунок електричних апаратів і кабелю напругою вище 1000 В

Обсяг роботи з розрахунку живильної мережі визначається прийнятою схемою і містить у собі: вибір шаф (комірок) комплектного розподільного пристрою напругою 10 кВ, вибір марки і перерізу живлячих кабелів.

Шафи комплектного розподільного пристрою і переріз кабелів треба вибирати з тривалого нормального режиму, режиму короткого замикання і післяаварійного режиму (або режиму перевантаження). При цьому треба застосовувати нові розробки в області комплектних розподільних пристроїв.

Переріз живлячих кабелів у нормальному тривалому режимі роботи з умови припустимого нагріванн:

$$K_{\text{нopr}} I_{\text{нpin}} \geq I_{\text{розр}} \quad (5.23)$$

де $K_{\text{нopr}}$ - поправочний коефіцієнт на припустимий тривалий струм кабелів, прийнятий за [1];

$I_{\text{нpin}}$ - довготривалий припустимий струм кабеля, взятий з таблиць [1];

$I_{\text{розр}}$ - розрахунковий струм навантаження лінії в нормальному тривалому режимі роботи.

Прийнятий стандартний переріз кабеля необхідно перевірити за умовою припустимого нагрівання в обважченому режимі (чи режимі перевантаження):

$$K_{\text{пер}} K_{\text{нopr}} I_{\text{нpin}} \geq I_{\text{розр перевантаж}} \quad (5.24)$$

де $K_{\text{пер}}$ - коефіцієнт перевантажувальної здатності кабельної лінії, прийнятий за [1];

$I_{\text{розр уваж}}$ - максимальний розрахунковий струм лінії з урахуванням перевантаження при найбільш несприятливих умовах експлуатації.

Переріз кабеля, прийнятий за припустимим нагріванням, згідно [1] повинен бути перевірений за економічною густиною струму:

$$S_{ек} = \frac{I_{розр}}{j_{ек}} \quad (5.25)$$

де $I_{розр}$ - розрахунковий струм навантаження нормального режиму роботи. Збільшення струму в післяаварійних і ремонтних режимах не враховується;

$j_{ек}$ - нормоване значення економічної густини струму, А/мм², прийняте за [1].

У режимі короткого замикання кабелі перевіряються на термічну стійкість, що характеризується припустимим тепловим імпульсом струму короткого замикання.

Практично кабелі на термічну стійкість можуть бути перевірені за формулою (приймається стандартний переріз менше за його розрахункове значення):

$$S_{min}^K = \frac{I_{K_{t=\infty}} \sqrt{t_K}}{C} \quad (5.26)$$

де $I_{K_{t=\infty}}$ - розрахункове значення періодичної складової струму короткого замикання на початку кабельної лінії або на шинах РП-10 кВ, кА;

t_K - зведений час короткого замикання, с;

C - коефіцієнт, що залежить від виду і конструктивного виконання кабеля, в. о.

Остаточню приймається найбільший переріз кабелю, визначений за кожною з приведених умов.

5.6 Розрахунок силової розподільної мережі напругою до 1000 В

Силу розподільну мережу розраховують відповідно до прийнятого варіанта схеми каналізації електроенергії в цеху і її конструктивного виконання.

5.6.1 Розрахунок електричного навантаження у вузлах схеми

Електропостачання цеху на напрузі до 1 кВ здійснюється відповідно до рекомендацій, викладеними в розділі 5.4 методичних вказівок. Рекомендується розглядати варіантні рішення на вибір кількості розподільних пунктів і навантаження, що підключається до них, з метою визначення оптимального варіанта. При цьому розподільні пункти повинні бути максимально наближені до ПЕ, що живиться від них.

5.6.2 Вибір розподільних пристроїв

Вибір силових розподільних пунктів, магістральних та розподільних шинопроводів, шаф комплектних трансформаторних підстанцій чи типові панелі розподільного щита низької напруги підстанції, щитів станцій керування обумовлено наступним:

а) типові виконання розподільних пунктів визначаються ступенем захисту від навколишнього середовища, загальним розрахунковим навантаженням, кількістю приєднань і їх номінальною потужністю, вимогами захисту мережі згідно [1] (в усіх випадках, коли не потрібний захист мережі від перевантаження при радіальних схемах живлення від розподільних пунктів, рекомендується застосовувати схеми живлення із запобіжниками);

