

Міністерство освіти і науки України  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»  
кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту



## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання розрахунково-графічної роботи  
з дисципліни «**Електропостачання промислових підприємств**»  
для студентів напряму підготовки **6.050702 «Електромеханіка»**  
всіх форм навчання

Кривий Ріг - 2014

Укладачі: Михайленко О.Ю., асистент; Цибулевський Ю.Є., канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: Толмачов С.Т., д-р. техн. наук, професор.

Відповідальний за випуск: Щокін В.П., д-р. техн. наук, професор.

Методичні вказівки складені відповідно до робочої програми дисципліни «Електропостачання промислових підприємств» і містять варіанти завдань та порядок виконання розрахунково-графічної роботи. Призначені для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» всіх форм навчання.

**РОЗГЛЯНУТО**

на засіданні кафедри  
електропостачання та  
енергетичного менеджменту

Протокол № \_\_\_\_  
від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ р.

**СХВАЛЕНО**

на засіданні вченої ради  
електротехнічного факультету

Протокол № \_\_\_\_  
від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ р.

## Зміст

Порядок виконання розрахунково-графічної роботи.....	3
1 Технічні характеристики електроспоживачів.....	3
2 Вибір схеми електропостачання, роду струму та величини напруги.....	9
3 Визначення електричних навантажень та вибір силових трансформаторів.....	10
4 Розрахунок струмів короткого замикання .....	14
5 Вибір електричних апаратів і електроустаткування розподільчих пристроїв .....	19
5.1 Вибір обладнання розподільчого пристрою високої напруги .....	19
5.2 Вибір обладнання розподільчого пристрою низької напруги .....	22
Перелік додаткової літератури .....	24

## Порядок виконання розрахунково-графічної роботи

Відповідно до варіанту індивідуального завдання (табл. 1) і довідкових даних (табл. 2) про основні електроприймачі збагачувальних фабрик скласти однолінійну схему електропостачання. Далі згідно нижчевикладених пунктів виконати розрахунок параметрів системи електропостачання і здійснити вибір електроустаткування.

### 1 Технічні характеристики електроспоживачів

Згідно з правилами улаштування електроустановок всі споживачі електричної енергії розділяються на три категорії.

На рудозбагачувальних фабриках до I категорії відносяться порівняно невелика кількість електроприймачів, такі, як згущувачі, печі, що обертаються, насоси змащення ексгаустерів, протипожежні насоси, насоси для перекачування хвостів, якщо не передбачений їх аварійне скидання, а перерва у електропостачанні може викликати затоплення фабрики.

До II категорії відносяться всі основні електроприймачі – дробарки, млини, сепаратори, вентилятори, осадові машини, тощо.

До III категорії відносяться більшість споживачів допоміжних цехів збагачувальних і агломераційних фабрик, таких, як склади, механічні майстерні, проборозділочні відділення, хімічна лабораторія і т.п.

Основні машини, механізми та установки, що застосовуються в виробництві наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики споживачів електроенергії

№ з/п	Споживач	$P_n$ , кВт	$U$ , кВ	$\cos\varphi$	$\kappa_n$	Категорія
1	2	3	4	5	6	7
1	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	Освітлення	40	0,127	1	1	3
...	Власні потреби	75	0,4	0,75	0,65	3

