

Б21.311(075)
Б 91

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

М.Й.БУРБЕЛО

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ
(КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ)**

Вінниця ВДТУ 1998

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ ^{04 99}
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

М.Й.БУРБЕЛО

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ
(КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ)**

Затверджено Ученою радою Вінницького державного
технічного університету як навчальний посібник для студентів
енергетичних спеціальностей



621.311(075) Б 91 1998

Бурбело М.Й. Електропостачання промислови

Вінниця ВДТУ 1998

УДК 621.311.4(075.8)

Електропостачання промислових підприємств (курсове проектування). Навч. посібник / М.Й. Бурбело.- Вінниця: ВДТУ, 1998.- 104с. Укр. мовою/

В навчальному посібнику висвітлено теоретичні й практичні аспекти проектування систем електропостачання промислових підприємств, що стосуються розрахунку електричних навантажень, вибору і розміщення підстанцій, розрахунку внутрішньозаводських та цехових мереж.

Для студентів енергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, які вивчають дисципліну "Електропостачання".

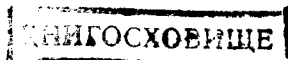
Іл. 15. Табл. 28. Бібл. 16 назв.

Рецензенти: П.Д. Лежнюк, д.т.н.

Л.Б. Терешкевич, к.т.н.

Л.Р. Пауткіна, к.т.н.

395124



ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	7
1.1. Розрахунок електричних навантажень цехових мереж.....	8
1.2. Розрахунок навантажень підприємства.....	16
2. ВИБІР І РОЗМІЩЕННЯ ПІДСТАНЦІЙ.....	22
2.1. Розрахунок потужності трансформаторів ГПП	22
2.2. Вибір трансформаторів ГПП за економічними показниками.....	28
2.3. Вибір цехових ТП.....	35
2.4. Вибір місць для розміщення підстанцій.....	39
3. РОЗРАХУНОК ЗАВОДСЬКОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	44
3.1. Вибір схеми електропостачання.....	44
3.2. Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників.....	48
3.3. Розрахунок струмів КЗ.....	50
3.4. Перевірка вибраних вимикачів і провідників.....	60
4. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	64
4.1. Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі.....	64
4.2. Вибір комутаційно-захисної апаратури і провідників.....	69
4.3. Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В.....	77
4.4. Перевірка чутливості і селективності захисту цехових мереж.....	85
Література.....	89
ДОДАТКИ.....	91

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ГПП - головна понижувальна підстанція.

ЕЕС - електроенергетична система.

ЕП - електроприймач.

КЗ - коротке замикання (електроустановки, трансформатора,...).

КРП - комплектний розподільчий пристрій.

КТП - комплектна розподільча підстанція.

ПГВ - підстанція глибокого вводу.

РП - розподільчий пункт 6,10 кВ або 0,4 кВ.

ТП - трансформаторна підстанція.

ХХ - холостий хід (трансформатора).

ЦЕН - центр електричних навантажень.

ШМ - шинопровід магістральний.

ШР - шинопровід розподільчий.

ЩСУ - щит станцій управління.

ВСТУП

Проектування систем електропостачання промислових підприємств є складною і відповідальною задачею. Прийняття проектних рішень безпосередньо впливає на об'єм і трудомісткість монтажних робіт, зручність та безпечність експлуатації електротехнічних установок систем електропостачання.

Основними вимогами, які ставляться до проектів систем електропостачання, є надійність електропостачання споживачів та економічність. Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту.

Спорудження електричних мереж та підстанцій систем електропостачання зв'язані з великими матеріальними затратами. Тому при проектуванні повинен проводитись детальний аналіз економічності проектних рішень та режимів роботи всіх елементів системи електропостачання.

Цілями курсового проектування є закріплення і систематизація теоретичних знань, отриманих при вивченні дисципліни "Електропостачання", набуття практичних навичок проектування систем електропостачання.

Основна частина проекту відповідає теоретичному курсу і складається з чотирьох розділів:

1. Розрахунок електричних навантажень.

2. Вибір і розміщення підстанцій.
3. Розрахунок заводського електропостачання.
4. Розрахунок цехового електропостачання.

В першому розділі викладена методика розрахунку електричних навантажень. Використовується поділ системи на рівні і виконання розрахунків знизу вгору із застосуванням методів упорядкованих діаграм та коефіцієнта попиту.

В другому розділі розглядаються питання вибору трансформаторів ГПП і цехових ТП, а також вибору місць для їх розміщення. Передбачається техніко-економічне порівняння декількох варіантів з обов'язковим їх приведенням до однакового енергетичного ефекту.

В третьому розділі приведена методика розрахунку заводських розподільчих мереж. Тут детально аналізуються питання розрахунку струмів короткого замикання, вибору кабелів та високовольтних вимикачів.

Четвертий розділ присвячений цеховим мережам. В ньому даються рекомендації стосовно вибору конструктивного виконання і електричних схем цехових мереж, провідників і комутаційних захисних апаратів, розрахунку струмів короткого замикання, перевірки чутливості та селективності захисту.

Виконання курсового проекту рекомендується розпочати з підрозділу 4.1, в якому вибирається схема і конструктивне виконання цехової мережі. Після цього переходять до підрозділу 1.1 і в подальшому дотримуються прийнятої в посібнику послідовності. При необхідності розділ 4 може виконуватися перед розділом 3.

Функціональні обов'язки студента і нормативні вимоги до курсових проектів приведені в додатку 1.

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Основними розрахунковими величинами є: розрахункові максимальні навантаження P_M , Q_M , S_M , I_M ; середні навантаження за найбільш завантаженому змiну $P_{см}$, $Q_{см}$, а також пікові (пускові) навантаження $S_{пв}$, $I_{пв}$.

При розрахунку електричних навантажень в системі електропостачання виділяють шість (рис. 1.1) рівнів, які відрізняються характером електроспоживання і, відповідно, способом розрахунку.

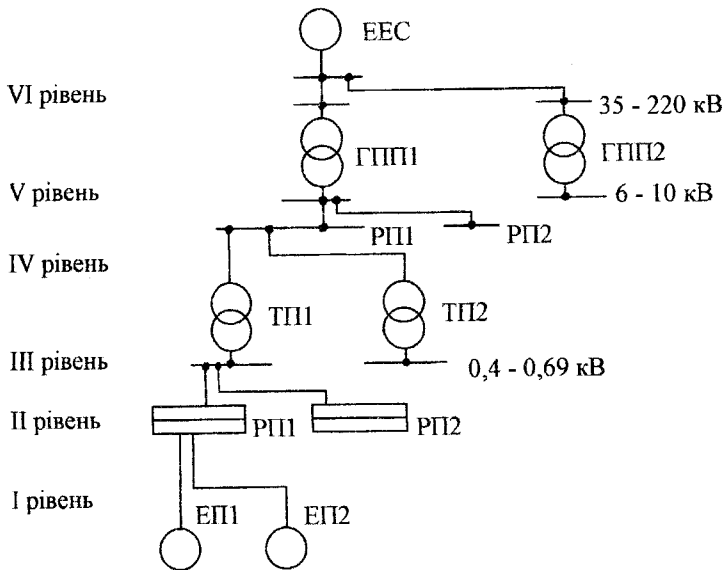


Рис 1.1.

VI - границя балансової приналежності підприємства;

V - шини 10(6) кВ ГПП (ПГВ);

IV - шини РП 10(6) кВ;

III - шини 0,4 кВ ТП;

II - розподільні щити, пункти, шинопроводи;

I - окремі електроприймачі.

Розрахунок електричних навантажень виконується знизу вверх. Як правило, розрахунок навантажень виконується в два етапи: спочатку визначають навантаження цехів і підприємства в цілому, потім вибирають схеми електропостачання і визначають розрахункові навантаження для кожної конкретної лінії електропередач. З метою зменшення об'єму курсового проекту рекомендується спочатку скласти схему цехової мережі і на її основі виконати розрахунок електричних навантажень.

1.1. Розрахунок електричних навантажень цехових мереж

Перед початком розрахунків доцільно скласти схему цехової мережі (п. 4.1).

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, від яких живляться два чи три ЕП (1 рівень), приймаються рівними номінальним

$$P_m = P_n \quad Q_m = P_m \operatorname{tg} \varphi_n,$$

де P_n - номінальна активна потужність ЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ - номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Номінальні величини визначають за паспортними даними ЕП. При відсутності паспортних даних приймають $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,75$ - для ЕП тривалого режиму роботи і $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,87$ - для ЕП повторно-короткочасного режиму роботи.

Для ЕП повторно-короткочасного режиму номінальна потужність приводиться до тривалого режиму роботи

$$P_n = P_{\text{пасп}} \sqrt{T_{\text{пов.пасп}}}$$

де $P_{\text{пасп}}$, $T_{\text{ив.пасп}}$ - паспортні номінальна потужність і відносна тривалість повторного ввімкнення.

На II рівні електропостачання використовують метод упорядкованих діаграм, розроблений Г.М. Каяловим.

ЕП кожного розподільчого пункту або шинопроводу поділяють на дві групи: ЕП із змінним графіком навантаження (група А) і ЕП з практично постійним графіком навантаження (група Б).

Розрахункові навантаження визначають за формулами:

$$\text{для групи А: } P_M = K_M P_{CM}, Q_M = \begin{cases} 1,1 Q_{CM} & \text{при } n_e \leq 10, \\ Q_{CM} & \text{при } n_e > 10; \end{cases}$$

$$\text{для групи Б: } P_M = P_{CM}, Q_M = Q_{CM}$$

де K_M - коефіцієнт максимуму активної потужності;

n_e - ефективне число ЕП.

Середні навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{CM} = \sum_{i=1}^n k_a P_{ni}, \quad Q_{CM} = \sum_{i=1}^n k_a P_{ni} \text{tg}\varphi_{ci},$$

де $\text{tg}\varphi_{ci}$ - усереднені значення $\text{tg}\varphi$ для даного типу ЕП [1, 2].

k_{ni} - індивідуальний коефіцієнт використання, характерний для даного ЕП;

n - число ЕП.

Значення K_M визначають за таблицями або графіками $K_M(n_e, K_B)$.

Груповий коефіцієнт використання

$$K_a = \frac{P_{CM}}{P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n k_a P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}},$$

де P_n - номінальна потужність всіх ЕП.

Точний вираз для визначення ефективного числа ЕП:

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2} = \frac{P_n^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2}$$

Ефективне число ЕП можна визначити за наближеними формулами

$$n_e \approx \begin{cases} n & \text{при } m \leq 3, \\ \frac{2P_n}{P_{н.макс}} & \text{при } m > 3 \text{ і } K_v \geq 0,2, \end{cases}$$

де m - відношення номінальних потужностей найбільшого і найменшого за потужністю ЕП

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мін}}$$

При визначенні m можуть бути виключені ЕП, загальна потужність яких не перевищує 5% від номінальної потужності всіх ЕП. Число виключених ЕП при визначенні n_e теж не враховується. Якщо $m > 3$ і $K_v < 0,2$, наближене значення ефективного числа ЕП визначають за спеціальною методикою [1,2].

Таблиці і графіки $K_m(n_e, K_v)$ розпочинаються від $n_e=4$. Якщо в результаті розрахунків отримано $n_e < 4$, то розрахункові навантаження

$$P_m = K_3 P_n, \quad Q_m = P_m \operatorname{tg} \varphi_c,$$

де K_3 - груповий коефіцієнт завантаження. Якщо дані для K_3 і $\operatorname{tg} \varphi_c$ відсутні, то допускається приймати $K_3 = 0,9$, $\operatorname{tg} \varphi_c = 0,75$ - для ЕП тривалого режиму і $K_3 = 0,75$, $\operatorname{tg} \varphi_c = 1$ - для ЕП повторно-короткочасного режиму.

Піковий струм групи ЕП з достатньою для практики точністю визначають з формули:

$$I_{п} = I_m - k_v i_{н.макс} + i_{п.макс},$$

де $i_{н.макс}$, $i_{п.макс}$ - номінальний і піковий струми ЕП, для якого піковий струм найбільший. При відсутності заводських даних пусковий струм асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором або синхронного двигуна може бути прийнятий рівним п'ятикратному номінальному, пусковий струм двигуна постійного струму або асинхронного з фазним ротором повинен прийматися не нижчим від 2,5-кратного номінального струму, піковий струм пічних і електрозварювальних трансформаторів - не меншим від 3-кратного номінального (без приведення до $T_{100} = 100\%$). Розрахунок пікових навантажень виконується в розділі 4.

Приклад 1.1. Виконати розрахунок електричних навантажень механічного цеху. Перелік ЕП приведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Перелік ЕП механічного цеху

Групи	n, шт.	P _н , кВт	
		одного	всіх
Верстати різні легкого режиму роботи	45	4-10	350
Верстати різні важкого режиму роботи	25	7-40	450
Вентилятори	4	15	60
Нагрівачі	3	30	90
Насоси водопостачання	2	150	300
Пожжежні насоси (короткочасного режиму роботи)	2	25	50

На основі аналізу розміщення ЕП, їх номінальних потужностей вибрана радіально-магістральна мережа (рис. 1.2). В якості магістралей М1, М2 передбачається використання розподільного шинопроводу.

До М1 приєднано металорізальні верстати легкого режиму роботи (45 шт.), до магістралі М2 - металорізальні верстати важкого режиму роботи (25 шт.). Живлення вентиляторів і нагрівачів передбачається від розподільного пункту РПІ. Насоси водопостачання потужністю 150 кВт отримують живлення безпосередньо від розподільного щита ТП. Пожежені насоси (поз. 71 і 72) живляться від М2 і РПІ

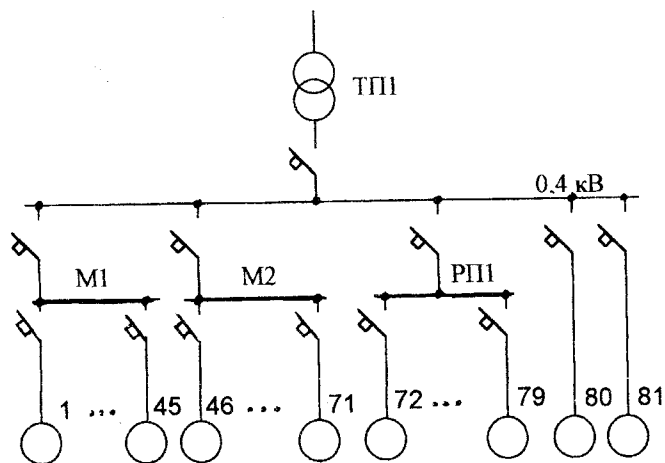


Рис. 1.2. Схема цехової мережі.

Для визначення навантажень використовується спеціальна розрахункова таблиця (табл. 1.2.) [1]. Вона містить 17 граф. В графи 1-4 записують вихідні дані. З довідникової літератури [1,2] підбирають значення k_e і $\cos\varphi_c/\lg\varphi_c$ і записують їх в графи 6 і 7.

Металорізальні верстати належать до групи А.

Визначають середні навантаження для першої підгрупи верстатів ($n=45$)

$$P_{см} = k_e P_n = 0,12 \cdot 350 = 42 \text{ кВт},$$

$$Q_{см} = P_{см} \lg\varphi_c = 42 \cdot 2,29 = 96 \text{ квар}.$$

Таблиця 1.2.

Розрахунок електричних навантажень механічного цеху

Вузли живлення і групи ЕП	п, ш т.	P _{нв} приведена до T _{нв} =1, кВт	т	K _с	cos φ _с /tg φ _с	P _{снв} кВт	Q _{снв} квар	λ	ΔP _{снв} кВт	ΔQ _{снв} квар	n _{снв} шт.	K _{нв}	Розрахункові максимальні навантаження			
													P _{нв} кВт	Q _{нв} квар		
		Одного ЕП											т	кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Магістраль М1																
Верстати різні																
Магістраль М2	45	4-10	350	<3	0,12	0,4/2,29	42	96	0,66	28	63	45	1,41	59	96	113
Верстати різні	25	7-40	450	>3	0,2	0,65/1,15	90	104	0,68	61	71	22,5	1,45	131	104	167
РПП																
Вентилятори	4	15	60		0,7	0,8/0,75	42	31	0,9	38	28			42	31	
Нагрівачі	3	30	90		0,6	1/0	54	-	0,72	39	-			54	-	
Всього РПП	7	15-30	150				96	31		77	28			96	31	101
Насоси	2	150	300		0,8	0,8/0,75	240	180	0,9	216	162			240	180	
Пожежні насоси	2	25	50													
Всього гр. А	70	4-40	800	>3	0,165		132	200		89	134	50	1,29	115	134	
Всього гр. Б	9	15-150	450				336	211		293	190			293	190	
Всього силові навантаження	81	4-150	1300							382	324			408	324	521

Результати записують в графі 8 і 9.

Оскільки відношення

$$m = \frac{P_{н, макс}}{P_{н, мин}} = \frac{10}{4} < 3$$

(графа 5), то ефективне число ЕП n_e приймається рівним n (графа 13).

При $K_\sigma=0,12$ і $n_e=45$ значення коефіцієнта максимуму $K_M=1,41$ [1-4]. Значення K_M записують в графу 14.

Розрахункові потужності для першої підгрупи верстатів

$$P_M = K_M P_{CM} = 1,41 \cdot 42 = 59 \text{ кВт},$$

$$Q_M = Q_{CM} = 96 \text{ квар},$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{59^2 + 96^2} = 113 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Ці результати записують в графі 15-17.

Середні навантаження для другої підгрупи верстатів (магістраль М2)

$$P_{CM} = k_\sigma P_n = 0,2 \cdot 450 = 90 \text{ кВт},$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \operatorname{tg} \varphi_c = 90 \cdot 1,15 = 104 \text{ квар}.$$

Для цієї підгрупи верстатів $m > 3$, $K_\sigma = 0,2$, тому

$$n_e = \frac{2 P_n}{P_{н, макс}} = \frac{2 \cdot 450}{40} = 22,5.$$

(В цьому випадку часто дістають $n_e > n$, тоді слід прийняти $n_e = n$).

При $K_\sigma = 0,2$ і $n_e = 22,5$ значення коефіцієнта максимуму $K_M = 1,45$.

Розрахункові потужності для магістралі М2

$$P_M = K_M P_{CM} = 1,45 \cdot 90 = 131 \text{ кВт},$$

$$Q_M = Q_{CM} = 104 \text{ квар},$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{131^2 + 104^2} = 167 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Визначимо розрахункові навантаження РПІ. Від РПІ передбачено живлення вентиляторів і нагрівачів. Середнє навантаження вентиляторів

$$P_{см} = k_v P_n = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ кВт},$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 42 \cdot 0,75 = 31 \text{ квар.}$$

Середнє активне навантаження нагрівачів

$$P_{см} = k_n P_n = 0,8 \cdot 90 = 72 \text{ кВт.}$$

Розрахункові навантаження РПІ

$$P_M = 42 + 54 = 96 \text{ кВт},$$

$$Q_M = 31 \text{ квар},$$

$$S_M = \sqrt{96^2 + 31^2} = 101 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

1.2. Розрахунок навантажень підприємства

Основним методом розрахунку навантажень цеху є метод упорядкованих діаграм, згідно з яким розрахункові навантаження силового обладнання цеху в цілому визначають за формулами:

$$P_M = K_M P_{CM.A} + P_{CM.B} \quad Q_M = K'_M Q_{CM.A} + Q_{CM.B},$$
$$P_{CM} = \sum_{j=1}^r \lambda_j P_{cmj}, \quad Q_{CM} = \sum_{j=1}^r \lambda_j Q_{cmj},$$

де λ_j - коефіцієнт врахування технологічних факторів, статистичні дані для якого приведені в [1];

r - число окремих груп ЕП.