б) розподільні шинопроводи - за припустимим нагріванням максимальним розрахунковим струмом, включаючи конструктивні елементи шинопроводу (прямі секції з відгалужувальними коробками, вхідні, перехідні, торцеві та ін.);

в) головні магістралі - за максимальним розрахунковим струмом навантаження, а при наявності резервних переминок - за максимальним розрахунковим струмом об'єднаного режиму (тобто режиму перевантаження);

г) шафи комплектних трансформаторних підстанцій чи типові панелі РП-0,4 кВ ЦТП - ввідні шафи, секційні, лінійні, освітлювальні, конденсаторні та ін. (визначається в кожному конкретному випадку прийнятою схемою розподілу електроенергії в цеху);

д) ввідні і секційні шафи - за максимальним розрахунковим струмом об'єднаного режиму роботи з можливістю використання їх у схемах автоматичного включення резерву; лінійні шафи - для нормального режиму роботи з урахуванням вимог [1] до захисту мережі і забезпечення селективності дії захисту.

5.6.3 Вибір апаратів захисту і керування

Як апарати захисту цехових мереж і установок промислових підприємств напругою до 1 кВ варто застосовувати плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі. Цими апаратами комплектуються типові панелі й шафи, з яких набирається РП-0,4 кВ ЦТП, СП, ШРА, силові ящики, шафи керування, блоки керування та ін. Рекомендується широко застосовувати плавкі запобіжники, не допускаючи необґрунтованого використання автоматичних вимикачів.

Автоматичні вимикачі варто застосовувати:

а) при необхідності автоматизації керування (автоматичне повторне включення, автоматичне включення резерву та ін.);

б) при частих аварійних відключеннях (випробувальні, лабораторні та ін. установки);

в) при більш швидкому в порівнянні з плавкими запобіжниками відновленні живлення.

При захисті плавкими запобіжниками рекомендується останні застосовувати з наповнювачем (наприклад, НПН, ПН2). Запобіжники без наповнювача (наприклад, ПР-2) допускаються в невеликих, переважно пересувних установках і при розширенні діючих установок з такими ж запобіжниками.

При захисті автоматичними вимикачами в цехових розподільних пристроях, на відгалуженнях від магістральних шинопроводів, на щитах підстанцій для захисту ліній, що відходять, з розрахунковими струмами до 630 А включно рекомендуються установочні автоматичні вимикачі (наприклад, серії ВА51, ВА52), якщо застосування інших вимикачів не диктується особливими умовами.

Потужні, а отже, більш важкі і дорогі вимикачі підстанційного типу (наприклад ВА 55-41, ВА 55-43, ВА 88-40, ВА 88-43) рекомендуються застосовувати головним чином у розподільних пристроях підстанцій, а саме, на вводі, секційних зв'язках, а також для захисту відгалужень з номінальним струмом не менш 400 А. Для захисту менш потужних відгалужень такі вимикачі допускаються як виняток при наявності необхідних обґрунтувань.

Місця установки апаратів захисту повинні визначатися в проекті відповідно до вимог розділу 5.5.2 [1]. Не рекомендується встановлювати апарати захисту наприкінці ліній, що живлять цехові розподільні пристрої (наприклад, на вводах у шафи керування електроприй-

мачів, у силові розподільні пункти, щити станцій керування та ін.), що дублюють захист апаратів головних ділянок ліній. Наприкінці таких ліній для можливості аварійного відключення в екстрених випадках варто передбачати рубильник.

Апарати захисту повинні встановлюватися безпосередньо в місцях приєднання провідників, що захищаються, до живлячої лінії на відстані від місця приєднання відгалуження до 6 м за умови, що переріз провідника на цій ділянці повинен бути не менш перерізу провідника після апарата захисту.

Для відгалужень, що виконуються у важкодоступних місцях, апарати захисту допускається встановлювати на відстані до 30 м від точки відгалуження за умови, що переріз провідника відгалуження, обумовлений розрахунковим струмом, повинен забезпечувати не менш 10% пропускної здатності захищеної ділянки живильної лінії. Прокладка провідників на незахищених ділянках повинна здійснюватися при горючих зовнішніх оболонках чи ізоляції провідників - у трубах, металорукавах або коробах.

Технічні характеристики захисних апаратів треба вибирати з урахуванням усіх можливих режимних станів елементів мережі і ПЕ. Апарати захисту за своєю здатністю відключення, повинні відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку ділянки електричної мережі, що захищається.