Таблиця 1. Варіанти індивідуального завдання

Найменування обладнання	Номер варіанта																			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$	$P_{н>}$ кВт	$n$
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Кульові млини I стадії	4000	1	630	2	2500	1	1250	1	1000	1	900	2	1600	1	3150	1	800	1	500	2
Магнітні сепаратори	2x5	10	4	20	4	28	4	28	2x3	25	2x3	24	3	30	3	36	4	20	3	16
Класифікатори	83	1	30	2	40	1	50	1	132	2	64	2	75	1	40	1	83	2	30	2
Вакуумфільтри	4	4	4	6	3	5	4	4	4	6	3	3	3	4	2,8	4	3	3	4	2
Дешламатори	6	3	10	2	3	4	3	6	10	4	3	4	3	6	3	5	3	3	3	2
Конвеєр стрічковий важкий	55	2	40	3	55	4	28	3	30	2	17	1	30	3	28	2	55	2	75	3
Насоси піскові виробничі	630	3	50	2	132	3	75	4	800	1	55	3	10	5	75	3	400	2	132	3
Насоси виробничого водопостачання	55	2	250	3	55	4	500	2	132	2	500	1	40	4	300	2	55	4	75	3
Зварювальні трансформатори	40	2	11,4	3	32	2	27	1	19,4	1	12	2	40	1	32	1	33	1	19,4	1
Маслонасоси	15	3	10	3	22	2	5,5	4	7,5	3	10	2	13	3	5,5	4	7,5	3	1,5	3
Вакуумнасоси	230	2	315	1	90	1	110	1	75	1	30	2	315	1	230	1	90	2	132	1

	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Кульові млини I стадії	4000	1	630	2	2500	1	1600	1	1250	1	3150	1	900	2	1000	1	800	1	500	1
Магнітні сепаратори	2x5	15	4	20	4	32	2x3	24	28x3	26	3	30	3	36	4	20	4	28	3	16
Класифікатори	83	1	30	2	50	1	40	1	64	2	132	2	40	1	75	1	83	2	30	2
Вакуумфільтри	10	3	6	3	3	6	3	4	10	4	3	4	3	6	3	5	3	2	3	3
Дешламатори	4	8	4	6	3	6	4	5	3	4	3	5	4	4	2,8	4	3	3	4	2
Конвеєр стрічковий важкий	55	3	28	3	40	3	55	4	30	2	17	1	28	2	55	2	65	2	30	3
Насоси піскові виробничі	630	2	132	2	50	2	800	1	75	4	55	3	10	5	75	3	400	2	132	3
Насоси виробничого водопостачання	55	3	55	4	250	3	500	2	132	2	300	2	55	4	75	3	500	1	40	4
Зварювальні трансформатори	40	2	11,4	3	32	2	27	1	12	2	40	1	20	1	19,4	1	32	1	27	1
Маслонасоси	15	3	22	3	10	3	5,5	4	7,5	3	10	2	5,5	4	7,5	3	1,5	3	5,5	4
Вакуумнасоси	230	2	315	2	110	3	75	2	315	1	230	2	90	3	90	2	230	1	132	2

	21		22		23		34		25		26		27		28		29		30	
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Кульові млини I стадії	630	2	4000	1	2500	1	1250	1	1000	1	800	1	500	2	3150	1	1600	1	900	2
Магнітні сепаратори	2x3	26	2x5	10	4	20	32	4	4	28	2x3	24	3	30	3	36	4	20	3	16
Класифікатори	30	2	83	1	40	1	50	1	132	2	75	1	40	1	83	2	64	2	30	2
Вакуумфільтри	6	3	10	2	3	6	10	4	3	4	3	6	3	5	3	3	3	6	3	2
Дешламатори	4	4	4	6	3	5	4	4	3	3	3	4	2,8	4	4	4	3	4	4	2
Конвеєр стрічковий важкий	55	2	55	4	40	3	30	2	28	3	17	1	30	3	75	3	75	3	55	2
Насоси піскові виробничі	630	3	50	2	132	3	75	4	55	3	10	5	75	3	800	1	132	3	400	2
Насоси виробничого водопостачання	55	2	55	4	250	3	132	2	500	1	40	4	300	2	500	2	300	2	75	3
Зварювальні трансформатори	11,4	3	40	2	32	2	19,4	1	12	2	40	1	32	2	33	1	19,4	1	27	1
Маслонасоси	15	3	10	3	5,5	4	22	2	7,5	3	13	3	5,5	4	1,5	3	7,5	3	13	3
Вакуумнасоси	230	2	315	3	110	2	90	4	75	2	315	1	230	3	132	1	90	2	110	1

Таблиця 2. Коефіцієнти потужності і попиту основних електроприймачів збагачувальних фабрик