Необхідність введення λ_j пояснюється тим, що $P_{CM} \neq \sum_{j=1}^r P_{cmj}$ і $Q_{CM} \neq \sum_{j=1}^r Q_{cmj}$ внаслідок практичної неможливості досягнення граничних значень k_n для всіх ЕП одночасно, а також - через надлишковість технологічного обладнання, яка в тій чи іншій мірі обов'язково передбачається на стадії проектування технологічного процесу.

При відсутності статистичних даних для окремих груп ЕП значення λ можна визначити наближено [5].

$$\lambda \approx \begin{cases} 0,6 + \frac{0,4}{\sqrt{n_e}} & \text{при } k_n < 0,5, \\ 0,8 + \frac{0,2}{\sqrt{n_e}} & \text{при } k_n \geq 0,5. \end{cases}$$

При відсутності даних для окремих ЕП розрахункова потужність силового обладнання може бути визначена для кожного цеху в цілому за методом коефіцієнта попиту

$$P_M = K_n P_n, \quad Q_M = P_n \operatorname{tg} \varphi_n,$$

де K_n - коефіцієнт попиту [2-4].

За методом коефіцієнта попиту визначають також розрахункове навантаження освітлювальних установок. Орієнтовно номінальна потужність освітлення може бути визначена наближено за питомою потужністю на 1 м² площі цеху. В цілому розрахункова потужність електричного освітлення

$$P_{м.о} = K_{п.о}(p_{тит.о} \cdot F),$$

де $p_{тит.о}$ - питома густина освітлювального навантаження;

$K_{п.о}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

F - площа цеху.

Розрахункова потужність цеху (III рівень) з врахуванням освітлення

$$P_{м.ІІІ} = P_{м} + P_{м.о} \quad Q_{м.ІІІ} = Q_{м} + Q_{м.о}$$

На IV рівні електропостачання (шини РП 10(6) кВ) розрахункове максимальне навантаження визначають з виразів

$$P_{м.ІV} = \sum_{k=1}^N P_{мк} + P_{м.ц}; \quad Q_{м.ІV} = \sum_{k=1}^N Q_{мк} + Q_{м.ц},$$

де $P_{мк}$, $Q_{мк}$ - розрахункові максимальні навантаження ТП або цехів;

N - число ТП або цехів;

$P_{м.ц}$, $Q_{м.ц}$ - розрахункове максимальне навантаження загальноцехових ЕП високої напруги 10(6) кВ, які приєднані безпосередньо до РП 10(6) кВ.

Для загальноцехових ЕП з практично незмінним графіком навантаження (компресори, насоси і т.д.) максимальні навантаження $P_{м.ц}$, $Q_{м.ц}$ приймаються рівними середнім навантаженням, а для ЕП із змінним графіком навантаження розрахунок $P_{м.ц}$, $Q_{м.ц}$ виконується з використанням графіків роботи технологічного обладнання.

На V рівні електропостачання (шини 10(6) кВ ГПП) розрахункові максимальні навантаження визначають за формулами

$$P_{м.V} = K_{р.м}(\sum P_{м.V} + P_{м.з}), \quad Q_{м.V} = K_{р.м}(\sum Q_{м.V} + Q_{м.з}),$$

де $K_{р.м.}$ - коефіцієнт різночасності масимумів навантаження;

$P_{м.з.}$, $Q_{м.з.}$ - розрахункові максимальні навантаження загальнозаводських ЕП і цехових трансформаторних підстанцій, приєднаних безпосередньо до ГПП, ПГВ.

Реактивна потужність, яка може бути спожита з енергосистеми в години найбільших навантажень (на шинах 6, 10 кВ ГПП, ПГВ)

$$Q_{Ie} = a P_{м.з.},$$

де $a = \{0,25; 0,30; 0,40\}$ - для підстанцій з вищою напругою відповідно 35, 110 і 220(330) кВ.

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв визначається з нерівності

$$Q_k \geq Q_{м.з.} - Q_{Ie}.$$

На VI рівні електропостачання (межа балансової приналежності підприємства) при живленні підприємства від однієї ГПП розрахункове максимальне навантаження

$$P_{м.П} \approx P_{м.з.}, \quad Q_{м.П} = Q_{Ie}.$$

Втрати реактивної потужності для двох трансформаторів ГПП оцінюються наближено

$$\Delta Q_T \approx 0,14 \sqrt{P_{кВ}^2 + Q_{Ie}^2}.$$

Приклад 1.2. Розрахувати електричні навантаження підприємства.

Вихідні дані приведені в табл. 1.3.

Розв'язування. Розрахункове максимальне навантаження механічного цеху (цех № 1) знаходимо, використовуючи табл. 1.2. (графи 10, 11, 12).

Для першої підгрупи верстатів, які живляться від магістралі М1.

Таблиця 1.3.

Розрахунок навантажень підприємства

Вузли живлення і групи ЕП	п, шт	P_n , приведена до $T_{нв}$ = 1 кВт		K_{ϵ}	$\cos \varphi_2 / \tan \varphi_2$	$P_{снв}$ кВт	$Q_{снв}$ квар	K_n	$P_{нв}$ кВт	$Q_{нв}$ квар	$S_{нв}$ кВА
		одного ЕП	всіх ЕП								
Механічний цех №1 Силове навантаження Освітлення	81	4-150	1300 50 1350		0,76/0,85 1/0	382	324	0,9	408 45 453	324 - 324	557
		Всього									
Цех №2 Силове навантаження Освітлення	165	10-50	3105 200 3305		0,62/1,27 1/0			0,32 0,9	994 180 1156	1257 - 1257	1708
		Всього									
Цех №3 Силове навантаження Освітлення	143	1,5-1000	4300 200		0,8/0,75 1/0			0,3 0,9	1290 180 1452	968 - 968	1745
		Всього									
Всього ЕП до 1 кВ ЕП 6 кВ	8	400	9155 3200 12355	0,925	0,97/0,25				3061 2960 5117	2549 750 2804	5835
		Всього									

$$\lambda \approx 0,6 + \frac{0,4}{\sqrt{n_e}} = 0,6 + \frac{0,4}{\sqrt{45}} = 0,66.$$

Порівняємо отримане значення із статистичним [1]. Для ремонтно-механічних цехів при числі основних верстатів 41-63 і двозмінній роботі $\lambda = 0,67-0,73$.

Розрахункове навантаження силових ЕП механічного цеху визначене в табл. 1.2. $P_m = 408$ кВт, $Q_m = 324$ квар.

Розрахункові навантаження силових ЕП інших цехів визначені за методом коефіцієнта попиту, наприклад, для цеху № 2

$$P_m = K_n P_n = 0,32 \cdot 3105 = 994 \text{ кВт},$$

$$Q_m = P_m \operatorname{tg} \varphi_c = 994 \cdot 1,27 = 1257 \text{ квар.}$$

Результати розрахунків приведені в табл. 1.3.

Розрахункове навантаження освітлення механічного цеху ($\cos \varphi = 1$)

$$P_{m.o} = K_{n.o} (P_{\text{н.т.о}} \cdot F) = 0,9 \cdot 50 = 45 \text{ кВт},$$

де $K_{n.o} = 0,9$, $P_{\text{н.т.о}} = 0,011-0,016$ кВт/м² [2], $F = 90 \times 42$ м² (визначається за генпланом підприємства).

Розрахункові навантаження всіх цехів

$$P_{m\Sigma} = K_{p.m} \left(\sum_{k=1}^3 P_{mk} + P_{m.s} \right) = 0,85(453 + 1156 + 1452 + 2960) = 5117 \text{ кВт},$$

$$Q_{m\Sigma} = K_{p.m} \left(\sum_{k=1}^3 Q_{mk} + Q_{m.s} \right) = 0,85(324 + 1257 + 968 + 750) = 2804 \text{ квар},$$

$$S_{m\Sigma} = \sqrt{P_{m\Sigma}^2 + Q_{m\Sigma}^2} = \sqrt{5117^2 + 2804^2} = 5835 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

Реактивна потужність, яка може бути спожита від енергосистеми в години її найбільших навантажень при живленні на напрузі 35 кВ,

$$Q_{1e} = aP_{\Sigma} = 0,25 \cdot 5117 = 1279 \text{ квар.}$$

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв

$$Q_k \geq Q_{\Sigma} - Q_{1e} = 2804 - 1279 = 1525 \text{ квар.}$$

Розрахункове навантаження підприємства з врахуванням заданого значення Q_{1e}

$$S_{\text{мр}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_e^2} = \sqrt{5117^2 + 1279^2} = 5260 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

Втрати реактивної потужності в двох трансформаторах ГПП

$$\Delta Q_m \approx 0,14 S_{\text{мр}} = 0,14 \cdot 5260 = 737 \text{ квар.}$$

Розрахункове навантаження на межі балансової приналежності

$$S_{\text{мр}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + (Q_{1e} + \Delta Q_m)^2} = \sqrt{5117^2 + (1279 + 737)^2} = 5500 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

2. ВИБІР І РОЗМІЩЕННЯ ПІДСТАНЦІЙ

2.1. Розрахунок потужності трансформаторів ГПП

На ГПП звичайно встановлюються два однакових трансформатори такої потужності, щоб при виході з ладу одного з них другий трансформатор забезпечив роботу основних споживачів на період відновлення пошкодженого. При цьому враховується, як перевантажувальна здатність трансформаторів, так і можливість обмеження споживачів без збитків для основної діяльності підприємства. Допустимим є застосування трьох трансформаторів. Встановлення на підстанції одного трансформатора дозволяється у випадку, якщо буде забезпечена необхідна надійність електропостачання.

Споживачі I категорії повинні живитися від двох незалежних джерел з автоматичним увімкненням резервного живлення. Тому для таких підприємств обов'язково передбачається встановлення двох трансформаторів.

Для підприємств II і III категорії установка одного трансформатора допустима, якщо можливим є забезпечення його заміни або ремонту на протязі однієї доби. При відсутності такої можливості необхідно передбачити живлення основних споживачів від резервного джерела, наприклад, на напрузі 6, 10 кВ.

Потужність трансформаторів ГПП визначається на основі очікуваного навантаження на розрахунковий період тривалістю 5 років. Вибір виконується з урахуванням допустимого навантаження в нормальному режимі, режимі максимальних систематичних навантажень і допустимих аварійних перевантажень.

Необхідну номінальну потужність трансформаторів визначають за середньою потужністю найбільш завантаженої зміни. Для

однотрансформаторних підстанцій [6]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{см}} \approx (0,75 \div 0,8)S_{\text{м}},$$

де 0,75-0,8 - значення коефіцієнта заповнення графіка навантаження найбільш завантаженої зміни підприємств, отримані на основі статистичного обслідування підстанцій. Вибраний трансформатор перевіряється на допустимість систематичних навантажень в години максимуму навантажень. Для перевірки використовується очікуваний графік навантаження підприємства (підстанції).

Номінальну потужність трансформаторів двотрансформаторних підстанцій вибирають з умови

$$S_{\text{ном.т}} \geq (0,5 \div 0,7)S_{\text{м}},$$

Вибрані трансформатори перевіряють на можливість роботи в умовах аварійних перевантажень при відключенні одного з них. Для перевірки використовуються очікувані графіки навантаження підприємства (підстанції).

В ГОСТ 14209-85 встановлені максимальні систематичні навантаження ($K_{2\text{с. доп}}=1,5$) і допустимі аварійні перевантаження ($K_{2\text{а. доп}}=2,0$). Однак тривалість таких перевантажень незначна. Допустиме перевантаження і його тривалість залежать від температури повітря, системи охолодження трансформатора і його попереднього навантаження.

Середні орієнтовні значення температури для різних міст приведені в ГОСТ 14209-85. Для Вінниці середня річна температура становить +10,7°C, зимова - -4,9°C, літня - +17,8°C.

Максимально допустимі систематичні навантаження K_2 і їх тривалість h в залежності від коефіцієнта попереднього навантаження K_1 при температурі повітря +10°C приведені в табл. 2.1. При підвищенні температури повітря значення допустимих навантажень зменшуються, а

при зниженні температури - збільшуються.

Таблиця 2.1.

Максимально допустимі систематичні навантаження
при температурі повітря 10°C

h, год	М та Д								ДЦ							
	при значеннях $K_1=0,25\div 1,0$								при значеннях $K_1=0,25\div 1,0$							
	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,5	+	+	+	+	+	+	+	<u>1,84</u>	<u>1,74</u>	<u>1,69</u>	<u>1,67</u>	<u>1,64</u>	<u>1,61</u>	<u>1,57</u>	<u>1,52</u>	<u>1,44</u>
1,0	+	+	+	<u>2,00</u>	<u>1,94</u>	<u>1,86</u>	<u>1,76</u>	<u>1,60</u>	<u>1,57</u>	<u>1,55</u>	<u>1,54</u>	<u>1,52</u>	1,49	1,46	1,42	1,35
2,0	<u>1,76</u>	<u>1,75</u>	<u>1,70</u>	<u>1,67</u>	<u>1,63</u>	<u>1,58</u>	<u>1,51</u>	1,40	1,41	1,40	1,39	1,38	1,36	1,34	1,31	1,26
4,0	1,46	1,44	1,43	1,41	1,39	1,36	1,32	1,25	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,24	1,22	1,19
6,0	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,27	1,24	1,20	1,21	1,21	1,21	1,20	1,20	1,19	1,18	1,15
8,0	1,26	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,17	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,15	1,13
12,0	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,16	1,15	1,13	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,12	1,11
24,0	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07

Примітка: підкреслені навантаження і навантаження позначені + (2,0) допустимі при погодженні з підприємствами-виготовловцями трансформаторів.

В таблиці 2.2 приведені допустимі аварійні перевантаження трансформаторів без врахування початкового (попереднього) навантаження.

Таблиця 2.2.

Допустимі аварійні перевантаження трансформаторів
незалежно від K_1

h, год	М, Д °С							ДЦ °С						
	-20	-10	0	10	20	30	40	-20	-10	0	10	20	30	40
0,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4
1,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,4	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3
2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3
4,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
6,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
8,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
12,0	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
24,0	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2

В таблиці 2.3 приведені допустимі аварійні перевантаження трансформаторів при попередньому навантаженні, що не перевищує 0,8.

Таблиця 2.3.

Допустимі аварійні перевантаження трансформаторів при $K_1=0,8$

h, год	М, Д °С							ДЦ °С						
	-20	-10	0	10	20	30	40	-20	-10	0	10	20	30	40
0,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5
1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4
2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3
4,0	1,8	1,7	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
6,0	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
8,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
12,0	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2
24,0	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2

При визначенні допустимого аварійного перевантаження для трансформаторів з номінальною напругою 220 кВ і вище вводиться корекція температури охолоджувального середовища - додається 20°C.

Якщо відсутній графік навантаження трансформатора, то час його аварійного перевантаження незалежно від температури охолоджувального середовища визначається за двоступеневим графіком з коефіцієнтом попереднього навантаження не вищим від 0,95 і коефіцієнтом перевантаження 1,4. В такому режимі трансформатор може працювати не більше п'яти діб з тривалістю перевантаження не більше 6 годин. Перетворення очікуваного графіка навантаження в еквівалентний двоступінчастий і визначення коефіцієнтів попереднього навантаження K_1 і перевантаження K_2 виконується в такій послідовності:

а) на графіку навантаження проводять лінію номінальної потужності трансформатора $S_{ном.т}$;

б) за перетином лінії номінальної потужності з графіком навантаження виділяють ділянку перевантаження тривалістю h ;

в) визначають коефіцієнти початкового навантаження і перевантаження за формулами

$$K_1 = \frac{1}{S_{ном.т}} \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}, \quad K_2 = \frac{1}{S_{ном.т}} \sqrt{\frac{\sum S_j^2 \cdot \Delta h_j}{\sum \Delta h_j}}$$

де S_i - потужність навантаження на i -й сходинці графіка ($S_i \leq S_{ном.т}$);

S_j - потужність навантаження на j -й сходинці графіка ($S_j > S_{ном.т}$);

$\sum \Delta h_j = h^4$ - тривалість перевантаження;

г) отримане значення K_2 порівнюють з K_{max} графіка навантаження $K_{max} = S_m(S_{ном.т})$; якщо $K_2 \geq 0,9K_{max}$, то приймають $K_2 = K_2$ і $h = h^4$; якщо

$K_2 < 0,9K_{max}$, то приймають $K_2 = 0,9K_{max}$, а тривалість перевантаження в

цьому випадку коректують за формулою

$$h = \frac{(K_2)^2 h^4}{(0,9K_{max})^2}$$

Приклад 2.1. Вибрати трансформатори ГПП 35/6 кВ підприємства (друкарської фабрики). Розрахункове максимальне навантаження $S_m = 5,26 \text{ МВ}\cdot\text{А}$.

Розв'язання. Номінальна потужність трансформаторів двотрансформаторної ГПП:

$$S_{\text{ном.т}} \geq (0,5 \div 0,7)S_m = (0,5 \div 0,7)5,26 = 2,63 \div 3,68 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Вибираємо трансформатори ТМН-4000/35 - 2 шт [1].

Перевіримо допустимість аварійного перевантаження при виході з ладу одного трансформатора. Для цього використаємо типовий графік навантаження друкарських фабрик [2], який зображено на рис. 2.1.

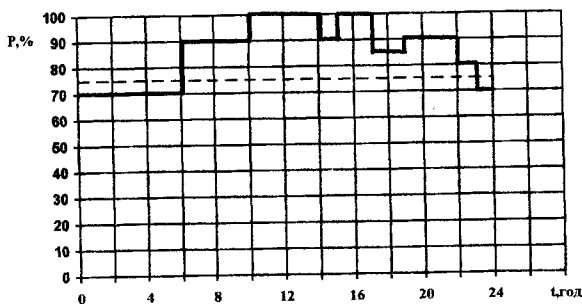


Рис.2.1. Добовий графік навантаження для робочого дня

Проведемо лінію номінального навантаження

$$S_{\text{ном.т}\%} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{S_m} \cdot 100 = \frac{4}{5,26} \cdot 100 = 76\%.$$

З графіка випливає, що тривалість перевантаження $h^{\ddagger} = 17 \text{ год}$.