Вибір автоматів в полягає дотриманні загальних умов, а саме:

— номінальна напруга

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}, \text{ В (кВ)} \quad (5.27)$$

— номінальний струм автомата

$$I_{ном.а} \geq I_{роз}, \text{ А} \quad (5.28)$$

— номінальний струм теплового розчеплювача

$$I_{ном.т.розч} \geq I_{роз} \cdot k, \text{ А} \quad (5.29)$$

де $I_{роз}$ — розрахунковий струм вузла навантаження

k — коефіцієнт надійності.

Автомати звичайно мають кілька номінальних струмів розчеплювача. Найбільше значення номінального струму розчеплювача дорівнює номінальному струму автомата, тому

$$I_{ном.а} \geq I_{ном.т.розч}, А \quad (5.30)$$

У лініях лампами ДРЛ (ДРІ) номінальний струм теплового розчеплювача вибирається як:

$$I_{ном.т.розч} \geq I_{роз.о}, А \quad (5.31)$$

де $I_{роз.о}$ — розрахунковий струм лінії освітлення

Для ламп розжарювання і люмісцентних :

$$I_{ном.т.розч} \geq I_{роз.о}, А \quad (5.32)$$

Лінія яка живить КУ:

$$I_{ном.т.розч} \geq I_{ном.КУ}, А \quad (5.33)$$

$$I_{ном.КУ} = \frac{Q_{КУ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, А \quad (5.34)$$

Автомати не повинні вимикати лінії чи ділянки, які захищають при короткочасних перевантаженнях (пускові струми, пікові та ін.).

Уставка струму електромагнітного розчеплювача вибирається за умови:

$$I_{ном.е.розч} \geq 1,25 \cdot I_{нік} (I_{пуск}), А \quad (5.35)$$

де $I_{\text{пик}}, I_{\text{пуск}}$ – піковий струм групи електроприймачів і пусковий струм одиночного ПЕ;

1,25 – коефіцієнт, який враховує похибки від розкиду характеристик, що може досягати 15%

У лініях з компенсуючими пристроями струм спрацювання електромагнітного розчеплювача (відсічки) вибирається за формулою:

$$I_{\text{ном.е.розч}} \geq 1,3 \cdot I_{\text{ном.КП}}, \text{ А} \quad (5.36)$$

Для освітлення :

$$I_{\text{ном.е.розч}} \geq 1,3 \cdot I_{\text{роз.о}}, \text{ А}$$

У силових розподільчих шафах на відгалужених лініях установлені запобіжники типу НПН2 та ПН2 (наприклад, для типу ШР-11).

Умови вибора запобіжників:

— номінальна напруга

—

$$U_{\text{ном.зап}} \geq U_{\text{ном.м}}, \text{ В (кВ)} \quad (5.37)$$

— номінальний струм

$$I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{розр}}(I_{\text{ном.ПЕ}}), \text{ А} \quad (5.38)$$

де $I_{\text{роз}}, I_{\text{ном.ПЕ}}$ – розрахунковий струм групи електроприймачів і номінальний струм одиночного ЕП.

Струм плавкої вставки:

— при захисті лінії, яка живить групи ЕП

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{k}, \text{ А} \quad (5.39)$$

— для одиночного електроприймача з пусковим струмом (ЕД)

$$I_{ном.пл.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{k}, \text{ А} \quad (5.40)$$

— для одиночного електроприймача без пускових струмів

$$I_{ном.пл.вст} \geq 1,2 \cdot I_{ном.ПЕ}, \text{ А} \quad (5.41)$$

де k – коефіцієнт, який для групи ЕД при легкому пуску, можна приймати $k = 2,5$; при важкому пуску (часті пуски, або тривалість пускового періоду більше ніж 2,5 с, характерні для ЕД кранів, дробарок, центріфуг та ін.) $k = 1,6$.

Номінальний струм плавкої вставки для захисту відгалуження до зварювального апарата при перерізі проводів більше 10 мм² обирають за формулою:

$$I_{ном.пл.вст} \geq 1,2 \cdot I_{зв} \sqrt{TB}, \text{ А} \quad (5.42)$$

де $I_{зв}$ – номінальний струм зварювального трансформатора (апарата) при номінальній тривалості вмикання.