№ з/п	Найменування споживача	Коефіцієнт попиту	cosφ
1	2	3	4
1	Дробарки крупного дроблення, щокові, конусні з дводвигунним приводом	0,45	0,62
2	Дробарки середнього дроблення, щокові з однодвигунним приводом	0,6	0,75
3	Дробарки коротко конусні дрібного дроблення	0,7	0,75
4	Молоткові дробарки	0,7	0,85
5	Дробарки чотирьохвалкові	0,85	0,85
6	Млини кульові і стрижневі I-ї стадії подрібнення з синхронним приводом	0,9	0,9
7	Млини кульові II-ї і III-ї стадій подрібнення	0,8	0,9
8	Конвеєри стрічкові легкі з двигунами до 10 кВт	0,4	0,6
9	Конвеєри стрічкові важкі зі стрічкою шириною до 1400 мм	0,6	0,75
10	Конвеєри стрічкові зі стрічкою шириною 1600 і більше	0,7	0,8
11	Елеватори, шнеки, живильники пластинчаті і лоткові потужністю вище 10 кВт	0,65	0,8
12	Живильники стрічкові, тарілчасті, потужністю до 10 кВт, кульові живильники, електромагнітні і магнітні сепаратори	0,4	0,65
13	Живильники гуркоти, конвеєри електровібраційні	0,45	0,6
14	Класифікатори спіральні	0,75	0,7
15	Відбірники проб	0,4	0,55



<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
16	Вакуумфільтри	0,7	0,75
17	Дешламатори	0,5	0,65
18	Флотомашини	0,5	0,7
19	Контактні чани	0,4	0,65
20	Змішувачі	0,45	0,6
21	Відсадочні машини	0,55	0,72
22	Промивочні машини	0,65	0,78
23	Живильники пластинчаті	0,5	0,7
24	Агломераційні машини	0,65	0,72
25	Змішувачі роторні і барабанні	0,7	0,72
26	Комкувачі чашові і барабанні	0,65	0,73
27	Вагоноперекидачі	0,4	0,55
28	Гуркїти різні	0,5	0,65
29	Допоміжні механізми конвеєрів	0,15	0,5
30	Насоси промислового водопостачання	0,8	0,85
31	Насоси піскові виробничі	0,75	0,8
32	Насосі піскові для перекачки хвостів з синхронним приводом	0,75	0,9
33	Насоси піскові дренажні	0,45	0,8
34	Вентилятори виробничі, повітродувки, димососи, вакуумнасоси	0,75	0,8
35	Аглоексгаустери для стрічок 75 м <sup>2</sup> з синхронним приводом	0,85	0,9
36	Аглоексгаустери для стрічок 60 м <sup>2</sup> з синхронним приводом	0,75	0,9
37	Металообробні і деревообробні станки	0,2	0,5
38	Лебідки різні	0,3	0,5
39	Грїлки для масла	0,95	1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
40	Насоси масляні	0,65	0,75
41	Крани грейферні	0,3	0,5
42	Крани мостові, кран-балки, тельфери	0,2	0,5
43	Вулканізаційні апарати	0,95	1
44	Лабораторне обладнання	0,3	0,8
45	Сушильні шафи	0,8	1
46	Дрібні нагрівальні прилади	0,6	1
47	Зварювальні трансформатори ручного зварювання однопостові	0,2	0,35
48	Зварювальні трансформатори ручного зварювання зварбагатопостові	0,25	0,4
49	Зварювальний трансформатор автоматичної зварки	0,35	0,45
50	Насоси загальнозаводського призначення	0,65	0,8
51	Компресори	0,65	0,8
52	Механічне станочне обладнання	0,15	0,55
53	Сантехвентиляція	0,65	0,75
54	Котельна	0,6	0,75
55	Внутрішнє освітлення виробничих цехів	1	1
56	Внутрішнє освітлення допоміжних цехів	0,9	1

## **2 Вибір схеми електропостачання, роду струму та величини напруги**

Збагачувальні фабрики отримують електричну енергію від районних електростанцій або від ТЕЦ. При віддаленні енергосистем можуть використовуватись пересувні дизельні підстанції.