Визначимо коефіцієнт початкового навантаження

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{ном.т}}} \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}} = \frac{1}{76} \sqrt{\frac{70^2 \cdot 7}{7}} = 0,92.$$

Коефіцієнт перевантаження (середньсквадратичне значення)

$$K'_2 = \frac{1}{S_{ном.т}} \sqrt{\frac{\sum S_j^2 \cdot \Delta h_j}{\sum \Delta h_j}} = \frac{1}{76} \sqrt{\frac{100^2 \cdot 6 + 90^2 \cdot 8 + 85^2 \cdot 2 + 80^2 \cdot 1}{17}} = 1,22.$$

Максимальне навантаження

$$K_{max} = \frac{S_m}{S_{ном.т}} = \frac{5,26}{4,0} = 1,315.$$

Оскільки $K'_2 > 0,9$ $K_{max} = 0,9 \cdot 1,315 = 1,18$, то приймемо $K_2 = K'_2 = 1,22$ і $h = h^* = 17$ год.

Порівнюючи значення K_2 з допустимими перевантаженнями, наведеними в табл. 2.2, можна зробити висновок про допустимість аварійних перевантажень вибраних трансформаторів.

Номінальна потужність трансформатора однострансформаторної ГПП вибирається з умови

$$S_{ном.т} \geq (0,75 \div 0,8) S_m = (0,75 \div 0,88) 5,26 = 3,95 \div 4,2 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Перевіримо можливість застосування одного трансформатора ТМН-4000/35. Максимальний коефіцієнт навантаження $K_{max} = 1,315$ менший від $K_{2c.доп} = 1,5$. Коефіцієнти K'_2 і K_1 розраховуються так само, як і у випадку двох трансформаторів. Тому $K_2 = 1,22$ і $h = 17$ год. З табл. 2.1 видно, що такі систематичні навантаження недопустимі. Тому в цьому випадку необхідно вибрати трансформатор ТМН-6300/35.

2.2. Вибір трансформаторів ГПП за економічними показниками

Техніко-економічне порівняння виконується на основі розрахунку приведених витрат:

$$Z = \sum_{i=1}^n ((E_n + E_{ai} + E_{oi}) K_i + m \Delta P_i) + Z_{пер},$$

де $E_n = 0,1$ - нормативний коефіцієнт відрахувань;

E_{ai}, E_{oi} - коефіцієнти амортизаційних відрахувань і відрахувань на обслуговування елементів системи електропостачання [1,7];

K_j - капітальні вкладення;

m - вартість 1 кВт річних втрат;

ΔP_1 - втрати потужності в елементі електропостачання;

$Z_{пер}$ - математичне сподівання збитків від перерви електропостачання.

Вартість 1 кВт річних втрат потужності визначають за діючими тарифами

$$m = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \right) \tau_M,$$

де α, β - основна і додаткова ставки тарифу;

T_M - час використання максимуму навантаження;

τ_M - час максимальних втрат.

Збитки від перерви електропостачання можна оцінити за формулою [1]

$$Z_{пер} = Z_{пер.а} \Delta W_a + Z_{пер.п} \Delta W_{п},$$

де $Z_{пер.а}, Z_{пер.п}$ - питомі складові збитків від відповідно аварійного і планового невідпусків електроенергії;

$\Delta W_a, \Delta W_{п}$ - середньорічні значення аварійного і планового невідпусків електроенергії.

Питомі показники збитків від перерв електропостачання промислових підприємств, приведені в табл. 2.4 [1].

Таблиця 2.4.

Питомі показники збитків від перерв електропостачання

Галузі і підприємства	Збитки, грн./кВт-год	
	Зпер.а	Зпер.л
1	2	3
Гірничорудна (видобуток і збагачення)	0,32	0,12
Машинобудування і металообробка:		
загальне машинобудування	0,7	0,2
верстатобудування	1	0,2
виробництво підшипників	0,99	0,6
Важке машинобудування	4	0,6
Крупне електромашинобудування	1,9	0,5
Середнє електромашинобудування		
виробництво електроапаратури	1,3	0,43
Інструментальні заводи	0,4	0,095
Заводи металоконструкцій	0,32	0,26
Деревообробна промисловість	0,57	0,49

1	2	3
Хімічна промисловість:		
азотно-туковий завод	1,2	0,1
електрохімкомбінат	0,27	0,1
суперфосфатний завод	0,27	0,02
завод штучного волокна	4	0,65
виробництво смол і пластмас	1,6	0,48
лакофарбове виробництво	4,2	0,07
виробництво соди	20	0,92
виробництво карбідів	66,7	0,14
Цементна промисловість	0,51	0,26
Промисловість будівельних матеріалів:		
завод залізобетонних виробів	0,5	0,32
кераміко-плитковий завод	2,7	0,35
кар'єр нерудних будматеріалів	0,16	0,15
Текстильна промисловість:		
прядильно-ткальна фабрика	0,85	0,76
текстильний комбінат	1,3	0,79
Легка промисловість:		
взуттєва фабрика	2,7	2,5
швейна фабрика	0,22	0,21
Харчова промисловість	0,43	0,32
хлібопекарня	24	2,1
мукомольно-круп'яна	0,52	0,21
консервна	4,5	0,75
інші	1,3	0,58
Будівництво	0,76	0,71

Аварійний і плановий невідпуск електроенергії знаходять з формул:

$$\Delta W_a = k_a P_M T_M,$$

$$\Delta W_{\Pi} = k_{\Pi} P_M T_M,$$

де k_a, k_{Π} - коефіцієнти аварійного і планового простоїв.

Для одноколової системи (без резервування) коефіцієнт аварійного простою

$$k_a = \omega_c \cdot t_{в.с.},$$

де ω_c - частота відмов одноколової системи, рік⁻¹;

$t_{в.с.}$ - середня тривалість її відновлення в роках (якщо тривалість відновлення задана в год., то її необхідно поділити на 8760 год.).

При послідовному з'єднанні декількох елементів частота відмов одноколової системи:

$$\omega_c = \sum_{i=1}^n \omega_i;$$

середня тривалість відновлення:

$$t_{в.с.} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{вi} \omega_i}{\omega_c},$$

де $\omega_i, t_{вi}$ - частота відмов і тривалість відновлення елементів (статистичні дані приведені в [1, 8]).

Коефіцієнт планового простою одноколової системи [1]

$$k_{\Pi} = 1,2 \cdot k_{\Pi \text{ макс}},$$

$$k_{\Pi} = \mu_i t_{\Pi i},$$

де $k_{\Pi i}$ - значення коефіцієнта планового ремонту і-го елемента;

μ_i - частота планових ремонтів елементів;

$t_{\Pi i}$ - тривалість планового ремонту елементів в роках.

Для двоковолої системи (з резервуванням) плановий недовідпуск електроенергії відсутній, а середньорічний аварійний недовідпуск електроенергії практично дорівнює нулю.

Приклад 2.2. Порівняти техніко-економічну ефективність спорудження однострансформаторної ГПП з трансформатором ТМН-6300/35 ($\Delta P_{xx} = 8,0$ кВт; $\Delta P_{кз} = 46,5$ кВт; $u_k = 7,5\%$; $i_x = 0,8\%$) і двотрансформаторної ГПП з трансформаторами ТМН-4000/35 ($\Delta P_{xx} = 5,6$ кВт; $\Delta P_{кз} = 33,5$ кВт; $u_k = 7,5\%$; $i_x = 0,9\%$). Оплата за електроенергію здійснюється за двоставковим тарифом: основна ставка $\alpha = 66,5$ грн/кВт, додаткова ставка $\beta = 0,05$ грн/кВт·год. Розрахункове навантаження підприємства $P_m = 5,12$ МВт, $S_m = 5,2$ МВ·А. Збитки від перерв електропостачання $Z_{пер.а} = 0,43$ грн/кВт·год, $Z_{пер.п} = 0,32$ грн/кВт·год.

Розв'язання:

Для визначення T_m і τ_m скористасьмося типовим річним графіком навантаження за тривалістю для друкарських фабрик [2], який зображено на рис. 2.2.

Час використання максимального навантаження

$$T_m = \frac{\sum P_j t_j}{P_m} = \frac{100 \cdot 1500 + 90 \cdot 2500 + 85 \cdot 500 + 70 \cdot 2500 + 10 \cdot 1260}{100} = 6451 \text{ год.}$$

Час максимальних втрат

$$\tau_m \approx \frac{\sum P_j^2 t_j}{P_m^2} = \frac{100^2 \cdot 1500 + 90^2 \cdot 2500 + 85^2 \cdot 500 + 70^2 \cdot 2500 + 10^2 \cdot 1260}{100^2} = 5444 \text{ год.}$$

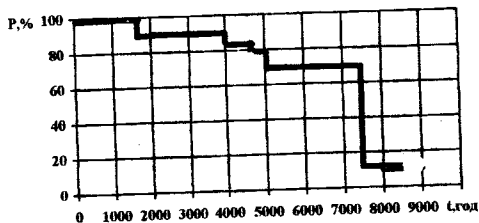


Рис.2.2. Річний графік навантаження за тривалістю

Вартість річних втрат 1 кВт потужності при основній ставці $\alpha=66,5$ грн/кВт і додатковій ставці $\beta=0,05$ грн/кВт•год :

$$m = \left(\frac{66,5}{6451} + 0,05 \right) 5444 = 328,32 \text{ грн / кВт} \cdot \text{рік.}$$

Втрати потужності в трансформаторах складають:
для одного трансформатора 6300 кВ•А

$$\Delta P_I = \Delta P_{xx} + \Delta P_{xx} k_s^2 = 8,0 + 46,5 \left(\frac{5,26}{6,3} \right)^2 = 40,4 \text{ кВт,}$$

для двох трансформаторів 4000 кВ•А

$$\Delta P_{II} = 2\Delta P_{xx} + 2\Delta P_{xx} k_s^2 = 2 \cdot 5,6 + 2 \cdot 33,5 \left(\frac{5,26}{6,3} \right)^2 = 40,2 \text{ кВт.}$$

Вартість втрат потужності практично однакова

$$m\Delta P_I = 328,32 \cdot 40,4 = 13264 \text{ грн,}$$

$$m\Delta P_{II} = 328,32 \cdot 40,2 = 13198 \text{ грн.}$$

Аварійний недовідпуск електроенергії становить

$$\Delta W_a = k_a P_M T_M = 0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12 \cdot 10^3 \cdot 6451 = 14900 \text{ кВт} \cdot \text{год,}$$

$$k_a = \omega t_a = 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,45 \cdot 10^{-3},$$

де $\omega=0,01$ рік⁻¹; $t_a=45 \cdot 10^{-3}$ року - частота відмов і середній час відновлення трансформатора напругою 35 кВ [1].

Плановий недовідпуск електроенергії

$$\Delta W_n = k_n P_M T_M = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12 \cdot 10^3 \cdot 6451 = 132400 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $k_n = 4 \cdot 10^{-3}$ - середній час планового простою трансформатора напругою 35 кВ [1].

Збитки від перерви електропостачання

$$Z_{\text{пер}} = Z_{\text{пер.а}} \Delta W_a + Z_{\text{пер.н}} \Delta W_n = 0,43 \cdot 14900 + 0,32 \cdot 132400 = 48775 \text{ грн.}$$

Вартість спорудження однострансформаторної ГПП 6300 кВ•А ~ 88690 грн., вартість спорудження двотрансформаторної ГПП 2 x 4000 кВ•А ~ 158440 грн. [2]. Примітка: перехід від цін до 1990 року до цін в гривнях виконано з коефіцієнтом один.

Приведені річні витрати при спорудженні однострансформаторної підстанції

$$Z_I = (E_n + E_a + E_o) K_I + m \Delta P_I + Z_{\text{пер}} = \\ = (0,1 + 0,1 + 0,02) 88690 + 13264 + 48775 = 81551 \text{ грн.}$$

при спорудженні двотрансформаторної підстанції

$$Z_{II} = (E_n + E_a + E_o) K_{II} + m \Delta P_{II} = \\ = (0,1 + 0,1 + 0,02) 158440 + 13198 = 48055 \text{ грн.}$$

Таким чином, варіант II в даному випадку більш економічний.

2.3. Вибір цехових ТП

Потужність і число цехових ТП істотно впливають на техніко-економічні показники як заводської, так і цехових мереж. Встановлено, що при виборі вирішальним є вплив цехових мереж.

На основі експериментальних досліджень обгрунтовано, що номінальну потужність цехових ТП доцільно вибирати за питомого

густиною навантаження на 1 м^2 площі цеху ($S_{\text{шт}}$). При $S_{\text{шт}} < 0,4 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$ більш раціональним є використання однострансформаторних ТП. Інтервали економічних потужностей трансформаторів

$$S_{\text{ном.т}} = \begin{cases} 630, 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А} & \text{при } S_{\text{шт}} < 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2; \\ 1600 \text{ кВ} \cdot \text{А} & \text{при } S_{\text{шт}} = 0,2 \div 0,3 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2; \\ 2500 \text{ кВ} \cdot \text{А} & \text{при } S_{\text{шт}} = 0,3 \div 0,4 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2. \end{cases}$$

При $S_{\text{шт}} > 0,4 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$ доцільно застосовувати двотрансформаторні підстанції незалежно від категорії надійності електропостачання.

При визначенні числа і потужності трансформаторів цехових ТП враховують:

а) надійність електропостачання, зокрема для споживачів I категорії доцільно використовувати двотрансформаторні ТП;

б) доцільність уніфікації підстанцій (однотипність підстанцій забезпечує можливість використання меншого числа резервних трансформаторів).

Потужність трансформаторів однострансформаторних ТП визначають з умов допустимості систематичних навантажень

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_M}{Nk_3},$$

де S_M - розрахункова потужність на шинах $0,4 \text{ кВ}$ ТП (рівень III);

N - число підстанцій;

k_3 - коефіцієнт завантаження трансформаторів. Коефіцієнт завантаження k_3 рекомендується приймати рівним $0,9 \div 0,95$.

Потужність трансформаторів двотрансформаторних ТП вибирають з умови допустимості післяаварійних перевантажень

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_M}{N \cdot 2 \cdot k_s}$$

Коефіцієнт завантаження трансформаторів приймають рівним $0,65 \div 0,7$ - при переважанні споживачів I категорії і $0,7 \div 0,8$ при переважанні споживачів II, III категорій [9].

Виходячи з цього, рекомендується така послідовність визначення числа і потужності ТП:

а) визначають економічний ступінь потужності трансформаторів $S_{ек}$ в залежності від густини навантаження ($S_{птг} = S_{\Sigma} / F_{\Sigma}$);

б) визначають економічне число підстанцій

$$N_{ек} \geq \frac{S_{\Sigma}}{S_{ек} \cdot k_s}$$

в) розподіляють ТП між цехами і визначають їх коефіцієнти завантаження.

Приклад 2.3. Вибрати число і потужність цехових ТП підприємства. Підприємство відноситься до III категорії за надійністю електропостачання. Вихідні дані приведені в табл. 2.5.

Розв'язання.

Визначимо загальне значення максимальної потужності цехів і їх загальну площу

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 S_{M_i} = 557 + 1708 + 1745 = 4010 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 F_{i_1} = 3780 + 15120 + 15120 = 34020 \text{ м}^2.$$

Середнє питоме навантаження на 1 м^2 площі

$$S_{птг} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}} = \frac{4010}{34020} \approx 0,12 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2.$$

Отже можна вибрати однотрансформаторні підстанції з $S_{ном.т}$

= 630 або 1000 кВ·А. Розглянемо два варіанти.

1. При $S_{ек} = S_{ном.т} = 630$ кВ·А число ТП

$$N_{ек} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{ек} \cdot k_3} = \frac{4010}{630(0,9 + 0,95)} = 6,7 + 7,1 \text{ шт.}$$

Отже, необхідно встановити сім ТП-630 кВ·А. Коефіцієнти завантаження трансформаторів приведені в табл. 2.5.

2. При $S_{ек} = S_{ном.т} = 1000$ кВ·А число ТП

$$N_{ек} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{ек} \cdot k_3} = \frac{4010}{1000(0,9 + 0,95)} = 4,2 + 4,5 \text{ шт.}$$

В цьому випадку треба встановити п'ять ТП. Коефіцієнти завантаження трансформаторів приведені в табл. 2.5.

Оскільки ТП в цеху №1 завантажено лише на 55%, то в цьому цеху можна встановити ТП 630 кВ·А, залишивши решту підстанцій потужністю 1000 кВ·А.

Таблиця 2.5

Вибір цехових ТП

Цех	$S_{м},$ кВ·А	$F,$ м ²	$S_{ном.т} = 630$ кВ·А		$S_{ном.т} = 1000$ кВ·А	
			$N,$ шт	k_3	$N,$ шт	k_3
Цех №1	557	3780	1	0,88	1	0,56
Цех №2	1708	15120	3	0,90	2	0,85
Цех №3	1745	15120	3	0,92	2	0,87
Всього	4010	34020	7		5	

Для остаточного вибору потрібно провести техніко-економічні розрахунки. При цьому необхідно зіставляти приведені витрати як цехових, так і заводських мереж. Такий аналіз надзвичайно складний.

Тому, з точки зору економії корисної виробничої площі, зручності експлуатації зупинимось на варіанті з меншою кількістю підстанцій.

2.4. Вибір місць для розміщення підстанцій

Для вибору місць розташування підстанцій будується картограма і визначається центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень будують на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного з цехів зображається кругом, площа якого пропорційна розрахунковій активності потужності

$$P_{mk} = \pi r_k^2 m_p,$$

де r_k - радіус круга;

m_p - масштаб побудови.

При графічній побудові центр круга суміщають з геометричним центром зображеного на генплані контуру цеха. Масштаб вибирають таким, щоб побудована картограма наглядно відображала співвідношення потужностей цехів.

Координати центра електричних навантажень (ЦЕН) знаходять за формулами

$$x_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_{mk} x_k}{\sum_{k=1}^N P_{mk}}, \quad y_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_{mk} y_k}{\sum_{k=1}^N P_{mk}},$$

де x_k, y_k - координати геометричних центрів об'єктів на генплані підприємства;

N - число об'єктів (цехів).

У випадку рівномірного розподілу навантажень при розміщенні головної понижувальної підстанції в ЦЕН витрати на спорудження заводської мережі будуть мінімальними.

При розміщенні ГППі необхідно мати на увазі, що для повітряної лінії 110 кВ потрібний коридор шириною 30 м, а також - вільна площа для спорудження самої підстанції. Ширина коридора може бути зменшена, якщо для передачі електроенергії по території підприємства застосовувати маслонаповнені кабельні лінії високої напруги [7]. Для прокладання кабельних ліній 110 кВ потрібен коридор шириною 5 м.

В деяких випадках економічно доцільним є використання принципу розукрупнення (подрібнення), згідно з яким споруджуються дві ГПП.

Для живлення підприємств в багатьох випадках використовують систему глибоких вводів. ПГВ розміщують в ЦЕН окремих виробництв підприємства.