Для захисту ліній з лампами ДРЛ (ДРІ) номінальний струм плавкої вставки вибирається як:

$$I_{ном.пл.вст} \geq 1,2 \cdot I_{роз.о}, \text{ А} \quad (5.43)$$

Для захисту ліній з ЛР та ЛЛ низького тиску:

$$I_{ном.пл.вст} \geq I_{роз.о}, \text{ А}$$

Оскільки в патрон запобіжника не може бути вставлена плавка вставка на більший струм, ніж $I_{ном}$ патрона запобіжника, то автоматично має виконуватися умова:

$$I_{\text{ном.зап}} \geq I_{\text{роз.пл.вст}} \cdot A \quad (5.44)$$

Запобіжники НПН 2 та ПН 2 з малою тепловою інерцією (безінерційні) мають струмообмежувальну дію, тому на стійкість наскрізним струмом КЗ перевіряти не треба.

Для керування електроприймачами рекомендується застосовувати:

- для керування електроприймачами тривалого режиму роботи (виняток складають відповідальні електродвигуни, для яких потрібен самозапуск) - магнітні пускачі, контактори, що забезпечують нульовий захист;

- для керування електроприймачами повторно-короткочасного режиму роботи - контактори, що забезпечують нульовий захист і розраховані на відповідну частоту включень в умовах включення і відключення пускових струмів.

Використання для керування електродвигунами автоматичних вимикачів (замість магнітних пускачів і контакторів) допускається лише відповідно до технічних умов на ці вимикачі.

Апарати керування електроприймачами в залежності від місцевих умов можуть установлюватися:

- а) розподілено або групами відкрито на стінах, колонах чи конструкціях безпосередньо в цехах поблизу керованих механізмів. У цих випадках повинні застосовуватися апарати в оболонках, що задовольняють вимогам захисту від впливу навколишнього середовища цеху;

- б) у шафах, що задовольняють вимогам захисту від навколишнього середовища цеху, чи на відкритих панелях, установлених на ділянках цеху з нормальним середовищем;

- в) відкрито на щитах, розташованих в ізольованих електротехнічних приміщеннях станцій керування. Щит станції керування комплектується з окремих апаратів відкритого виконання, або зі станцій керування. Таке розташування апаратів керування і захисту повинне передбачатися у випадках, коли концентрація їх в одному пункті технічно й економічно доцільна як з погляду схеми розподілу електроенергії, так і керування.

5.6.4 Вибір марки та перерізу проводів й кабелів

Під час вибору марки проводів та кабелів варто керуватися вимогами [1] до способу каналізації електроенергії і навколишнього середовища в цеху. Переріз провідників вибирається з умов припустимого нагрівання тривалим максимальним струмом навантаження з таблиць [1] з урахуванням поправочних коефіцієнтів на умови прокладки.

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{роз}} \cdot A \quad (5.45)$$

де $I'_{\text{доп}}$ – допустимий струм з урахуванням навколишнього середовища й умов прокладання.

Допустимий тривалий струм для проводів чи кабелів, в залежності від способу прокладання, наводиться в таблицях [1].

Для остаточного вибору перерізу проводу (кабелю) слід провести всі перевірки відповідно до вимог [1]: за механічною міцністю, допустимою втратою напруги та за умови відповідності захисному апарату. Переріз провідників приймається найбільшим за вище наведеними вимогами.

Провідники, обрані за припустимим нагріванням, у мережах промислових підприємств напругою до 1 кВ згідно [1] не перевіряються за економічною густиною струму при використанні підприємством максимуму навантаження до 4000 - 5000 годин, а також відгалуження до окремих електроприймачів напругою до 1 кВ.

Обраний за припустимим нагріванням переріз провідників не перевіряється згідно [1] за режимом короткого замикання, якщо проведено узгодження тривало-припустимого струму обраного перерізу з захисним апаратом. Умова відповідності захисному апарату:

$$I'_{\text{доп}} \geq k_3 \cdot I_{\text{ном.з}} \cdot A \quad (5.46)$$

де k_3 - кратність припустимого струму проводу чи кабеля стосовно номінального струму розчеплювача або струму спрацьовування захисного апарата;

$I_{ном.з}$ - номінальний струм розчеплювача або струм спрацьовування захисного апарата.

Значення k_3 визначаються в залежності від призначення і прийнятого виду захисту, характеру мережі, ізоляції проводів, кабелів і умов прокладки [1]. При розрахунку значень k_3 можна скористатися даними таблиці 5.2.

Усі розрахунки на вибір марки і перерізу провідників силової мережі рекомендується вести в довільній табличній формі, а також можна використовувати типові таблиці розрахунку силової мережі проектних організацій.

5.6.5 Особливості вибору перерізу провідників до зварювальних установок

Зварювальні установки працюють у повторно – короткотривалому режимі. При цьому режимі роботи тривалість циклу не більше 10 хв. Для цього режиму короточасний струм приводиться до тривалого режиму приводиться за формулою :

$$I_{трив} = I_{ном.зв} \cdot \sqrt{TB_n}, \text{ A} \quad (5.47)$$

де $I_{ном.зв}$ – номінальний струм зварювальної установки при номінальній $TB=100\%$;

TB_n – паспортна тривалість вмикання, відн.од.(стандартні значення TB_n зварювальних установок -15,25,40,60%)

Відповідно [1], якщо тривалість робочого періоду не більше 4 хв. від загальної тривалості циклу 10 хв.(100%), то за розрахунковий струм для вибору перерізу провідників приймається струм приведений до тривалого режиму .

Переріз проводу або кабелю вибирається за формулою:

$$I_{доп} \geq I_{трив}, \text{ A} \quad (5.48)$$

Але слід урахувати такі положення [1]:

— для мідних провідників перерізо до 6 мм² та алюмінієвих перерізом до 10 мм² струм приймається як для установок з тривалим режимом:

Таблиця 5.2 – Значення k_3

Номінальний струм захисного апарата, $I_{ном.з}$	Мережі, що захищаються від перевантажень			Мережі, що захищаються від короткого замикання
	Провідники з гумовою ізоляцією		Кабелі з паперовою ізоляцією	
	середовище вибухо і пожежебезпечне	нормальне середовище		
Номінальний струм плавкої вставки запобіжника, $I_{ном.пл.вст.}$	1,25	1	1	0,33
Струм уставки автоматичного вимикача, що має тільки максимальний розчеплювач (відсічка), $I_{у.ел.р.}$	1,25	1	1	0,22
Номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача з нерегульовною оберненозалежною від струму характеристикою, $I_{ном.розч.}$	1	1	1	1
Номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача з регульовною оберненозалежною від струму характеристикою, $I_{ном.розч}$	1	1	0,8	0,66

— для мідних провідників перерізом більш 6 мм² та алюмінієвих перерізом більш 10 мм² струм розрахункового тривалого навантаження визначається як:

$$I_{трив} = \frac{I_{ном.36} \cdot \sqrt{TB_n}}{0,875}, \text{ А} \quad (5.49)$$

Для остаточного вибору перерізу проводу треба провести усі перевірки відповідно до вимог [1]: механічної міцності, допустимої втрати напруги, до умови відповідності захисному апарату.

5.6.6 Вибір тролейних ліній

Розрахунок тролейних ліній з кутової сталі або шинопроводів типу ШТМ полягає у виборі розмірів кутової сталі або серії ШТМ за нагріванням тривалим струмом навантаження й перевіряється на втрату напруги.

Розрахунковий струм при виборі тролейних ліній за нагріванням приймається рівним струму тринадцятихвилинного навантаження:

$$I_{30} = \frac{\sqrt{(P_{cn} \cdot k_{30})^2 + (P_{cn} \cdot k_{30} \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А} \quad (5.50)$$

де P_{cn} – споживана активна потужність, кВт;

k_{30} – коефіцієнт попиту активної потужності, який визначається з кривих, залежно від режиму роботи крану та ефективного числа ПЕ, n_e ;

$\operatorname{tg} \varphi$ – визначається залежно від коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ кранових двигунів ЕД

Споживана активна потужність визначається як:

$$P_{cn} = \frac{P_{ном\Sigma}}{\eta_{ном}} \quad (5.51)$$

де $P_{ном\Sigma}$ – сумарана номінальна активна потужність кранових ЕД, кВт;

$\eta_{ном}$ – номінальний ККД кранових ЕД, відн.од.

Розрахункові активна та реактивна потужності визначаються за формулами:

$$P_{30} = P_{cn} \cdot k_{30}, \text{ кВт} \quad (5.52)$$

$$Q_{30} = P_{30} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр} \quad (5.53)$$

Для кранів з малою вантажопідйомністю для АД з короткозамкненим ротором - $\cos \varphi = 0,45 - 0,5$; для кранів з великою вантажопідйомністю АД з фазним ротором - $\cos \varphi = 0,6$.

За умови нагрівання

$$I_{доп} \geq I_{30}, \text{ А} \quad (5.54)$$

де $I_{доп}$ – допустимий струм для тролів зі сталевих профілів або ШТМ, А.