Підприємства невеликої потужності живляться на напрузі 10(6) кВ. Оскільки напруга зовнішньої і внутрішньої заводських мереж однакові, то для прийому і розподілу електроенергії споруджують центральну розподільчу підстанцію (ЦРП) напругою 10(6) кВ. ЦРП розміщують таким чином, щоб не було зворотних перетоків енергії.

Конструктивно заводські мережі середніх за потужністю підприємств виконують кабелями, прокладеними в траншеях або каналах. При невеликій кількості кабелів (до шести) в одному напрямку їх прокладають в траншеях. При стисненості траси, а також в місцях переходу під дорогами кабелі прокладають в блоках. Кабельні канали дозволяють прокласти в них 15 - 20 кабелів. Перспективним є виконання кабельних каналів напівзаглибленими, коли канал накривається плитами і землю не засипається.

На крупних підприємствах застосовуються кабельні естакади, тунелі і галереї з пропускною здатністю до 60 - 70 кабелів. Перспективним є застосування потужних струмопроводів [10].

Вибираючи місце для розміщення ТП, слід враховувати вимоги ПУЕ розд. 4.2. Якщо приміщення згідно з протипожежними вимогами віднесені до категорії Г або Д I або II ступеня вогнестійкості, то внутріцехові підстанції можуть бути розміщені на першому і другому поверхах як відкрито, так і в окремих приміщеннях. На кожній відкрито встановленій внутріцеховій підстанції можуть бути застосовані масляні трансформатори з загальною потужністю до 3,2 МВ·А.

Розміщення підстанцій з маслонаповненим обладнанням в приміщеннях з виробництвами категорії В за протипожежними вимогами може бути допущено в кожному конкретному випадку після узгодження з органами Державного пожежного нагляду.

При розміщенні підстанцій можливі різні варіанти поділу навантажень на зони. При цьому можливе збільшення або зменшення номінальної потужності трансформаторів від економічного значення.

Приклад 2.4. Вибрати місця для розміщення підстанцій. Генеральний план підприємства зображено на рис. 2.3. На підприємстві передбачається спорудження ГПП і п'яти цехових ТП.

Вихідні дані приведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6.

Цех	Координати цехів		$P_{мв}$ кВт	$P_{м.0}$ кВт	r_k м
	x_i , м	y_i , м			
Цех №1	350	100	453	45	54
Цех №2	600	200	1156	180	86
Цех №3	550	500	1452	180	96
Компресорна станція (№4)	150	100	2960	45	137
Всього			6021		

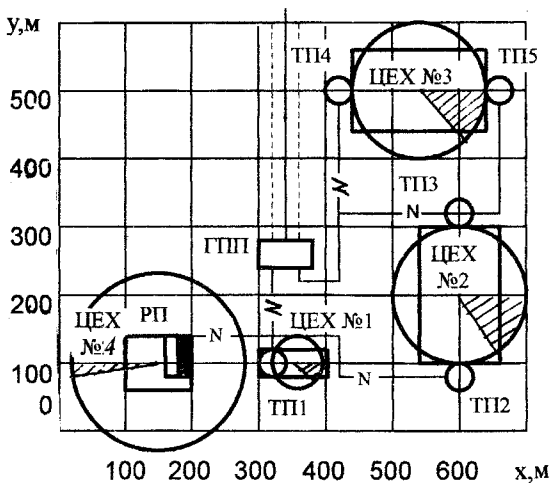


Рис. 2.3. План розміщення цехів підприємства

Розв'язання. Вибираємо масштаб побудови картограми навантажень. Прийемо радіус круга навантажень цеху №2 $r_2 \approx 100$ м. Тоді

$$m_p = \frac{P_{M2}}{\pi r_2^2} = \frac{1156}{3,14 \cdot 100^2} = 0,037 \text{ кВт/м}^2.$$

Вибираємо $m_p = 0,05$ кВт/м² (m_p звичайно вибирають кратним 1, 2, 5).

Визначаємо радіуси кругів при даному масштабі

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{M1}}{\pi m_p}} = \sqrt{\frac{453}{3,14 \cdot 0,05}} = 54 \text{ м.}$$

Аналогічно розраховані радіуси для інших об'єктів (табл. 2.6). Будемо картограму навантажень.

Координати центра електричних навантажень

$$x_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_{mk} x_k}{\sum_{k=1}^N P_{mk}} = \frac{453 \cdot 350 + 1156 \cdot 600 + 1452 \cdot 550 + 2960 \cdot 150}{453 + 1156 + 1452 + 2960} = 348 \text{ м,}$$
$$y_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_{mk} y_k}{\sum_{k=1}^N P_{mk}} = \frac{453 \cdot 100 + 1156 \cdot 200 + 1452 \cdot 500 + 2960 \cdot 100}{453 + 1156 + 1452 + 2960} = 216 \text{ м.}$$

Рішення питання про розміщення ГПП в центрі електричних навантажень повинно бути погоджено з технологіями і будівельниками. На рис. 2.3 показані місце для розміщення ГПП і необхідний коридор для повітряної лінії.

У випадку, якщо питання про розміщення ГПП в ЦЕН не вдається погодити, можливі компромісні рішення щодо зміщення ГПП відносно ЦЕН. При цьому проводиться техніко-економічне обґрунтування найбільш економічно доцільного варіанта.

Для ТП №1 передбачаємо відкриту установку. Цехові ТП №2-5 виконусмо прибудованими, оскільки приміщення технологічних цехів друкарських фабрик відносять до категорії В за пожежною безпекою. Місця для розміщення ТП вибираємо таким чином, щоб вони з корпусами цехів утворювали єдиний архітектурний ансамбль.

На рис. 2.3. показані також траси кабельних ліній від ГПП до ТП і РП, прокладання яких передбачається в траншеях.

3. РОЗРАХУНОК ЗАВОДСЬКОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1. Вибір схеми електропостачання

При виборі схеми розподільного пристрою 35-330 кВ ГПП переважно використовують типові схеми [1, 7]. Розглянемо їх області застосування. Блочні схеми застосовують на тупикових підстанціях напругою до 330 кВ і проміжних підстанціях напругою до 220 кВ. Зокрема, схема з відокремлювачами і короткозамикачами застосовується на напрузі 110-220 кВ при номінальній потужності трансформаторів до 25 МВ · А. При потужності трансформаторів понад 25 МВ · А або тоді, коли є обмеження у використанні відокремлювачів і короткозамикачів замість них в блочній схемі використовуються вимикачі. Застосування короткозамикачів обмежується зоною кілометрового ефекту (на відстані до 4 км від вимикача для лінії 110 кВ і до 8 км - для лінії 220 кВ), необхідністю самозапуску потужних електродвигунів та в інших випадках.

Мостові схеми знаходять застосування на напрузі 35-220 кВ при необхідності секціонування ліній при потужності трансформаторів до 63 МВ · А. Мостова схема з вимикачем в перемичці і відокремлювачами в колі трансформаторів використовується на напрузі 110 кВ, а при відсутності однофазних АПВ і на напрузі 220 кВ на підстанціях з трансформаторами до 25 МВ · А. Якщо умови не дозволяють застосувати відокремлювачі і короткозамикачі на напрузі 110-220 кВ, а також на напрузі 35 кВ використовують мостові схеми з вимикачем.

Типовою схемою розподільних пристроїв 6-10 кВ підстанцій при двох трансформаторах є схема з однією секціонованою системою збірних шин. Таку схему застосовують при потужності трансформаторів

до $16 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ і при потужності трансформаторів $25\text{-}63 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ з паралельно з'єднаними вітками розщепленої обмотки низької напруги при необхідності зосередити на шинах секції максимальну потужність.

Крім схеми з однією секціонованою системою збірних шин використовують схему з двома секціонованими системами збірних шин. Цю схему застосовують при потужності трансформаторів $25\text{-}63 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, вторинна обмотка яких розщеплена.

Для розподільчих мереж промислових підприємств перевагу слід віддавати напрузі 10 кВ . Допустимим є застосування напруги 6 кВ , але вибір в кожному конкретному випадку повинен бути обґрунтований техніко-економічними розрахунками. Застосування напруги 6 кВ може бути доцільним в двох випадках:

- 1) при живленні підприємства від ТЕЦ на генераторній напрузі 6 кВ ;
- 2) при значній долі електродвигунів 6 кВ в загальному навантаженні підприємства.

При необхідності застосування в розподільній мережі двох напруг 10 і 6 кВ використовують підстанції з триобмотковими трансформаторами і секціонованими системами збірних шин різної напруги.

Для живлення ТП використовують радіальні або магістральні схеми. При використанні магістралей число ТП обмежують двома-трьома при номінальній потужності трансформаторів $S_{\text{ном.т}} \geq 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ і чотирма-п'ятьма при $S_{\text{ном.т}} = 250\text{-}630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Для підвищення надійності однострансформаторних ТП використовують резервування на низькій або високій стороні. Резервування виконують за допомогою резервних кабельних або шинних перемичок. Кабельні перемички низької напруги слід виконувати,

виходячи з резервування 15-30% потужності трансформаторів, шинні - до 40%.

Приклад 3.1. Вибрати схему електропостачання підприємства. На ГПП передбачається встановлення двох трансформаторів ТМН-4000/35. Від ГПП живляться п'ять цехових ТП і вісім синхронних електродвигунів напругою 6 кВ. Потужність ТП1 - 630 кВ · А, ТП2-ТП5 - 1000 кВ · А кожна. Потужність синхронних електродвигунів 400 кВт кожний (СДН-2-17-21-16). Відстань до районної підстанції 2 км.

Розв'язування. Вибираємо уніфіковану комплектну підстанцію блочного виконання типу КТПБ для зовнішньої установки напругою 35/6 кВ з двома трансформаторами ТМН 4000/35. КТПБ виконана з вимикачами на високій стороні. Вибір напруги 6 кВ зумовлений значною долею високовольтного навантаження на цій напрузі [7].

Вибираємо радіальну схему електропостачання (рис. 3.1). Для живлення високовольтних електродвигунів споруджується розподільний пункт (РП) напругою 6 кВ. Передбачається резервування на низькій стороні між ТП2 і ТП3, а також ТП4 і ТП5, які забезпечують живлення основних цехів.

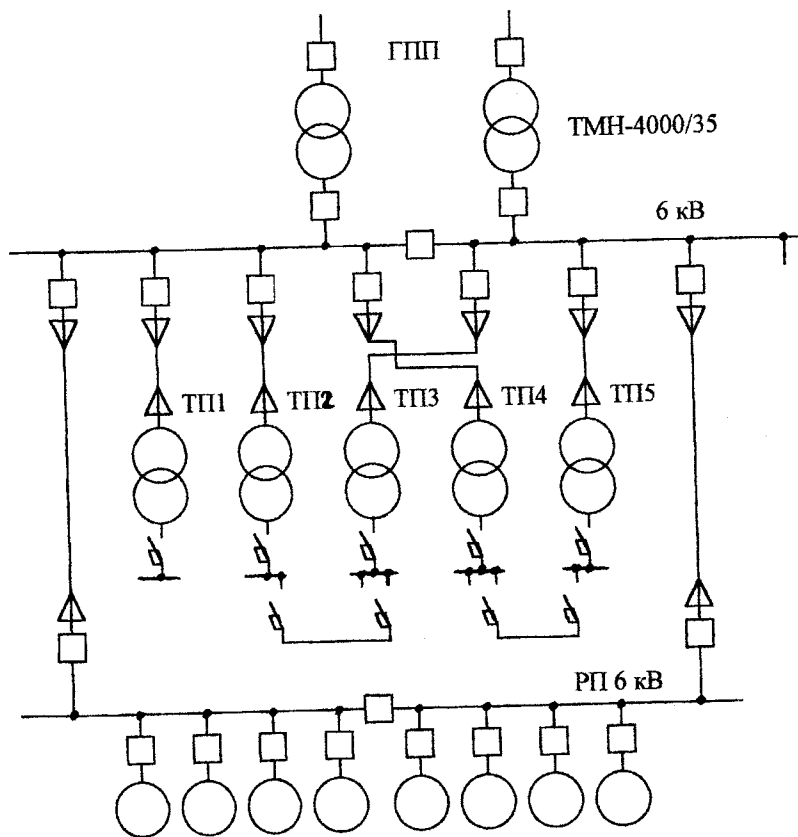


Рис. 3.1. Схема заводської мережі

3.2. Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників

Високовольтні вимикачі вибирають за номінальною напругою і розрахунковим струмом з врахуванням післяаварійних режимів, режимів в період ремонту і можливих нерівномірностей розподілу струмів між лініями і секціями шин

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}},$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{макс}}.$$

Переріз провідників вибирають за економічною густиною струму для нормального режиму роботи

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{ек}}},$$

де $j_{\text{ек}}$ - економічна густина струму [11].

Перевірку вибраного перерізу здійснюють за допустимим нагрівом струмом максимального (післяаварійного) режиму

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{макс}},$$

де $I_{\text{доп}}$ - допустиме значення струму для провідника даного типу, перерізу при даних умовах прокладення.

Приклад 3.2. Вибрати високовольтні вимикачі і переріз провідників системи заводського електропостачання (рис. 3.1). Час використання максимального навантаження $T_{\text{м}} = 6451$ год.

Розв'язування. Розрахунковий струм для нормального і післяаварійного режимів для лінії живлення підприємства напругою 35 кВ

$$I_m = \frac{S_{мг/1}}{2\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{5500}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 45,4 \text{ А,}$$

$$I_{макс} = \frac{S_{мг/1}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 35} = 90,8 \text{ А.}$$

Для установки на стороні 35 кВ вибираємо вакуумні вимикачі типу ВВК-35Б-20/1000 У1 з $I_{ном.б} = 1000 \text{ А} \gg I_{макс}$. Повний час відключення вимикача 0,05 с.

Визначаємо струми приєднань:

а) ТП1

$$I_m = I_{макс} = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{557}{\sqrt{3} \cdot 6} = 53,6 \text{ А;}$$

б) ТП2

$$I_m = \frac{S_m}{2\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1708}{2\sqrt{3} \cdot 6} = 82,2 \text{ А,}$$

$$I_{макс} = \frac{1,4S_m}{2\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1708}{2\sqrt{3} \cdot 6} = 115 \text{ А;}$$

в) РП

$$I_m = \frac{4 \cdot S_{ном.б}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4 \cdot 485}{\sqrt{3} \cdot 6} = 188 \text{ А,}$$

$$I_{макс} = 2I_m = 2 \cdot 188 = 376 \text{ А,}$$

де $4S_{ном.б}$ - повна номінальна потужність синхронних електродвигунів СДН-2-17-21-16 однієї секції шин РП. Передбачається можливість живлення всіх електродвигунів по одній лінії.

Для установки на стороні 6 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВВЭ-10-20/630 У3, які призначені для використання в КРП, наприклад, типу КМ-1Ф. Номінальний струм вимикачів $I_{ном.б} = 630 \text{ А} > I_{макс}$ для всіх приєднань. Власний час відключення вимикача 0,055 с.

Вибір провідників виконуємо за економічною густиною струму. Для неізолюваних проводів $j_{ек} = 1,0 \text{ А/мм}^2$, а для кабелів з паперовою ізоляцією $j_{ек} = 1,2$ [11] при $T_m > 5000$.

Визначаємо економічний переріз провідників, наприклад, для лінії живлення

$$s_{ек} = \frac{I_m}{j_{ек}} = \frac{45,4}{1,0} = 45,4 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо сталевалюмінієвий неізолюваний провід АС-50, для якого допустимий струм $I_{дон} = 210 \text{ А}$ [11] ($I_{дон} > I_{макс} = 90,8 \text{ А}$).

Для внутрізаводської мережі вибираємо броньовані кабелі з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААБ.

Результати розрахунків приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Вибір високовольтних вимикачів і перерізу провідників

Лінія	$I_m, \text{ А}$	$I_{макс}, \text{ А}$	Вимикач	$I_{ном.в}, \text{ А}$	$s_{ек}, \text{ мм}^2$	Провідник	$I_{дон}, \text{ А}$
БЕС - ГПП	45,4	90,8	ВВК-35Б-20/1000	1000	45,4	АС-50	210
ГПП - ТП1	53,6	53,6	ВВЭ-10-20/630	630	44,7	ААБ 3×50	155
ГПП - ТП2	82,2	115	"-	"-	68,5	ААБ 3×70	190
ГПП - РП	188	376	"-	"-	157	ААБ 3×240	390

3.3. Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів КЗ виконується з метою перевірки вибраних вимикачів і провідників. Тому необхідно визначити такі величини: періодичну складову струму трифазного КЗ в початковий момент часу

I_{no} , періодичну та аперіодичну складові в момент початку розходження контактів $I_{пт}$ та $i_{ат}$, ударний струм КЗ $i_{уд}$, тепловий імпульс $В_k$.

Для підприємств, які живляться від енергосистеми з віддаленими від точки КЗ генераторами, при розрахунку струмів КЗ розрізняють два характерних випадки:

- 1) високовольтні електродвигуни відсутні;
- 2) наявність високовольтних електродвигунів.

В першому випадку визначають струми КЗ лише від енергосистеми. В другому випадку необхідно визначити складові струму КЗ від енергосистеми і від високовольтних електродвигунів.

Розрахунок струмів КЗ рекомендується виконувати в відносних одиницях. Базисну потужність рекомендується приймати рівною 1000 МВ·А [1]. За базисну напругу $U_б$ приймають середню напругу $U_{сер}$ ступеня, на якому виникає КЗ (6,3; 10,5; 37; 115; 230 кВ). Базисний струм на кожному ступені розраховують за формулою

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}$$

Послідовність розрахунку струмів КЗ така: складають розрахункову схему і схему заміщення; вказують точки, в яких необхідно визначити струм КЗ; визначають опори елементів системи електропостачання і приводять їх до базисних умов; визначають розрахункові величини: $I_{но}$; $I_{пт}$; $i_{ат}$ та $i_{уд}$ від енергосистеми і від високовольтних електродвигунів, а також $В_k$.

Заданою величиною для розрахунку струмів КЗ є початкове значення періодичної складової струму КЗ $I_{но}$ на високій стороні ГППі або потужність трифазного КЗ $S_k = \sqrt{3}U_{сер}I_{но}$.

З метою перевірки вибраних вимикачів і кабелів необхідно розрахувати вказані вище величини на шинах низької напруги ГПП (точка К-1).

Розрахункова схема і схема заміщення приведені на рис. 3.2.