Вибрані сталеві тролі перевіряються на втрату напруги при найбільше несприятливому розгалужуванні кранів у прогоні цеху за формулою:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{нік} \cdot l \cdot (r_o \cdot \cos \varphi + x_o \cdot \sin \varphi)}{U_{ном}} \cdot 100\%, \text{ В}$$

або

$$\Delta U_m = \frac{\Delta e \cdot I_{нік} \cdot l}{10000}, \text{ В} \quad (5.55)$$

де Δe – втрата напруги на 100 А пікового струму та l м довжини тролей (визначається для конкретного конструктивного виконання тролей з довідників).

При визначенні $I_{\text{пик}}$ і відсутності даних $I_{\text{пуск}}$ ЕД кратності пускового струму для АД з короткозамкненим ротором приймається $k_{\text{пуск}}=5,5-6$; для ЕД з фазним ротором $k_{\text{пуск}}=2,5-3$.

При живленні від однієї тролейної лінії двох кранів розрахункову довжину тролей множать на 0,8, трьох кранів – на 0,7, що враховує малу ймовірність роботи кранів у кінці лінії.

Відхилення напруги на зажимах кранових двигунів визначається за формулою:

$$\Delta U_{\text{роз}} = \Delta U_c + \Delta U_m + \Delta U_{\text{кр}}, \% \quad (5.56)$$

де ΔU_c – втрати напруги у мережі від РП – 0,4 кВ ЦТП до тролей

$\Delta U_{\text{кр}}$ – втрати напруги у мережі підключення кранових двигунів 1,5 – 2 %.

5.7 Розрахунок струмів короткого замикання

Відповідно до вимог [1] елементи силового електропостачання напругою до 1 кВ повинні бути перевірені за режимом короткого замикання. Мета перевірки: забезпечення стійкості всіх елементів схеми при протіканні струмів короткого замикання; забезпечення здатності апаратів захисту відрегувати, як на максимальні значення струмів короткого замикання на початку лінії, яка захищається, так і мінімальних значень наприкінці тієї ж лінії; а також визначення селективності їхньої дії.

Струми короткого замикання розраховуються як для режиму трифазного короткого замикання, так і однофазного короткого замикання в мережах із глухозаземленою нейтраллю. Вихідні розрахункові завдання визначаються конкретними умовами прийнятої схеми електропостачання цеху.

При розрахунку струмів короткого замикання в мережах напругою до 1 кВ варто виходити з умови, що підведена до цехових трансформаторів напруга незмінна і дорівнює його номінальному значенню.

При розрахунку опору короткозамкнутого ланцюга варто враховувати не тільки індуктивні й активні опори всіх елементів цього ланцюга, але й активні опори перехідних контактів у цьому ланцюзі (на шинах, вводах і виводах апаратів, роз'ємних контактах апаратів і контактах у місці короткого замикання).

При відсутності достовірних даних про контакти і їхні перехідні опори рекомендується при розрахунку струмів короткого замикання в мережах, що живляться від трансформаторів потужністю до 1600 кВА включно, враховувати їх введенням у розрахунок сумарного активного опору:

- для розподільних пристроїв ЦТП - 0,015 Ом;
- для первинних цехових розподільних пунктів, як і на затискачах апаратів, що живляться радіальними лініями від щитів підстанцій чи головних магістралей - 0,02 Ом;
- для вторинних розподільних пунктів, як і на затискачах апаратів, що живляться від первинних розподільних пунктів - 0,025 Ом;
- для апаратів, установлених безпосередньо в електроприймачах, що одержують живлення від вторинних розподільних пунктів - 0,03 Ом.

Значення опорів різних елементів розрахункової схеми при розрахунку струмів короткого замикання приводяться в довідниках. Враховуючи те, що опір більшості елементів задається в іменованих одиницях, розрахунок струмів короткого замикання рекомендується також вести в іменованих одиницях. Періодична складова струму трифазного короткого замикання, кА:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{с.ном}}{\sqrt{3}\sqrt{R_{1\sigma}^2 + X_{1\sigma}^2}} = \frac{U_{с.ном}}{\sqrt{3}Z_{\sigma}}, \text{ кА} \quad (5.57)$$

де $U_{с.ном}$ — середня номінальна напруга, В

$R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$ — сумарні активні та індуктивні опори прямої послідовності, мОм

Ударний струм короткого замикання:

$$i_y = K_y \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)} \quad (5.58)$$

де K_y — ударний коефіцієнт, який залежить від постійної часу T_a .

Урахування підживлення точки короткого замикання від потужних двигунів має сенс у тому випадку, якщо вони знаходяться в безпосередній близькості до місця короткого замикання або підключені до тієї ж секції шин, до якої приєднаний аварійний ланцюг. Підживлення від двигунів варто враховувати при визначенні i_y .

Однофазні КА розраховують для перевірки надійності вимикання лінії в разі пробою ізоляції та появи на корпусі устаткування потенціалу, величина якого небезпечна для життя персоналу. Тому інтерес становить мінімально можлива величина струму однофазного КЗ, яка буде наприкінці ділянки, що захищається, так як цей струм має бути достатнім для спарцювання захисту (запобіжника, розчеплювача).

Струм однофазного КЗ визначається за формулою:

$$I_\kappa^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_{n\phi 0}} \quad (5.59)$$

де U_ϕ — фазна напруга мережі, В;

$Z_{n\phi 0}$ — повний опір петлі “фаза — нуль”, мОм.

$$Z_{n\phi 0} = \sqrt{R_{n\phi 0}^2 + X_{n\phi 0}^2}$$

$R_{n\phi 0}, X_{n\phi 0}$ — активний та індуктивний опір петлі “фаза — нуль”, мОм

$$R_{n\phi 0} = \frac{R_T^{(1)}}{3} + 2 \cdot R_{nep} + R_{n\phi 0np}$$

$$X_{n\phi 0} = \frac{X_T^{(1)}}{3} + X_{n\phi 0np}$$

$R_T^{(1)}, X_T^{(1)}$ - активний та індуктивний опори трансформатора току однофазного КЗ, мОм;

$R_{n\phi 0np}$ - активний опір петлі петлі “фаза — нуль” провода, мОм

Як й комутаційні апарати автомати перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{ном.в.а} \geq I_{н.о} = I_{\kappa}^{(3)}, \quad (5.60)$$

де $I_{ном.в.а}$ — номінальний струм вимикання автомата;

$I_{н.о} = I_{\kappa}^{(3)}$ — початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ.

Відповідно до вимог [1] для чутливості захисту мінімальний струм однофазного КЗ у найбільш віддаленій точці лінії, яка захищається, має перевищувати уставки розчеплювачів від їх типів у таких співвідношеннях:

- для розчеплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового):

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{ном.е.розч}, \text{ при } I_{ном} > 100 \text{ А} \quad (5.61)$$

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 1,4 \cdot I_{ном.е.розч}, \text{ при } I_{ном} < 100 \text{ А.} \quad (5.62)$$

Запобіжники перевіряються умовами здатності вимикання періодичної складової струму КЗ

$$I_{ном.відс.} \geq I_{\kappa}^{(3)}, \quad (5.63)$$

Для надійного захисту електричного ланцюга запобіжником мінімальний струм КЗ повинен мати такі відношення:

- для приміщень з нормальним, курним або ін. середовищем

$$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{\text{ном.пл.вст}}} \geq 3; \quad (5.64)$$

- для приміщень з вибухонебезпечним середовищем

$$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{\text{ном.пл.вст}}} \geq 4. \quad (5.65)$$

5.8 Вибір і розрахунок заходів захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом

У даному розділі необхідно обґрунтувати вибір основних заходів електробезпеки від ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу при ушкодженні ізоляції в електроустановках та виконати основні розрахунки відповідно до вимог [1]. Так як при проектуванні систем електропостачання промислових об'єктів, як правило, передбачається поєднання силових і освітлювальних трансформаторів, а для освітлювальних установок рекомендується передбачати глухо-заземлену нейтраль трансформатору, то основним заходом електробезпеки повинне бути занулення [1].

Розрахункова частина розділу повинна відобразити: конструктивне виконання захисних заходів електробезпеки; розрахунок опору розтікання струму одного вертикального електрода й пристрою, що заземлює, у цілому (з урахуванням наявних природних заземлень); розрахунок параметрів ланцюга фаза - нуль з погляду відповідності їхнім значенням очікуваних однофазних струмів короткого замикання, погоджуючи тим самим із захисною апаратурою елементів електромереж напругою до 1 кВ.

5.9 Застосування обчислювальної техніки й елементів САПР

Застосування ЕОМ під час проектування дозволяє істотно скоротити витрати часу на рішення проектних задач, поліпшуючи техніко-економічні показники проектованого об'єкта в цілому. При цьому програмні засоби є тільки помічниками студента у виконанні трудомістких розрахунків, не звільняючи його від необхідності мати достатній обсяг теоретичних знань в області проектування систем електропостачання.