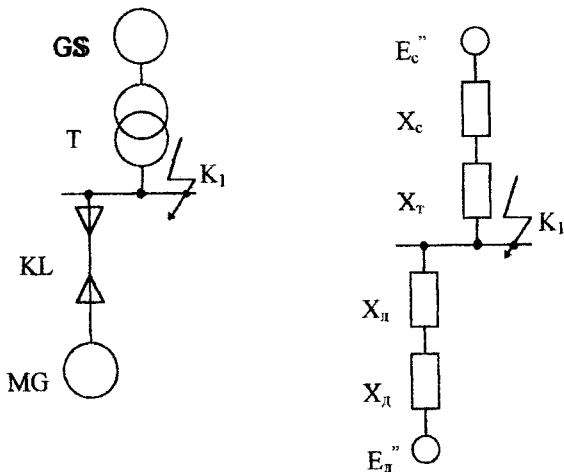


Рис. 3.2. Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Індуктивні опори в відносних одиницях визначають за формулами:
системи

$$X_c = \frac{S_b}{S_k} = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{сер} I_{по}};$$

трансформатора

$$X_m = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{ном.т}};$$

лінії електропередач

$$X_n = X_{лит} \cdot l \frac{S_b}{U_{сер}^2};$$

групи синхронних електродвигунів

$$X_{\sigma} = \frac{X''_{\sigma}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{ном.д}}$$

групи асинхронних електродвигунів

$$X_{\sigma} = X_{КЗ} \frac{S_{\sigma}}{S_{ном.д}} = \frac{I_{ном.д}}{I_{пуск.д}} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{ном.д}}$$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ в т. К1 від енергосистеми

$$I_{по.с} = \frac{E_c''}{X_c + X_m} I_{\sigma},$$

де E_c'' - надперехідна ЕРС системи в відносних одиницях (приймається рівною одиниці).

Початкове значення періодичної складової від групи електродвигунів

$$I_{по.д} = \frac{E_{\sigma}''}{X_{\sigma} + X_a} I_{\sigma},$$

де E_{σ}'' - надперехідна ЕРС групи електродвигунів і для синхронних електродвигунів приймається $E_{\sigma}'' = 1,05 \div 1,07$; для асинхронних - $E_{\sigma}'' = 0,9$ [1].

Діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ від енергосистеми не залежить від часу

$$I_{п.с} = I_{по.с}$$

Визначення діючого значення періодичної складової струму від електродвигунів в момент часу t здійснюється за формулою

$$I_{п.д} = I_{по.д} \cdot \gamma(t),$$

де $\gamma(t) = I_{пт} / I_{по}$ - відношення, яке визначається за графіками, які приведені в [1,3] для асинхронних та синхронних електродвигунів.

Якщо постійна часу загасання періодичної складової $T_{пл}$ відома, то значення періодичної складової в момент часу t може бути визначене за формулою

$$I_{пт\delta} = I_{по\delta} e^{-\frac{t}{T_{по}}}$$

В [1] приведені постійні загасання періодичної складової $T_{пл}$ для асинхронних двигунів.

Для перевірки вимикачів на комутаційну здатність необхідно визначити $I_{пт}$ в момент часу $t = \tau$ початку розходження контактів вимикача.

Розрахунковий час початку розмикання контактів вимикача τ визначається за формулою

$$\tau = t_{рз.мін} + t_{в.в.}$$

де $t_{рз.мін}$ - мінімальний час спрацювання релейного захисту (приймається рівним 0,01 с);

$t_{в.в.}$ - власний час відключення вимикача (до моменту розходження головних контактів).

Значення аперіодичної складової в момент часу $t = \tau$ (необхідне також для перевірки вимикачів на комутаційну здатність) визначається за формулою

$$i_{ат} = \sqrt{2} I_{по} e^{-\frac{t}{T_a}}$$

де T_a - постійна часу загасання аперіодичної складової струму.

Ударний струм КЗ (необхідний для перевірки вимикачів на динамічну стійкість) розраховується для моменту часу $t = 0,01\text{с}$ за формулою

$$i_{yo} = \sqrt{2}I_{no} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) = \sqrt{2}I_{no}k_{yo},$$

де k_{yo} - ударний коефіцієнт.

Для визначення постійної часу T_a необхідно визначити значення активних опорів елементів системи електропостачання. Відносні значення активних опорів можуть бути розраховані за формулами [1, 3]

$$R_c \approx 0,1X_c;$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{K3}}{S_{ном.м}} \cdot \frac{S_б}{S_{ном.м}};$$

$$R_a = R_{пит} \cdot I \frac{S_б}{U_{ср}^2} = \frac{\Delta P_{л}}{3I_{дон}^2} I \frac{S_б}{U_{ср}^2};$$

$$R_b = \frac{X_o}{\omega T_a},$$

де $\Delta P_{л}$ - питомі втрати потужності в лінії електропередач.

Тепловий імпульс B_k струмів КЗ при живленні від системи (віддалене КЗ) визначається за формулою [1, 12]

$$B_k = I_{no,c}^2 \left(t_{відк} + T_a \left(1 - e^{-\frac{2t_{відк}}{T_a}} \right) \right),$$

а при $t_{відк} \geq (1+2)T_a$ можна скористатися спрощеною формулою

$$B_k \approx I_{no,c}^2 (t_{відк} + T_a),$$

де $t_{відк}$ - час протікання процесу КЗ.

Час протікання процесу КЗ до повного відключення вимикачем

$$t_{\text{відк}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{т.в}},$$

де $t_{\text{рз}}$ - витримка часу спрацювання основного релейного захисту;

$t_{\text{т.в}}$ - повний час відключення вимикача.

Тепловий імпульс при живленні від системи і наявності високовольтних електродвигунів [1,12]:

$$B_{\kappa} = I_{\text{но.с}}^2 (t_{\text{спіюк}} + T_{\text{а.сх}}) + I_{\text{но.д}}^2 (0,5T_{\text{н.д}} + T_{\text{а.сх}}) + 2I_{\text{но.с}} I_{\text{но.д}} (T_{\text{н.д}} + T_{\text{а.сх}}).$$

Постійна часу схеми визначається за формулою

$$T_{\text{а.сх}} = \frac{T_{\text{а.с}} I_{\text{но.с}} + T_{\text{а.д}} I_{\text{но.д}}}{I_{\text{но.с}} + I_{\text{но.д}}}.$$

Постійна часу загасання періодичної складової може бути визначена наближено з виразу

$$I_{\text{н.д}} = I_{\text{но.д}} e^{-\frac{\tau}{T_{\text{н.д}}}} = I_{\text{но.д}} \gamma(\tau),$$

звідки випливає, що

$$T_{\text{н.д}} \approx -\frac{\tau}{\ln \gamma(\tau)}.$$

Приклад 3.3. Визначити струми КЗ для перевірки вибраних вимикачів і кабелів заводської мережі (рис. 3.1). Потужність КЗ на стороні 35 кВ ГПП 200 МВ·А.

Розв'язування. На рис. 3.3. представлені розрахункова схема (а) і схема заміщення (б).

Базисний струм на напрузі 6 кВ:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,75 \text{ кА}.$$

Опори елементів, зведені до базисних умов:

$$X_c = \frac{S_6}{S_x} = \frac{1000}{200} = 5;$$

$$X_m = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном.м}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{4} = 18,8;$$

$$X_\lambda = X_{пит} \cdot \frac{S_6}{U_{свр}^2} = 0,08 \cdot 0,3 \frac{1000}{6,3^2} = 0,6;$$

$$X_\delta = \frac{X_{д\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном.д}} = \frac{23,8}{100} \cdot \frac{1000}{4 \cdot 0,485} = 122,7.$$

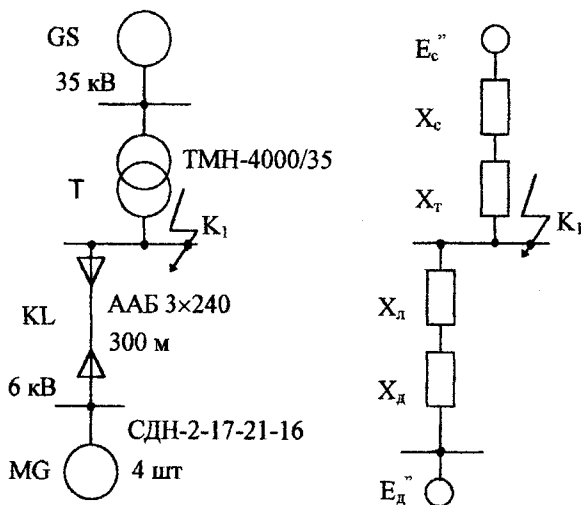


Рис. 3.3. Розрахункова схема і схема заміщення системи електропостачання

Виконаємо розрахунок струмів КЗ для точки К1.

Результуючі опори:

$$X_{\Sigma c} = X_c + X_m = 5 + 18,8 = 23,8;$$

$$X_{\Sigma d} = X_\delta + X_\lambda = 122,7 + 0,6 = 123,3.$$

Початкові діючі значення струму трифазного КЗ:

$$I_{no.c} = \frac{E_c^*}{X_{\Sigma c}} I_6 = \frac{1}{23,8} \cdot 91,75 = 3,9 \text{ кА};$$

$$I_{no.d} = \frac{E_d^*}{X_{\Sigma d}} I_6 = \frac{1,07}{123,3} \cdot 91,75 = 0,7 \text{ кА}.$$

Періодична складова струму від енергосистеми не змінюється, тому

$$I_{п.с} = I_{no.c} = 3,9 \text{ кА};$$

$$I_{п.д} = I_{no.d} \gamma(\tau) = 0,7 \cdot 0,71 = 0,5 \text{ кА},$$

де $\gamma(\tau)$ визначено з графіків [1,3] для синхронних електродвигунів СДН при

$$\tau = t_{пз.мін} + t_{в.с} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с}.$$

Для визначення аперіодичної складової струму, ударного струму і теплового імпульсу розрахуємо відносні активні опори елементів

$$R_c \approx 0,1 X_c = 0,1 \cdot 5 = 0,5;$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном}} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} = \frac{33,5}{4000} \cdot \frac{1000}{4} = 2,1;$$

$$R_n = \frac{\Delta P_n}{3I_{оп}^2} \cdot I \frac{S_6}{U_{оп}^2} = \frac{70 \cdot 10^3}{3 \cdot 390^2} \cdot 0,3 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,2;$$

$$R_d = \frac{X_d}{\omega T_d} = \frac{122,7}{3 \cdot 14 \cdot 0,037} \approx 10,6.$$

Результуючі активні опори для точки К1

$$R_{\Sigma c} = R_c + R_m = 0,5 + 2,1 = 2,6;$$

$$R_{\Sigma d} = R_d + R_n = 10,6 + 1,2 \approx 11,8.$$

Постійні часу аперіодичної складової

$$T_{ac} = \frac{X_{\Sigma c}}{\omega \cdot R_{\Sigma c}} = \frac{23,8}{314 \cdot 2,6} = 0,03 \text{ с;}$$

$$T_{ad} = \frac{X_{\Sigma d}}{\omega \cdot R_{\Sigma d}} = \frac{132,1}{314 \cdot 11,8} \approx 0,037 \text{ с.}$$

Аперіодична складова струму КЗ при $t = \tau = 0,065 \text{ с}$

$$i_{ac} = \sqrt{2} I_{no,c} e^{-\frac{t}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 3,9 e^{-\frac{0,065}{0,03}} = 0,6 \text{ кА;}$$

$$i_{ad} = \sqrt{2} I_{no,d} e^{-\frac{t}{T_{ad}}} = \sqrt{2} \cdot 0,7 e^{-\frac{0,065}{0,037}} = 0,2 \text{ кА}$$

Ударний струм КЗ

$$i_{y,c} = \sqrt{2} I_{no,c} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_{ac}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,9 \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,03}} \right) = 9,4 \text{ кА;}$$

$$i_{y,d} = \sqrt{2} I_{no,d} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_{ad}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 0,7 \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,037}} \right) = 1,7 \text{ кА.}$$

Тепловий імпульс визначаємо в такій послідовності.

Постійна часу аперіодичної складової схеми

$$T_{ac} = \frac{T_{ac} I_{no,c} + T_{ad} I_{no,d}}{I_{no,c} + I_{no,d}} = \frac{0,03 \cdot 3,9 + 0,037 \cdot 0,7}{3,9 + 0,7} \approx 0,03 \text{ с.}$$

Постійна часу періодичної складової електродвигунів

$$T_{no} \approx -\frac{\tau}{\ln \gamma(\tau)} = \frac{-0,065}{\ln 0,71} = 0,19 \text{ с.}$$

Час відключення КЗ

$$t_{відк} = t_{рз} + t_{п.в} = 2 + 0,1 = 2,1 \text{ с.}$$

Тепловий імпульс

$$\begin{aligned} B_{\kappa} &= I_{\text{но.с}}^2 (t_{\text{відк}} + T_{\text{а.сх}}) + I_{\text{но.д}}^2 (0,5T_{\text{но.д}} + T_{\text{а.сх}}) + \\ &\quad + 2I_{\text{но.с}} I_{\text{но.д}} (T_{\text{но.д}} + T_{\text{а.сх}}) = \\ &= 3,9^2 (2,1 + 0,03) + 0,7^2 (0,5 \cdot 0,19 + 0,03) + 2 \cdot 3,9 \cdot 0,7 (0,19 + 0,03) = \\ &= 33,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

3.4. Перевірка вибраних вимикачів і провідників

Відповідно до ГОСТ 687-78 високовольтні вимикачі повинні бути перевірені на комутаційну здатність, на динамічну стійкість, а також на термічну стійкість до дії струмів КЗ. Перевірка комутаційної здатності здійснюється за умовами

$$I_{\text{н.відк}} \geq I_{\text{пр}}; \quad \sqrt{2} I_{\text{н.відк}} \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \right) \geq \sqrt{2} I_{\text{пр}} + i_{\text{ар}},$$

де $I_{\text{н.відк}}$ - номінальний струм відключення вимикача;

$\beta_{\text{н}}$ - нормований процентний вміст аперіодичної складової струму

КЗ;

$I_{\text{пр}}, i_{\text{ар}}$ - відповідно періодична та аперіодична складові струму КЗ на момент початку розходження контактів вимикача, тобто на момент початку розмикання.

Перша умова характеризує здатність до розмикання симетричної складової струму КЗ, а друга - здатність до розмикання повного струму з урахуванням аперіодичної складової струму КЗ.

Нормований процентний вміст аперіодичної складової струму КЗ визначають за графіком, що зображений на рис. 3.4.

$\beta_n, \%$

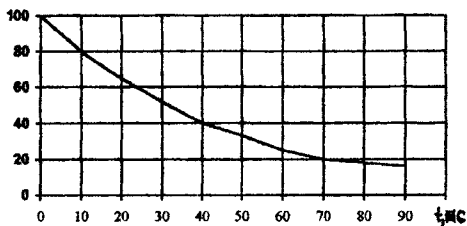


Рис.3.4. Залежність нормованого процентного вмісту аперіодичної складової струму КЗ від розрахункового часу початку розмикання кола вимикачем

Розрахунковий час початку розмикання визначений в п.3.3 ($\tau = t_{р\text{зми}\text{н}} + t_{в.в}$).

Якщо $\tau > 90$ мс, то приймають $\beta_n = 0$ і перевірка вимикача за другою умовою має вигляд

$$\sqrt{2}I_{н.ел\text{ок}} \geq \sqrt{2}I_{н\text{т}} + i_{ат}.$$

Перевірка вимикачів на динамічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюється за умовами

$$i_{дин} \geq i_{уд}; \quad I_{дин} \geq I_{по},$$

де $i_{дин}$, $I_{дин}$ - максимальне миттєве та діюче значення повного струму електродинамічної стійкості, який проходить через вимикач і не пошкоджує його;

$i_{уд}$ - ударний струм КЗ.

Необхідність виконання двох умов пояснюється тим, що відношення струмів $i_{дин}/I_{дин}$ які характеризують динамічну стійкість, встановлене заводами рівним 2,55, а відношення струмів КЗ $i_{уд}/I_{по}$ може бути

більшим або меншим від 2,55. У першому випадку користуються першою, в другому - другою умовою.

Перевірка вимикачів на термічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюється за умовою

$$I_T^2 t_T \geq B_K$$

де I_T - струм термічної стійкості вимикача на протязі часу t_T ;

B_K - розрахункове значення теплового імпульсу.

Переріз вибраних провідників перевіряють на термічну стійкість до дії струмів КЗ за умовою:

$$s \geq s_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} \cdot 10^3,$$

де C_T - термічний коефіцієнт, значення якого приводять звичайно в $A \cdot c^{0,5} / \text{мм}^2$ [12].

Приклад 3.4. Перевірити вибрані вимикачі для ГПП ВВЭ-Ю-20/630 на комутаційну здатність і стійкість до дії струмів КЗ. Перевірити кабельні лінії від ГПП до ТП на термічну стійкість до дії струмів КЗ.

Розв'язання. Умови вибору вимикачів і порівняльні дані приведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2.

Вибір вимикачів ГПП

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.в\text{і}дк} \geq I_{нт}$	$I_{н.в\text{і}дк} = 20 \text{ кА}$	$I_{нт} = I_{нт.с} + I_{нт.д} = 3,9 + 0,5 = 4,4 \text{ кА}$
$\sqrt{2}I_{н.в\text{і}дк} \left(1 + \frac{\beta_K}{100}\right) \geq \sqrt{2}I_{нт} + i_{ар}$	$\sqrt{2}I_{н.в\text{і}дк} \left(1 + \frac{\beta_K}{100}\right) = \sqrt{2} \cdot 20 \left(1 + \frac{21}{100}\right) = 34,2 \text{ кА}$	$\sqrt{2}I_{нт} + i_{ар} = \sqrt{2} \cdot 4,4 + (0,6 + 0,2) = 7,0 \text{ кА}$
$i_{дин} \geq i_{\gamma\delta}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	$i_{\gamma\delta} = i_{\gamma\delta.с} + i_{\gamma\delta.д} = 9,4 + 1,7 = 11,1 \text{ кА}$

Продовження таблиці 3.2.

$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{по}}$	$I_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} = I_{\text{по.с}} + I_{\text{по.д}} = 3,9 + 0,7 = 4,6 \text{ кА}$
$I_m^2 t_m \geq B_k$	$I_m^2 t_m = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 33,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Отже даний тип вимикачів може бути використаний для установки на ГПП.

Перевіримо вибрані кабелі від ГПП до ТП на термічну стійкість до дії струмів КЗ за умовою

$$s \geq s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_m} = \frac{\sqrt{33,7 \cdot 10^3}}{92} = 63 \text{ мм}^2,$$

де $C_m = 92 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$ - для кабелів з алюмінієвими суцільними жилами і паперовою ізоляцією при номінальній напрузі 6 кВ [12].

Отже переріз кабеля до ТПІ необхідно збільшити, наприклад, вибрати кабель ААБ 3×70 або ж зменшити час спрацювання основного захисту на ГПП.

4. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1. Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі

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

Радіальними називають мережі, в яких для передачі електричної енергії до споживача використовується окрема лінія. В радіальних мережах (рис. 4.1) від розподільного щита ТП відходять лінії живлення щитів станцій управління (ЩСУ), первинних розподільних пунктів (РП) і ЕП великої потужності (більше 55 кВт). В свою чергу, від ЩСУ або первинних РП заживлені вторинні РП і ЕП середньої потужності (10.....55 кВт). Від вторинних РП живляться ЕП малої потужності.

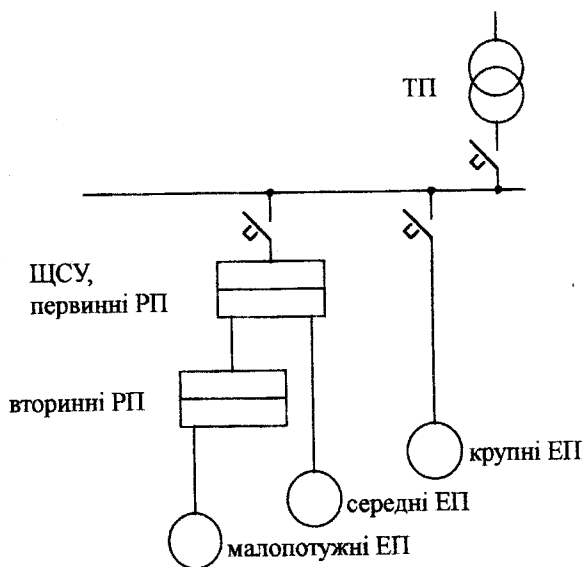


Рис. 4.1. Радіальна схема цехової мережі

В радіальних цехових мережах лінії електропередач виконують кабелями. Відгалуження до окремих ЕП можуть виконуватися кабелями або проводами. При відсутності небезпеки механічних пошкоджень рекомендується відкрите прокладання ізольованих проводів і неброньованих кабелів. При наявності небезпеки механічних пошкоджень повинні застосовуватися броньовані кабелі або ж передбачається захист від механічних пошкоджень (прокладання проводів в трубах). При прокладанні всередині приміщень броньовані кабелі не повинні мати поверх броні, а неброньовані - поверх металічних оболонки захисних покриттів з горючих матеріалів.

Вибір способу прокладання провідників виконується у відповідності з ПУЕ [11].

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

Магістральними називають мережі, в яких для передачі електроенергії до декількох споживачів використовується одна лінія електропередачі (рис. 4.2). Широкого поширення набули магістральні цехові мережі, виконані комплекtnими шинопроводами [10]. Їх застосування дозволяє відмовитися від великої кількості кабельних ліній.

Комплекtnі магістральні шинопроводи (ШМ) призначені для передачі електроенергії від ТП до розподільних шинопроводів (ШР) або щитів станцій управління (ЩСУ).

Розподільні шинопроводи (ШР) призначені для приєднання великого числа окремих ЕП. В комплект розподільних шинопроводів входять коробки з захисною і комутаційною апаратурою (рубильники з запобіжниками або автоматичні вимикачі).

Основними перевагами шинопроводів є:

- 1) високий ступінь індустріалізації електромонтажних робіт;

- 2) зручність виконання відгалужень;
- 3) легкий доступ для обслуговування;
- 4) відповідність вимогам технічної естетики;
- 5) достатня надійність;
- 6) універсальність і гнучкість (здатність до приєднання нових навантажень без посилення струмоведучих елементів);
- 7) економічність.

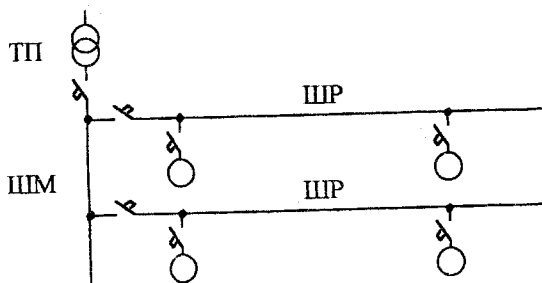


Рис 4.2. Схема магістральної цехової мережі.

Вирішальний вплив на вибір схеми конструктивного виконання має стан оточуючого середовища. Рекомендована ступінь захисту електрообладнання в виробничих приміщеннях: нормальних, жарких і вологих - IP 20; запилених - IP 40; сирих - IP 44; особливо сирих і з хімічно-активним середовищем - IP 54.

Виконання комплектних магістральних шинопроводів IP 20 (ШЗМ-16-IP 31). Виконання розподільних шинопроводів IP 31. Отже шинопровідні мережі не можуть застосовуватися в запилених, сирих, особливо сирих приміщеннях, а також в приміщеннях з хімічно-активним середовищем.

Розподільні пункти, наприклад, ПР 8501-1000 мають два виконання: IP 21 та IP 54. Розподільні пункти з ступенем захисту IP-54 можуть бути встановлені в усіх вище перелічених випадках.

Найбільш складною є задача проектування цехових мереж в вибухонебезпечних приміщеннях, для яких використовується спеціальне вибухозахищене обладнання.

Приклад 4.1. Вибрати схему і конструктивне виконання електричної мережі механічного цеху, план якого зображено на рис. 4.3. Приміщення з нормальним середовищем.

Розв'язування. На основі аналізу розміщення технологічного обладнання вибрана змішана схема цехової мережі (рис. 1.1). Від цехової ТП, розміщеної безпосередньо в виробничому приміщенні, заживлені по кабельних лініях два розподільних шинопроводи, розподільний пункт і крупні насоси ($P_n = 150$ кВт), що установлені в насосній станції, приміщення якої примикає до будівлі механічного цеху. Від ТП передбачено також живлення освітлювального навантаження.

Передбачається використання комплектних розподільних шинопроводів типу ШРА-73 (ступінь захисту IP 31), розподільний пункт типу ПР 8501 (з ступенем захисту IP 21).

Кабелі від ТП до шинопроводів М1 та М2 і до насосів прокладаються відкрито на конструкціях (лотках). Кабель від ТП до РП прокладається відкрито з кріпленням при допомозі скоб. Під'єднання ЕП до шинопроводів і розподільного пункту здійснюється проводом, прокладеним в трубах.

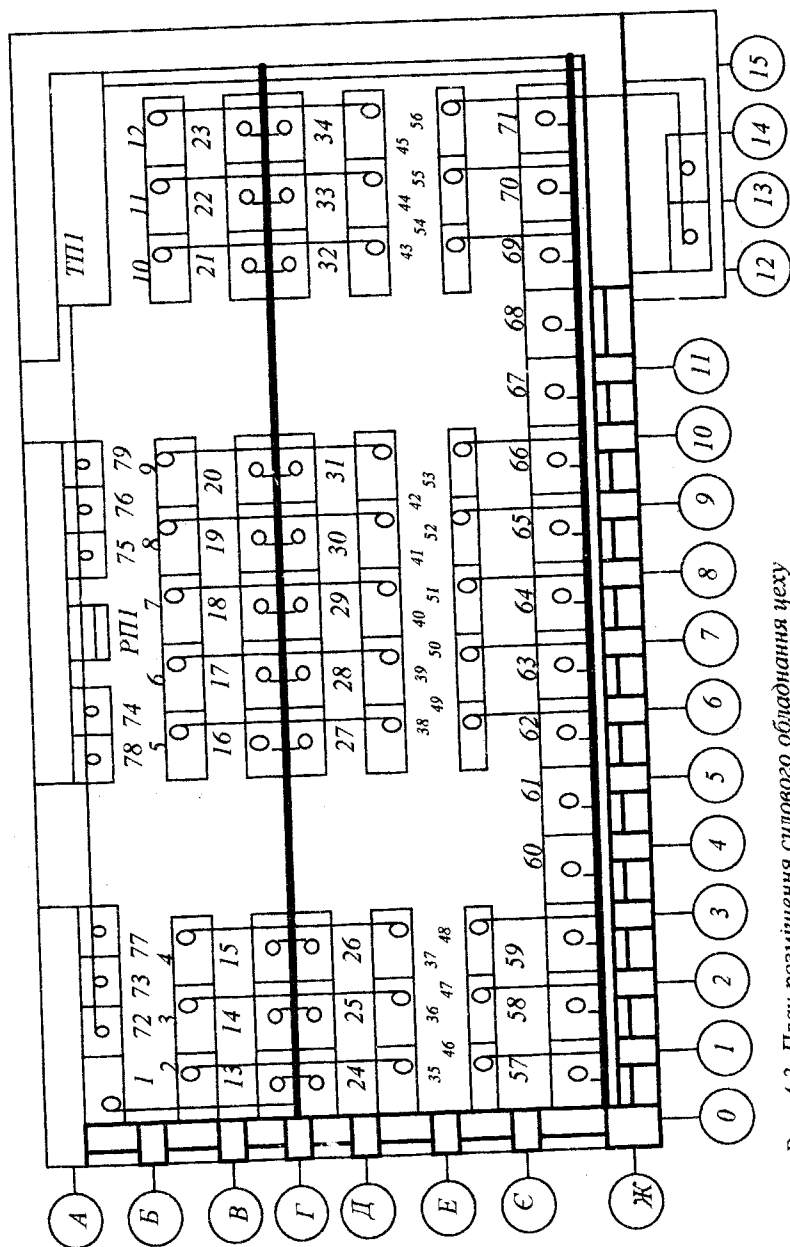


Рис. 4.3. План розміщення силового обладнання цеху

4.2. Вибір комутаційно-захисної апаратури і провідників

Самими простими захисними апаратами є запобіжники. Вибір запобіжників і їх вставок здійснюється за умовами:

$$I_{н.вст} \geq k_{відс} I_{н.},$$

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_{н.}}{k_{пер}},$$

$$I_{н.відс} \geq I_{к.мах}^{(3)},$$

де $I_{н.вст}$ - номінальний струм вставки запобіжника;

$I_{н.відс}$ - номінальний струм відключення КЗ запобіжника;

$k_{відс.}$ - коефіцієнт відстройки ($k_{відс.} = 1,1 \dots 1,25$);

$I_{к.мах}^{(3)}$ - струм трифазного металічного КЗ;

$k_{пер}$ - коефіцієнт перевантаження ($k_{пер}$ приймають рівним 2,5 - при легких пусках; 1,6...2,0 - при важких і частих пусках; 1,6 - для відповідальних механізмів; 0,8...1,0 - для електродвигунів з фазним ротором [14]).

Більш досконалими комутаційно-захисними апаратами є автоматичні вимикачі. Вибір автоматичних вимикачів зводиться до виконання таких умов

$$I_{розч} \geq k_{відс} I_{н.},$$

$$I_{н.відс} \geq I_{к.мах}^{(3)},$$

де $I_{розч}$ - номінальний струм розчеплювача.

Значення $k_{відс}$ автоматичних вимикачів визначається з умов надійності відстройки захисту від перевантажень і його неспрацювання (повернення) при (після) пуску або самозапуску.

Струмова відсічка автоматичного вимикача повинна бути відстроена від пікового (пускового) струму:

$$I_{c.v} \geq k_n I_{п.}$$

де $I_{c.v}$ - струм спрацювання відсічки;

k_n - коефіцієнт надійності відстройки струмової відсічки.

Значення $k_{н.дс}$ і k_n для різних типів вимикачів приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Розрахункові коефіцієнти автоматичних вимикачів

Тип автомата	Розчеплювач		$k_{відс}$	k_n
ВА, АЗ700, АП50, АЗ110	комбінований		1	2,1
ВА, АЗ700, АЗ790	напівпровідниковий		1,1...1,6	1,5
"Електрон"	напівпро- відниковий	РМТ	1,27	1,6
		МТЗ-1	1	2,2
А В М	електромагнітний		1,2	1,8
АЗ120 -АЗ140	комбінований		1	1,9

При виборі вимикачів перевагу слід віддавати вимикачам серії ВА. В табл. 4.2 приведена комплектність розподільних пристроїв низької напруги КТП Хмельницького заводу комплектних трансформаторних підстанцій.

Таблиця 4.2.

Комплектність розподільних пристроїв КТП

Тип підстанції	КТП-400	КТП-630	КТП-1000
Тип ввідної шафи	ШНВ-1	ШНВ-2	ШНВ-3
Ввідний вимикач	ВА55-39	ВА55-41	ВА55-43
Лінійні вимикачі	ВА52-35-2шт ВА51-35-1шт	ВА53-39-2шт (ВА55-39)	ВА53-39-2шт (ВА55-39)
Тип лінійної шафи	ШНЛ-1	ШНЛ-3	ШНЛ-4
Лінійні вимикачі	ВА52-35-3шт ВА51-35-2шт	ВА52-39-5шт (ВА51-39)	ВА51-39-5шт (ВА53-39, ВА55-39)

В табл.4.3 приведена номенклатура розподільних пунктів ПР 8501-1000 $I_{ном} = 630A$ [13]. В [3] наведені дані для розподільних пунктів СП62 і ШРС.

Таблиця 4.3.

Комплектування ПР 8501-1000 (630 А)

Номера схем шаф				Число відхідних ліній	
3 рубильн иком на вводі	з ввідним вимикачем			ВА 51-31 16-100 А	ВА 51-35 100-250 А
	ВА 51-39	ВА 55-39	ВА 56-39		
149	090	115	140	6	-
150	091	116	141	8	-
151	092	117	142	10	-
152	093	118	143	12	-
153	094	119	144	-	4
154	095	120	145	2	2
155	096	121	146	4	2
156	097	122	147	6	2
157	098	123	148	8	2

Розподільні пункти з вимикачами на вводі ВА 51-39, ВА 55-39 слід застосовувати лише при відсутності на початку лінії живлення вимикача з захистом, наприклад, при глухій відпайці від магістрального шинопроводу. В інших випадках рекомендується використовувати розподільні пункти з рубильниками на вводі.

Переріз провідників в мережах до 1000 В вибирають за допустимим нагрівом

$$I_{\text{доп}} \geq \begin{cases} I_M - \text{для нормальних приміщень;} \\ 1,25I_M - \text{для вибухонебезпечних приміщень.} \end{cases}$$

Тривало допустимий струм для даного типу провідника, перерізу і способу прокладення приведений в [11].

При $T_M > 4000+5000$ год. переріз магістральних кабельних ліній рекомендується вибирати за економічною густиною струму [11]. Комплектні шинопроводи вибирають за умовою

$$I_{\text{ном.ш}} \geq I_M,$$

де $I_{\text{ном.ш}}$ - номінальний струм шинопроводу.

Вибрані провідники перевіряють на допустиму втрату напруги. Перевірка може виконуватися вибірково. В нормальному режимі переріз і довжина провідників повинні забезпечувати відхилення напруги на застискачах ЕП, що не перевищує 5%.

Розрахунок втрат напруги виконують за формулою

$$\Delta U = \sqrt{3} I_M (R_{\text{штг}} \cos \varphi + X_{\text{штг}} \sin \varphi) l = \frac{P_M R_{\text{штг}} + Q_M X_{\text{штг}}}{U_{\text{ном}}} \cdot l,$$

де $R_{\text{штг}}$, $X_{\text{штг}}$ - погонні опори ліній (п.4.3).

При виборі провідників мереж, які вимагають захисту від перевантажень, повинні бути виконані умови забезпечення захищеності ліній (табл.4.4).

Захисту від перевантажень вимагають [11]:

1) мережі всередині приміщень, що виконані прокладеними відкрито провідниками з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією;

2) освітлювальні мережі незалежно від конструкції і способу прокладення в жилих, громадських, торгових, службово-побутових приміщеннях, а також в пожежонебезпечних приміщеннях;

3) силові мережі, якщо можливим є тривале перевантаження провідників;

4) силові і освітлювальні мережі в вибухонебезпечних приміщеннях (крім В-1,б; В-1,г).

Таблиця 4.4.

Умови забезпечення захищеності провідників від перевантажень

Захисний апарат	Мережі, що вимагають захисту від перевантажень		Мережі, що не вимагають захисту від перевантажень (з умови чутливості захисту від КЗ)
	з горючою ізоляцією полівінілхлоридна, поліетиленова, гумова)	з негорючою ізоляцією (паперова, вулканізований поліетилен)	
Запобіжник	$I_{доп} \geq 1,25I_{н.вст}$	$I_{доп} \geq I_{н.вст}$	$I_{доп} \geq \frac{I_{н.вст}}{3}$
Вимикачі з комбінованим розчеплювачем	$I_{доп} \geq I_{н.розч}$	$I_{доп} \geq I_{н.розч}$	$I_{доп} \geq I_{н.розч}$
Вимикачі з напівпровідниковим розчеплювачем	$I_{доп} \geq 1,25I_{н.розч}$	$I_{доп} \geq I_{н.розч}$	$I_{доп} \geq I_{н.розч}$
Для вимикачів тільки з електромагнітним розчеплювачем	$I_{доп} \geq 1,25I_{с.ем}$	$I_{доп} \geq I_{с.ем}$	$I_{доп} \geq \frac{I_{с.ем}}{4,5}$

Приклад 4.2. Вибрати комутаційно-захисну апаратуру і провідники цехової мережі.

Розв'язування. Спочатку вибираємо комутаційно-захисну апаратуру лінії від ТП1 до шинопроводів і розподільного пункту. Для захисту цих ліній передбачаємо використання селективних вимикачів ВА55.

Лінія ТП1-М1. Розрахунковий максимальний струм:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{113 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 172 \text{ A},$$

де $S_M = 113 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ (табл. 1.2) - розрахункова максимальна потужність.

Найбільший пусковий струм

$$I_{п.макс} = 5I_{н.макс} = 5 \cdot 19 = 95 \text{ A},$$

де $I_{н.макс}$ - номінальний струм ЕП, пусковий струм якого найбільший

$$I_{н.макс} = \frac{P_{н.макс}}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \phi_n} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 19 \text{ A}.$$

Піковий струм лінії ТП1-М1 (п. 1.1)

$$I_n \approx I_M + I_{п.макс} = 172 + 95 = 267 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА55-39 з номінальним струмом $I_{ном.в} = 250 \text{ A}$ і номінальним струмом розчеплювача

$$I_{н.розч} = 200 \text{ A} > k_{відс} I_M = 1,1 \cdot 172 = 189 \text{ A}.$$

Струм спрацювання відсічки

$$I_{с.в} = 600 \text{ A} > k_n I_n = 1,5 \cdot 267 = 401 \text{ A}.$$

Вибираємо найменший час спрацювання відсічки $t_{с.в} = 0,1 \text{ с}$. Для ВА55-39 струм спрацювання миттєвого розчеплювача 25 А.

Вибираємо кабель типу АВВГ $3 \times 185 + 1 \times 70$ (прокладення відкрите, кріплення за допомогою скоб) $I_{дон} = 0,92 \cdot 270 = 248 \text{ A}$ [11] приблизно

дорівнює $1,25I_{н.розч} = 1,25 \cdot 200 = 250$ А, що є припустимим при перевірці захищеності лінії.

Результати розрахунків приведені в табл. 4.5.