Кафедра ЕПП має у своєму розпорядженні програмні засоби для ЕОМ (ауд. 288), що дозволяють знайти раціональні рішення таких задач проектування системи електропостачання.

1. Розрахунок електричних навантажень силових трифазних ПЕ методом упорядкованих діаграм. Розрахунок електричного навантаження за вузлами для заданої кількості варіантів розподілу виконуються в програмі автоматично. Це дозволяє вирішити задачі рівномірного розподілу навантаження вузлами мережі і граничного завантаження вузлів. Кількість вузлів навантаження, що розраховуються, та ПЕ у вузлі не обмежується.

2. Розрахунок і вибір раціональних параметрів електричної силової розподільної мережі напругою до 1 кВ при живленні ПЕ від розподільних силових пунктів і шинопроводів. Застосування програм дозволить скоротити витрати часу на рішення задачі вибору раціональної схеми силової розподільної мережі та її параметрів з погляду річних зведених витрат.

3. Розрахунок компенсації реактивної потужності з рішенням задач вибору потужності силового трансформатора, потужності пристрою, що компенсує, і визначення місця його розташування щодо обраного трансформатора.

4. Розрахунок симетричних і несиметричних струмів короткого замикання в довільних точках складної електричної мережі.

5. Розрахунок та вибір раціональних параметрів пристрою, що заземлює.

6. Розрахунок та вибір параметрів передавальних елементів у системі електропостачання.

Інструкції з застосування перерахованих програмних засобів можна одержати на кафедрі.

Студент може запропонувати свою версію алгоритму та програмної реалізації однієї з названих задач або задачі курсового проектування, що не увійшла в приведений перелік, що може розглядатися як індивідуальне завдання.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. Україна Видання офіційне. Міненерговугілля України. — Х.: Форт, 2017. — 760 с.
2. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 «Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств». — К.: Мінрегіон, 2016. — 79 с.
3. ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»
4. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
5. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»
6. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»
7. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.510:2006 Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного споживача та субспоживача)
8. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України №87 від 06.02.2018. DOI: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0392-18>
9. ГКД 340.000.002-97 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі, затверджений наказом Міненерго України від 20.01.97 р. № 1ПС.
10. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. — Харків : ФОП Панов А. М., 2016. — 272 с.
11. Бурбело М.Й. Проектування в системах електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. — 2-е вид., перероб. і доп. — Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. — 148 с.
12. Демов О.Д. Розрахунок та вибір електричної мережі промислового підприємства: [Навч. посіб. з курс. проектування для студ. спец. 7.090510, 7.090603, 7.000008, 7.092203] / О.Д. Демов, В.В. Вержук; Вінниц. нац. техн. ун-т. — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 95 с.
13. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1984.

14. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под ред. А.А.Федорова. Т.1. Электроснабжение. Т.2. Электрооборудование.-М.: Энергоатомиздат, 1986, 1987.
15. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / Под ред. А.С.Овчаренко и др. -К.: Техника, 1985.
16. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
17. Овчаренко А.С., Розинский Д.И. Підвищення ефективності електропостачання промислових підприємств. - К.: Техніка, 1989.
18. Зорин В.В. и др. Надежность систем электроснабжения. -К.: Высш. шк., 1984.
19. Ильяшов В.П. Конденсаторные установки промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
20. Лигерман И. И. Конструирование электроустановок промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
21. Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книга энергетика, -М.: Энергоатомиздат, 1987.
22. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособие для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
23. Справочник по проектированию электрических сетей электрооборудования / Под ред. В.И.Еруповича и др. - М.: Энергоиздат, 1981.
24. Карвовский Г.А. Электрооборудование и окружающая среда. -М.: Энергоиздат, 1984.
25. Handbook of Electrical Engineering: For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry. Alan L. Sheldrake – 2003. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-471-49631-6
26. Power systems / editor, Leonard Lee Grigsby. 2007 by Taylor & Francis Group, LLC. ISBN-13: 978-0-8493-9288-7.
27. Попов В.В. Розробка методу вибору пристроїв компенсації реактивної потужності за умови мінімальних зведених витрат /В.В. попов. Д.І. Комаріічина // Електротехніка та електроенергетика: науковий журнал. – Запоріжжя. 2013. – Вип. 1. – С.77 – 82.
28. 3. Дьяченко В.В. Формирование программы энергосбережения для систем электроснабжения / В.В. Дьяченко // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя, 2015. - №1 – С. 72 – 85.