Перевіримо вибрані перерізи за допустимими втратами напруги, наприклад, на затискачах нагрівальної печі (ЕП77). Втрати напруги в лінії ТП1-РП1:

$$\Delta U_1 = I \frac{P_M R_{\text{тип}} + Q_M X_{\text{тип}}}{U_{\text{ном}}} = 40 \cdot \frac{96 \cdot 0,208 + 31 \cdot 0,063}{380} = 2,3 \text{ В.}$$

Втрати напруги в лінії РП1-ЕП77:

$$\Delta U_2 = I \frac{P_M R_{\text{тип}} + Q_M X_{\text{тип}}}{U_{\text{ном}}} = 35 \cdot \frac{30 \cdot 2,40}{380} = 6,6 \text{ В.}$$

Таким чином загальні втрати напруги складають

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 2,3 + 6,6 = 8,3 \text{ В,}$$

що менше від допустимого значення 5% (19 В).

Таблиця 4.5.

Вибір комутаційно-захисної апаратури і провідників цехової мережі

Лінія	$I_{\text{нб}}$ А	$I_{\text{н}}$ А	Тип захисного апарата	$I_{\text{ном.в}}$ ($I_{\text{ном.з}}$) А	$I_{\text{н.розч}}$ ($I_{\text{н.ест}}$) А	$I_{\text{с.в}}$ А	$I_{\text{н.в.в.к}}$ кА	Тип провідника	Спосіб прокладання	S , мм ²	$I_{\text{доп}}$ А	l , м
ТП1 - М1	172	267	ВА55-39	250	200	600	47,5	АВВГ	відкрито	$3 \times 185 + 1 \times 70$	248	20
ТП2 - М2	254	634	-«-	400	320	1600	-«-	-«-	-«-	$3 \times 150 + 1 \times 70$	432	45
ТП1 - РП1	153	295	-«-	250	200	600	-«-	-«-	-«-	2шт $3 \times 185 + 1 \times 70$	248	40
ТП1 - ЕП 80,81	285	1425	ВА53-39	400	320	2240	-«-	-«-	-«-	$3 \times 150 + 1 \times 70$	432	70
М1 - ЕП1	19	95	ПН 2-100	100	40	-	100	АПВ	в трубах	2шт $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5$	19	25
РП1-ЕП 73÷76	28	142	ВА51-31	100	31,5	315	6	АПВ	в трубах	$3 \times 6 + 1 \times 4$	30	40
РП1-ЕП 77÷79	46	46	-«-	100	50	150	-«-	-«-	в трубах	$3 \times 16 + 1 \times 10$	55	35

4.3. Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Розрахунок струмів КЗ виконується з метою перевірки вибраних захисних апаратів за умовою комутаційної здатності

$$I_{н.відк} \geq I_{к.макс}^3,$$

де $I_{к.макс}^3$ - струм трифазного металічного КЗ в максимальному режимі. У випадку, якщо не вдається вибрати захисні апарати за цією умовою, то допускається їх вибір за середнім струмом трифазного КЗ

$$I_{н.відк} \geq I_{к.сеп}^3 = \frac{I_{к.макс}^3 + I_{KR}^{(3)}}{2},$$

де $I_{KR}^{(3)}$ - струм трифазного КЗ з врахуванням струмообмежуючої дії дуги.

Практика експлуатації показує, що доцільно виконувати перевірку термічної стійкості кабелів напругою до 1000 В [14], хоча згідно з ПУЕ [11] така перевірка не вимагається. Умова термічної стійкості провідників

$$s \geq s_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_m} \cdot 1000 \approx \frac{I_{к.макс}^{(3)} \sqrt{t_{відк}}}{C_m} \cdot 1000,$$

де $I_{к.макс}^3$ - струм трифазного КЗ в кА;

$t_{відк}$ - час відключення КЗ ($t_{відк} = t_{с.в} + t_d + T_a$, тут t_d - час загасання дуги; $t_{с.в}$ - витримка часу спрацювання відсічки; T_a - постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ). Час гасіння дуги для автоматів ВА, АЗ700 $t_d = 0,01$ с. Усереднене значення постійної часу $T_a = 0,03$ с. Значення C_m низьковольтних кабелів вибирають рівним C_m для аналогічних високовольтних кабелів [14].

Згідно з [15] значення струму при металічному трифазному КЗ в мережах до 1000 В визначають за формулою

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{1,05U_{ном}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}},$$

де Z_{Σ} - загальний повний опір елементів цехової мережі до точки КЗ. При визначенні повного опору враховуються активні і індуктивні опори елементів. В табл. 4.6. приведені значення активних і індуктивних опорів трансформаторів, а в табл. 4.7 і 4.8 - кабельних ліній і шинопроводів.

Таблиця 4.6.

Опори понижувальних трансформаторів 10(6) 0,4кВ, мОм [1]

З'єднання обмоток	$S_{ном}$, кВ·А	U_k , %	R_m	X_m	R_{om}	X_{om}	$Z_m^{(4)}$
Y/ Y ₀	100	4,5	31,5	65	254	582	779
	160	4,5	16,6	41,7	151	367	486
	250	4,5	9,4	27,2	96,5	235	311
	400	4,5	5,5	17,1	55,6	149	195
	630	5,5	3,1	13,6	30,2	95,8	128
	1000	5,5	1,7	8,6	19,6	60,6	81
	1600	5,5	1	5,4	16,3	50,0	63,5
Δ/ Y ₀	160	4,5	16,6	41,7	135	16,6	41,7
	250	4,5	9,4	27,2	86,3	9,4	27,2
	400	4,5	5,9	17	54	5,9	17
	630	5,5	3,4	13,5	42	3,4	13,5
	1000	5,5	1,9	8,6	26,4	1,9	8,6

	1600	5,5	1,1	5,4	16,5	1,1	5,4
	2500	5,5	0,64	3,46	10,56	0,64	3,46

Таблиця 4.7.

Питомі опори кабелів з алюмінієвими жилами, мОм/м

Переріз жил, мм ²	R _{жит}	X _{жит}	Z _{ф-н}
3×4 + 1×2,5	9,610	0,098	24,08
3×6 + 1×4	6,410	0,094	15,43
3×10 + 1×6	3,840	0,088	9,88
3×16 + 1×10	2,400	0,084	5,92
3×25 + 1×16	1,540	0,072	3,70
3×35 + 1×16	1,100	0,068	3,35
3×50 + 1×25	0,769	0,066	2,22
3×70 + 1×35	0,549	0,065	1,59
3×95 + 1×90	0,405	0,064	1,13
3×120+1×50	0,320	0,064	1,05
3×150 + 1×70	0,256	0,063	0,82
3×185 + 1×70	0,208	0,063	0,73

Таблиця 4.8

Питомі опори шинопроводів, мОм/м

Тип шинопроводу	I _{ном.ш.} , А	R _ш	X _ш	Z _{ф-н}
ШМА 68П	4000	0,013	0,015	0,103
««	2500	0,02	0,02	0,112
ШМА 73(16)	1600	0,031	0,022	0,160
ШМА4	3200	0,015	0,007	0,053
««	2500	0,017	0,008	0,082
««	1600	0,03	0,014	0,087
««	1250	0,034	0,016	0,086

ШЗМ 16	1600	0,014	0,006	0,07
ШРА73	630	0,1	0,13	0,33
-«-	400	0,15	0,17	0,38
-«-	250	0,21	0,21	0,59
ШРА 4	630	0,1	0,13	-
-«-	400	0,15	0,17	-
-«-	290	0,21	0,21	-

Врахування підживлення місця КЗ електродвигунами здійснюється підсумовуванням струмів КЗ від заводської мережі і струму, зумовленого гальмуванням електродвигунів. Початкове значення струмів КЗ від електродвигунів визначається з виразу

$$I_{к.д}^{(3)} = 0,9I_{пуск},$$

де $I_{пуск}$ - пусковий струм всіх електродвигунів, що гальмуються. Однак пусковий струм електродвигунів, як правило, невідомий. Тому навантаження трансформатора розглядається як узагальнене з $E' = 0,8$ і $X_* = 0,35$. З цього випливає вираз для визначення струму КЗ, зумовленого гальмуванням електродвигунів

$$I_{к.д}^{(3)} \approx 2,29I_{ном.т},$$

де $I_{ном.т}$ - номінальний струм трансформатора.

Підживлення від електродвигунів потрібно враховувати тільки при виборі апаратури на основному щиті ТП і не слід враховувати при виборі апаратури на РП [11].

При визначенні струму КЗ з врахуванням струмообмежуючої дії дуги в місці пошкодження в схему заміщення вводять перехідний активний опір

$$I_{KR}^{(3)} = \frac{1,05U_{ном}}{\sqrt{3}\sqrt{(R_{\Sigma} + R_n)^2 + X_{\Sigma}^2}}$$

В зв'язку з невизначенністю в СН 355-77 рекомендовано в розрахунок струмів КЗ вводити такі значення активних перехідних опорів: 0,015 Ом - для розподільних щитів підстанцій (К1); 0,020 Ом - для головних (первинних) цехових розподільних щитів, для електроприймачів, які живляться безпосередньо від ТП (К2); 0,025 Ом - для вторинних цехових розподільних пунктів і на затискачах електроприймачів, які живляться від первинних розподільних щитів або пунктів (К3); 0,030 Ом - для електроприймачів, які живляться від вторинних розподільних пунктів (К4). В [16] значення перехідних опорів уточнено (табл.4.9).

Таблиця 4.9.

Значення перехідних опорів, мОм

S _{ном.т.} , кВ·А	К-1	К—2	К-3	К-4
400	9,2	2,9/4,0	4,8/7,6	10,9/12,7
630	7,0	2,6/3,4	4,1/6,7	8,8/13,5
1600	8,8	2,7/3,8	12,0/16,0	4,5/5,3
1000	6,4	4,1/5,9	18,4/22,4	7,1/7,8
2500	15,4	1,9/3,0	6,9/9,3	3,6/4,6

В чисельнику приведені значення опорів при магістральній схемі, в знаменнику - при радіальній.

Для перевірки чутливості захисту повинні бути визначені струми однофазного КЗ $I_{\kappa}^{(1)}, I_{KR}^{(1)}$.

Розрахунок струмів однофазного КЗ може бути виконаний за спрощеною формулою

$$I_{\kappa}^{(1)} \approx \frac{U_{\phi \text{ ном}}}{\frac{Z_m^{(1)}}{3} + Z_{\phi-n} \cdot l},$$

де $U_{\phi \text{ ном}}$ - номінальна фазна напруга;

$Z_m^{(1)}$ - повний опір силового трансформатора струмам однофазного КЗ;

$Z_{\phi-n}$ - погонний опір петлі "фаза-нуль";

l - відстань до місця КЗ.

При врахуванні перехідного опору струм однофазного КЗ

$$I_{KR}^{(1)} \approx \frac{U_{\phi \text{ ном}}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-n} \cdot l},$$

де $Z_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{(2R_m + R_{om} + 3R_n)^2 + (2X_m + X_{om})^2}$ - повний опір силового трансформатора струмам однофазного КЗ з врахуванням перехідного опору до точки КЗ;

R_{om}, X_{om} - активний і реактивний опори нульової послідовності трансформатора (табл. 4.6.).

Приклад 4.3. Розрахувати струми КЗ на шинах 0,4 кВ ТП і на РП.

$S_{\text{ном.т}} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. $U_{\kappa} = 5,5\%$. Опори трансформатора ТМ 630/6 кВ: $R_m = 3,4 \text{ МОм}$, $X_m = 13,5 \text{ МОм}$.

Розв'язування. На рис.4.4 зображена розрахункова схема для визначення струмів КЗ.

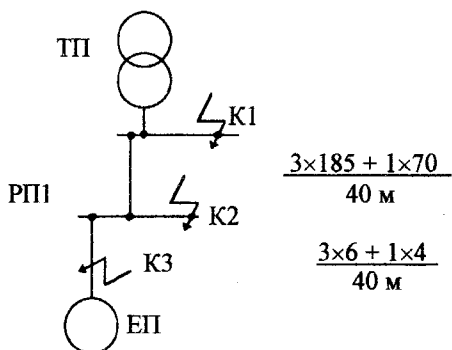


Рис 4.4

Струм трифазного КЗ на шинах ТП від системи

$$I_{к1,c}^{(3)} = \frac{1,05U_{ном}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,4^2 + 13,5^2}} = 16,5 \text{ кА.}$$

Струм КЗ, зумовлений гальмуванням електродвигунів,

$$I_{к1,d}^{(3)} = 2,29 \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3}U_{ном}} = 2,29 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 380} = 2,2 \text{ кА.}$$

Максимальне значення струму КЗ на шинах ТП

$$I_{к1}^{(3)} = I_{к1,c}^{(3)} + I_{к1,d}^{(3)} = 16,5 + 2,2 = 18,7 \text{ кА.}$$

Отже, вимикачі, вибрані для установки на ТП, умовам комутаційної здатності відповідають ($I_{н.відк} = 47,5 \text{ кА}$).

Максимальне значення струму трифазного КЗ на РПІ

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{1,05U_{ном}}{\sqrt{3} \sqrt{(R_m + R_{мин} \cdot l)^2 + (X_m + X_{мин} \cdot l)^2}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(3,4 + 0,208 \cdot 40)^2 + (13,5 + 0,063 \cdot 40)^2}} = 11,6 \text{ кА.}$$

Отже, вимикачі ВА 51-31 з $I_{н.відк} = 6$ кА не задовольняють умову комутаційної здатності

$$I_{н.відк} \geq I_{к.макс}^{(3)} = I_{к2}^{(3)}$$

Перевіримо можливість їх використання за середнім струмом КЗ. Визначимо значення трифазного струму КЗ з врахуванням струмообмежуючої дії дуги

$$I_{кР2}^{(3)} = \frac{1,05U_{ном}}{\sqrt{3} \sqrt{(R_m + R_n + R_{мин} \cdot I)^2 + (X_m + X_{мин} \cdot I)^2}} = \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(3,4 + 3,4 + 0,208 \cdot 40)^2 + (13,5 + 0,063 \cdot 40)^2}} = 10,5 \text{ кА}$$

Середнє значення струмів трифазного КЗ в точці К2

$$I_{к.ср2}^{(3)} = \frac{I_{к2}^{(3)} + I_{кР2}^{(3)}}{2} = \frac{11,6 + 10,5}{2} \approx 11,1 \text{ кА}$$

Таким чином, і за середнім значенням струму КЗ вимикачі ВА 51-31 з $I_{н.відк} = 6$ кА не проходять. Вони мають бути замінені. Вибирасмо автоматичні вимикачі ВА 52-31 з $I_{н.відк} = 16$ кА ($I_{н.розч} = 31,5$ А) і $I_{н.відк} = 20$ кА ($I_{н.розч} = 50$ А).

Перевіримо термічну стійкість кабелів до дії струмів КЗ. Мінімальний переріз кабельних ліній

$$s_{мин} = \frac{I_{к1}^{(3)} \sqrt{t_{відк}}}{C_m} \cdot 1000 = \frac{18,7 \sqrt{0,14}}{75} \cdot 1000 = 93 \text{ мм}^2,$$

де $t_{відк} = t_{с.в} + t_d + T_a = 0,1 + 0,01 + 0,03 = 0,14$ с;

$C_m = 75$ - для кабелів з полівінілхлоридною ізоляцією 6 кВ [12]. Отже, вибрані кабелі умові термічної стійкості задовольняють.

Розрахуємо струм однофазного КЗ на кінці лінії ТП-РП1

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{U_{ф.ном}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-n} \cdot I} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 0,73 \cdot 40} = 5,09 \text{ кА}$$

Струм однофазного КЗ в цій точці з врахуванням перехідного опору

$$I_{KR2}^{(1)} = \frac{U_{\phi, ном}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-n} \cdot I} = \frac{220}{\frac{42,7}{3} + 0,73 \cdot 40} = 5,07 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{(2R_m + R_{ом} + 3R_n)^2 + (2X_m + X_{ом})^2} = \\ = \sqrt{(2 \cdot 3,4 + 3,4 + 3 \cdot 3,4)^2 + (3 \cdot 13,5)^2} = 42,7 \text{ МОм}.$$

Струм однофазного КЗ на затискачах ЕП 73

$$I_{\kappa.3}^{(1)} = \frac{U_{\phi, ном}}{\frac{Z_m^{(1)}}{3} + Z_{\phi-n} \cdot I} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 0,73 \cdot 40 + 15,43 \cdot 40} = 0,333 \text{ кА}.$$

Врахування перехідного опору практично не змінює результат

$$I_{\kappa.3}^{(1)} = 0,333 \text{ кА}.$$

4.4. Перевірка чутливості і селективності захисту цехових мереж

Перевірка чутливості запобіжників виконується за умовою

$$I_{н.вст} \leq I_{\kappa, \min}^{(1)} / k_{\kappa},$$

де k_{κ} - коефіцієнт чутливості;

$I_{\kappa, \min}^{(1)}$ - струм однофазного КЗ в кінці лінії, що захищається. Значення k_{κ} залежить від характеру приміщення (табл. 4.10).

В табл. 4.10. приведені також умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів.

Для мереж, які повинні бути захищеними тільки від КЗ допускається спрощення умов перевірки чутливості (табл. 4.4).

Умови перевірки чутливості захисних апаратів
до дії струмів КЗ

Захисний апарат	Нормальні приміщення	Вибухонебезпечні приміщення
Запобіжник	$I_{н.вст} \leq \frac{I_{к.min}^{(1)}}{3}$	$I_{н.вст} \leq \frac{I_{к.min}^{(2)}}{4}$
автоматичні вимикачі з тепловим або напівпровідниковим розчеплювачами	$I_{н.розч} \leq \frac{I_{н.min}^{(1)}}{3}$	$I_{н.розч} \leq \frac{I_{н.min}^{(1)}}{6}$
автоматичні вимикачі тільки з електромагнітним розчеплювачем	$I_{с.ам} \leq \begin{cases} I_{к.min}^{(1)} / 1,4 & \text{при } I_{ном.в} \leq 100 \text{ А,} \\ I_{к.min}^{(1)} / 1,25 & \text{при } I_{ном.в} > 100 \text{ А} \end{cases}$	

Забезпечення селективності дії захисту досягається правильним вибором уставок струмової відсічки автоматичних вимикачів суміжних ступенів (рис 4.5.)

$$I_{с.в1} > (1,3+1,5)I_{с.в2},$$

$$t_{с.в1} = t_{с.в2} + \Delta t,$$

де $I_{с.в1}$, $I_{с.в2}$ - значення струмів спрацювання відсічки відповідно вищого і нижчого ступенів;

$t_{с.в1}$, $t_{с.в2}$ - час спрацювання відсічки вищого і нижчого ступенів;

Δt - ступінь селективності ($\Delta t = 0,1$ с - ВА 55, ВА 75; $\Delta t = 0,15$ с - АЗ790С; $\Delta t = 0,25$ с - "Електрон").

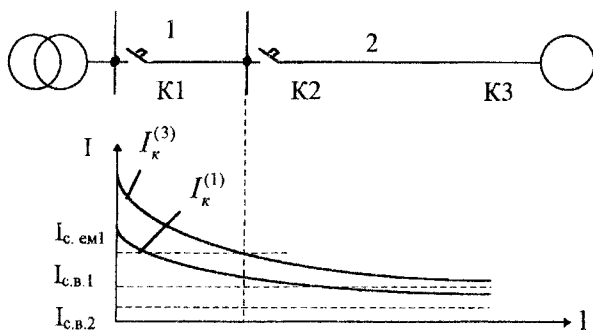


Рис. 4.5. Вибір струму спрацювання відсічки з умови селективності

Якщо автоматичний вимикач вищого ступеня оснащений також миттєвим (електромагнітним) розчеплювачем, то

$$I_{c.ем1} > I_{к.зояв\ max}^{(3)} = I_{к2}^{(3)}$$

де $I_{c.ем}$ - струм спрацювання електромагнітного розчеплювача;

$I_{к.зояв\ max}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного КЗ, який виникає в зоні дії вимикача нижчого ступеня.

Для детального аналізу селективності дії захисту в мережах напругою до 1000 В застосовується карта селективності захисту (рис. 4.6). Карта селективності будується в логарифмічному масштабі: по осі абсцис відкладають значення струмів, а по осі ординат - час.

На карті селективності будуються захисні характеристики вимикачів (запобіжників), відкладають номінальні, пускові струми та струми КЗ.

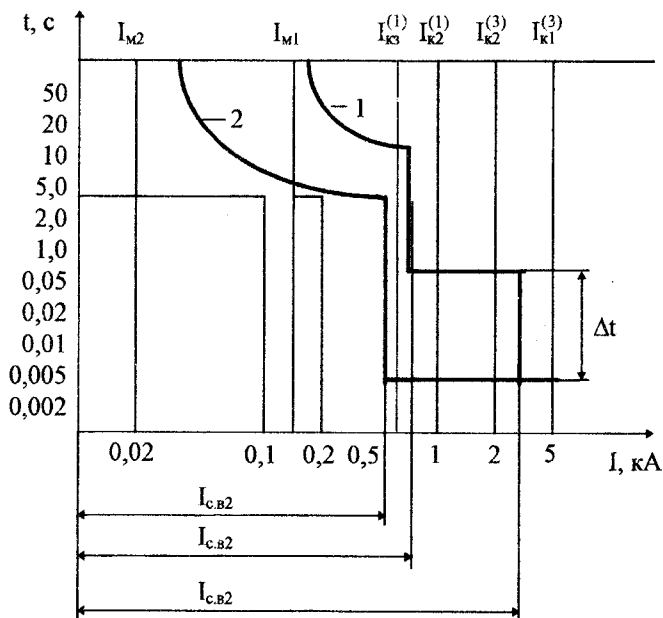


Рис. 4.6. Карта селективності захисту

Приклад 4.4. Перевірити чутливість і селективність захисту цехової мережі (лінії ТП-РП1-ЕП73).

Розв'язування. Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-РП1:

$$I_{н.розч} = 200 \text{ A} < \frac{I_{K2}^{(1)}}{3} = \frac{5070}{3} = 1690 \text{ A.}$$

Перевіримо чутливість захисту лінії РП1-ЕП73:

$$I_{н.розч} = 31,5 \text{ A} < \frac{I_{K3}^{(1)}}{3} = \frac{333}{3} = 111 \text{ A.}$$

Перевіримо селективність дії захисту

$$I_{c.в2} = 600 \text{ A} > 1,5 I_{c.в1} = 1,5 \cdot 315 = 472 \text{ A.}$$

Оскільки вимикач вищого ступеня вибрано селективним $t_{c.в} = 0,1 \text{ c}$ (ВА 55-39), то умова селективності по часу теж забезпечується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию /Под ред. А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - Т.1 - 580 с., т.2 - 591 с.
3. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.
4. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектирование и расчет /А.С. Овчаренко и др. - Киев: Техніка, 1985. - 185 с.
5. Жохов Б.Д. Анализ причин завышения расчетных нагрузок и возможной их коррекции//Промышленная энергетика, 1989, № 7. - с. 17-21.
6. Методические указания к выполнению курсового проекта и расчетных работ по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий. Расчет и выбор электрической сети цеха» /М.С. Добжинский и др. - Винница: ВПИ, 1989.
7. Овчаренко А.С., Розинский Д.И. Повышение эффективности электроснабжения промышленных предприятий. - Киев: Техніка, 1989. - 287 с.
8. Неклепаев Б.И., Крючков Й.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
9. Кудрин Б.И., Прокопчик В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. - Минск: Высшая школа, 1988. - 360 с.
10. Овчаренко А.С., Полещук С.И. Токопроводы в электроснабжении промышленных предприятий - Киев: Техніка, 1982. - 160 с.
11. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.

12. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергия, 1980. - 600 с.

13. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования /Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1991.

14. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 176 с.

15. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

16. Вагин Г.Я., Чечков В.А. Расчет токов КЗ в распределительных сетях до 1000 В//Промышленная энергетика, 1985, № 12. с. 25.

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПИТАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1. Функціональні обов'язки

Завдання на курсовий проект видається викладачем - керівником курсового проекту на початку семестру. При обґрунтуванні доцільності розробки студентові надається право вибору власної теми. Пропозиція оформляється заявою на ім'я завідувача кафедри.

Завдання на курсовий проект включає в себе [6]:

- 1) генплан підприємства і відомості про навантаження цехів;
- 2) план силового обладнання цеху і відомість електроприймачів;
- 3) дані про джерело живлення: номінальна напруга, відстань, схема живлення, потужність або струм КЗ;
- 4) інформацію про зміст та обсяг курсового проекту, графік проектування.

Керівник протягом семестру консультує студентів з усіх питань проектування. Згідно з графіком проектування він перевіряє окремі розділи проекту, а також весь проект після його оформлення. При відхиленні від загального графіка проектування керівник допомагає студентові скласти індивідуальний графік і контролює його виконання після

затвердження деканатом.

Студент зобов'язаний згідно з встановленим графіком представляти керівникові результати роботи над курсовим проектом. При наявності зауважень студент повинен зробити відповідні виправлення.

Курсовий проект виконується самостійно. Якщо студент подає на розгляд не самостійно виконаний проект, про що, зокрема, свідчить його некомпетентність у рішеннях та матеріалах проекту, то проект до захисту не допускається (на підставі рішення кафедри).

Захист курсових проектів проводиться в комісії, склад якої затверджується на засіданні кафедри. До захисту допускаються курсові проекти, які були представлені для перевірки в установлений термін (за 3-5 днів до його захисту), допущені до захисту керівником і які пройшли нормоконтроль.

В процесі захисту студенту необхідно привести обґрунтування отриманих результатів і прийнятих рішень на протязі 5-7 хвилин і відповісти на поставлені запитання.

2. Зміст курсового проекту

Курсовий проект складається з пояснювальної записки (обсягом приблизно 30-40 сторінок) і графічної частини.

Пояснювальна записка повинна містити:

- титульний лист з підписами керівника та нормоконтролера,
- завдання на курсовий проект, затверджене керівником,
- анотацію до проекту,

- вступ,
- технічне завдання, розроблене студентом у взаємодії з керівником проекту,
- основну частину проекту,
- індивідуальну частину проекту,
- висновки,
- список використаної літератури,
- додатки.

У вступі подається коротка характеристика сучасного стану в області проектування систем електропостачання.

В технічному завданні конкретизується комплекс технічних, експлуатаційних та інших вимог до об'єкта проектування. Зокрема, на основі аналізу технологічного процесу визначається необхідний рівень надійності електропостачання, вимоги до конструктивного виконання заводської і цехової мереж, визначаються об'єми досліджень і комп'ютерного моделювання, які виконуються в рамках індивідуального завдання.

Зміст основної частини курсового проекту:

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1. Розрахунок електричних навантажень цехових мереж

1.2. Розрахунок навантажень підприємства

2. ВИБІР І РОЗМІЩЕННЯ ПІДСТАНЦІЙ

2.1. Розрахунок потужності трансформаторів ГПП

2.2. Вибір трансформаторів ГПП за економічними показниками

2.3. Вибір цехових ТП

2.4. Вибір місць для розміщення підстанцій

3. РОЗРАХУНОК ЗАВОДСЬКОГО

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1. Вибір схеми електропостачання

3.2. Вибір високовольних вимикачів і перерізу провідників

3.3. Розрахунок струмів КЗ

3.4. Перевірка вибраних вимикачів і провідників

4. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОГО

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1. Вибір схеми і конструктивного виконання цехової мережі

4.2. Вибір комутаційно-захисної апаратури і провідників

4.3. Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000

В

4.4. Перевірка чутливості і селективності захисту цехових мереж

В індивідуальній частині проекту представляються розроблені моделі, алгоритми та програми, призначені, наприклад, для дослідження втрат потужності і енергії, визначення рівнів напруги, розрахунку електричних навантажень, оптимізації режимів електроспоживання та інші.

Графічна частина виконується на двох-трьох аркушах формату А1. Кожен з аркушів розбивається на два креслення формату А2, на яких зображають:

1. Генплан підприємства;
2. Однолінійну схему електропостачання;
3. План силового обладнання цеху;

4. Розрахунково-монтажну таблицю силової мережі цеху.

Третій аркуш використовується для зображення індивідуального завдання (погоджується з керівником).

3. Основні нормативні вимоги до курсового проекту

При оцінці курсового проекту до уваги береться виконання таких вимог:

1).Варіантний підхід при вирішенні проектних задач і наявність техніко-економічного обґрунтування.

2).Інженерний рівень обґрунтування проектних рішень із аналізом вихідних даних, факторів впливу та результатів розрахунку

3).Глибина проробки основних рішень з використанням елементів аналізу і синтезу.

4).Наявність комп'ютерного моделювання системи електропостачання. Використання ЕОМ, розробка оригінальних програмних засобів.

5).Відповідність і повнота відображення у графічній частині змісту проекту.

6).Оформлення у відповідності до діючих стандартів.

7).Чіткість і логічність доповіді при захисті і правильність відповідей на поставлені запитання.

8).Дотримання графіка виконання курсового проектування.

4. Основні вимоги до оформлення курсового проекту

Пояснювальна записка оформляється у відповідності з діючими стандартами ЄСКД 2.104, 2.105, 2.106 та рекомендаціями ДСТУ 3008 - 95, де встановлені вимоги до оформлення звітів з наукової роботи.

Пояснювальна записка повинна бути написана на аркушах паперу формату А4 (210×297 мм) креслярським шрифтом чорнилом одного кольору (чорним, фіолетовим) або машинописним шрифтом. Пояснювальна записка розпочинається з завдання на проектування, потім розміщується зміст, який включає в себе заголовки всіх розділів і підрозділів. За основною частиною пояснювальної записки розташовується список використаної літератури, який включає в себе список книг, статей, авторських свідоцтв на винаходи, патентів. Список використаної літератури складають в алфавітному порядку або в порядку посилання в тексті і у відповідності з вимогами ГОСТ 7.1-84.

Матеріал записки необхідно викладати чітко і коротко, але без шкоди для якості викладання.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах всієї записки, які позначають арабськими цифрами з крапкою. Вступ і висновки не нумеруються. Кожний розділ записки рекомендується починати з нового аркуша.

Підрозділи нумеруються в межах кожного розділу, наприклад, 3.2. (другий підрозділ третього розділу).

Кількість рисунків в пояснювальній записці повинна бути достатньою для пояснення тексту. Рисунки нумерують в

межах розділу арабськими цифрами. Номер рисунка складається з номеру розділу і порядкового номера рисунка, які розділяються крапкою, наприклад, рис. 2.3. (третій рисунок другого розділу). Рисунки при необхідності можуть мати назву і пояснювальні дані.

Рисунки необхідно виконувати на окремих аркушах формату А4 або (при необхідності) на міліметровому папері. Допускається розташування на одному аркуші двох рисунків з послідовною нумерацією. Рисунки необхідно розташувати так, щоб їх було зручно розглядати без повороту пояснювальної записки або з її поворотом на 90° за годинниковою стрілкою. На всі рисунки без винятку повинні бути посилення в тексті записки. Невеликі рисунки можна розміщати безпосередньо по тексту.

Цифровий матеріал необхідно об'єднувати у вигляді таблиць. Таблиця повинна мати заголовок, який розташовують над таблицею. Над заголовком вказують номер таблиці - Таблиця 2.1 (перша таблиця другого розділу). При переносі частини таблиці на другий аркуш заголовок розташовують лише над першою її частиною. Зверху наступних частин пишуть продовження табл. 2.1.

При проведенні розрахунків після формул приводиться числовий приклад, а результати подальших розрахунків зводяться в таблиці.

В тих випадках, коли розрахунок виконується за формулою, що не вимагає додаткових перетворень, необхідно попередньо обрахувати або вибрати з джерел інформації значення всіх величин, що входять в праву частину формули.

Потім записати формулу в загальному вигляді, підставити значення відомих величин, не порушуючи структуру формули, і записати кінцевий результат з вказівкою одиниці фізичної величини. В формулу слід підставляти значення без їх одиниць. Проміжні обчислення приводити не слід.

Точність обчислень (число значущих цифр) визначається точністю значень величин, що входять в формулу, а також призначенням розрахунку. Слід враховувати, що відносна похибка вимірювання основних аналогових величин становить приблизно 0,1%. Тому в більшості технічних розрахунків достатньо трьох-чотирьох значущих цифр.

Технічні дані автоматичних вимикачів напругою до 1000 В

Таблиця Д.1. Автоматичні вимикачі серії АЗ700 з тепловими і електромагнітними розчеплювачами

Тип	Номінальний струм вимикача, А	Номінальний струм розчеплювача, А	Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача, А	Діюче значення номінального струму відключення, кА
АЗ716 Б	160	32, 25, 20, 16 80, 63, 50, 40 160, 125, 100	630	
	160	63, 50, 40, 32 160, 125, 100, 80	1600	
АЗ726 Б	250	250, 200, 160	2500	
АЗ736 Б	400	400, 320, 250	4000	
АЗ746 Б	630	630, 500, 400	6300	
АЗ712 Б	80	-	250, 400	35
	160	-	630, 1000, 1600	75
АЗ722 Б	250	-	800, 1600, 2000, 2500	75
АЗ732 Б	400	-	1250, 1600, 2500, 3200, 4000	100
АЗ742 Б	630	-	2000, 4000, 5000, 6300	100

Таблиця Д 2 Автоматичні вимикачі серії А3700 з напівпровідниковими розчеплювачами

Тип	Номинальний струм вимикача, А	Номинальний струм розчеплювача, А	Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача, А	Миттєве значення номінального струму відключення, кА
А3714 Б	32	32, 25, 20, 16	1600	14
	40	40, 32, 25, 20	1600	18
	80	80, 63, 50, 40	1600	35
	160	160, 125, 100, 80	1600	75
А3724 Б	160	160, 125, 100, 80	2500	75
	250	250, 200, 160	2500	75
А3734 Б	250	250, 200, 160	4000	100
	400	400, 320, 250	4000	100
А3744 Б	400	400, 320, 250	6300	100
	630	630, 500, 400	6300	100
А3734 С	250	250, 200, 160	-	50
	400	400, 320, 250	-	50
А3744 С	400	400, 320, 250	-	60
	630	630, 500, 400	-	60

Таблиця Д.3. Автоматичні вимикачі серії ВА 51з тепловими і електромагнітними розчеплювачами

Тип	Номінальний струм вимикача, А	Номінальний струм розчеплювача, А	$\frac{I_{с.ем}}{I_{нрзовч}}$	Діюче значення номінального струму відключення, кА
ВА 51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7, 10	6
ВА 51-31	100	6,3; 8; 10; 12,5	3, 7,10	6
ВА 51-33	160	80, 100, 125, 160	10	
ВА 51-35	250	80, 100, 125, 160, 200, 250	12	
ВА 51-37	400	250, 320, 400	10	
ВА 51-39	630	400, 500, 630	10	

Таблиця Д.4. Автоматичні вимикачі серії ВА 51 Г з тепловим і електромагнітним розчеплювачами для керування і захисту асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором

Тип	Номінальний струм вимикача, А	Номінальний струм розчеплювача, А	$\frac{I_{с.ем}}{I_{нрзовч}}$	Діюче значення номінального струму відключення, кА
ВА 51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5	-	6
	100	6,3; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80;100	3, 7, 10	
ВА 51Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80;100	3, 7,10	6
ВА 51Г-33	160	80, 100, 125, 160	10	6

Таблиця Д.5. Автоматичні вимикачі серії ВА 52 з тепловим і електромагнітним розчеплювачами

Тип	Номінальний струм вимикача, А	Номінальний струм розчеплювача, А	$\frac{I_{cem}}{I_{првц}}$	Діюче значення номінального струму відключення, кА
ВА 52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80;100	3, 7, 10	16
	100			
ВА 52-33	100	80, 100, 125, 160	10	16
ВА 52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12	16
ВА 52-37	400	250; 320; 400	10	16
ВА 52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	10	16
ВА 52Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80;100	14	16
ВА 52Г-33	160	80; 100; 125; 160	14	16

Таблиця Д.6. Автоматичні вимикачі серії ВА 53, ВА 54 з напівпровідниковим розчеплювачем (неселективні)

Тип	Номинальний струм вимикача, А	$\frac{I_{нрвч}}{I_{номв}}$	$\frac{I_{св}}{I_{нрвч}}$	Граничний струм комутаційної здатності, кА
ВА 53-37	400, 250, 160	0,63; 0,8; 1,0	2, 3, 5, 7, 10	47,5
ВА 53-39	630, 400, 250, 160	Теж	Те ж	55
ВА 53-41	1000	Теж	2, 3, 5, 7	135
ВА 53-43	1600	Теж	Те ж	135
ВА 54-37	400, 250, 160	Теж	2, 3, 5, 7, 10	87
ВА 54-39	630, 500, 400	Теж	Те ж	100
ВА 54-41	1000	Теж	2, 3, 5, 7	150

Таблиця Д.7. Автоматичні вимикачі серії ВА 55, ВА 75 з напівпровідниковим розчеплювачем (селективні)

Тип	Номинальний струм вимикача, А	$\frac{I_{нрвч}}{I_{номв}}$	$\frac{I_{св}}{I_{нрвч}}$	Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача, А	Граничний струм комутаційної здатності, кА
ВА 55-37	400, 250, 160	0,63; 0,8; 1,0	2, 3, 5, 7, 10	20	32,5
ВА 55-39	630, 400, 250, 160	Теж	Теж	25	47,5
ВА 55-41	1000	Теж	2, 3, 5, 7	25	55
ВА 55-43	1600	Теж	Теж	31	80
ВА 75-45	2500	Теж	Теж	36	60
ВА 75-47	2500 4000	Теж Теж	2, 3, 5 Теж	36 45	70 70

**Міністерство освіти України
Вінницький державний технічний університет**

Навчальне видання

Михайло Йосипович Бурбело

**Електропостачання промислових підприємств
(курсове проектування)**

Навчальний посібник

Вінниця ВДТУ 1998

Редактор Т.А.Ягельська

Коректор З.В. Поліщук

Тир. 50 прим. Зам. №__

ВДТУ, 286021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95