Для розподілу електричної енергії на між об'єктами фабрики на її території розміщують головну понижуючу підстанцію (ГПП). Підстанцію

рекомендується будувати з розміщенням трансформаторів і розподільних пристроїв на відкритому повітрі. ГПП розташовується по можливості поряд з крупними споживачами електричної енергії (дробарки, млини, ексгаустери і т.п.), тобто у центрі навантажень. На рудозбагачувальних фабриках мінімальна відстань від розподільчого пристрою 6 кВ і вище до осередку рудного пилу повинно бути при відкритих РП не менше 50 м.

Для живлення гірничого підприємства електроенергією приймаємо зовнішню замкнуту магістральну схему енергозабезпечення. До системи відносяться повітряні і кабельні лінії електропередач (ЛЕП) від районної підстанції до ГПП підприємства. Від районної підстанції до ГПП повинно бути не менше двох ЛЕП, кожна з яких може вести повне завантаження підприємства.

Так як на гірничому підприємстві для приводу механізмів здебільшого застосовуються асинхронні і синхронні двигуни змінного струму, а двигун постійного струму приводу скіпового підйому живиться від трифазного вентильного перетворювача, то приймаємо в схемах електропостачання рід струму - змінний.

Для живлення електродвигунів дробарок і конвеєрів - приймаємо напругу 6 кВ.

Для живлення асинхронних двигунів механізованих бункерів, дільничного конвеєрного транспорту, вентиляторів місцевого провітрювання і освітлювальних трансформаторів - 380 В. Для освітлювальних мереж – 127 В.

### **3 Визначення електричних навантажень та вибір силових трансформаторів**

Для визначення електричних навантажень скористаємося методом коефіцієнту попиту.

Для споживачів 0,4 кВ розраховуємо активну потужність для кожної групи споживачів, кВт:

$$P = P_n \cdot n \cdot \kappa_n, \quad (1.1)$$

де  $P_n$  - номінальна потужність споживача;  $\kappa_n$  - коефіцієнт попиту споживача;  $n$  – кількість споживачів.

Визначаємо сумарну активну потужність споживачів за наступною формулою, кВт:

$$P_\Sigma = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (1.2)$$

Визначаємо реактивну потужність кожної групи електроспоживачів, кВАр:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.3)$$

де  $P$  - розрахункова активна потужність споживача;  $\operatorname{tg} \varphi$  - відповідно до  $\cos \varphi$ .

Розраховуємо сумарну реактивну потужність споживача, кВАр:

$$Q_\Sigma = \sum_{i=1}^n Q_i. \quad (1.4)$$

Повна потужність, кВА:

$$S_p = \sqrt{P_\Sigma^2 + Q_\Sigma^2}, \quad (1.5)$$

де  $Q_\Sigma$  - сумарна реактивна потужність;  $P_\Sigma$  – сумарна активна потужність.

Вибираємо тип і кількість трансформаторів, що будуть встановлені.

Параметри трансформаторів заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Номінальні дані силового трансформатора

Мережева обмотка:	
Потужність, кВА:	...
Напруга, кВ:	...
Вентильна обмотка:	
Струм, А:	...

Напруга, кВ:	...
Втрати, Вт:	
Холостого ходу	...
Короткого замикання	...
Напруга короткого замикання, %:	...
Струм холостого ходу, %:	...
Частота живильної мережі, Гц:	...

Визначимо втрати трансформатора. Спочатку розраховуємо коефіцієнт завантаження трансформатора:

$$\beta = \frac{S_p}{S_n}, \quad (1.6)$$

де  $S_p$  - розрахункова потужність;  $S_n$  - номінальна потужність.

Визначаємо втрати активної потужності, кВт:

$$\Delta P_m = \Delta P_{x.x} + \beta^2 \cdot \Delta P_{к.з}, \quad (1.7)$$

де  $P_{x.x}$  - втрати холостого ходу;  $\Delta P_{к.з}$  - втрати короткого замикання.

Розраховуємо втрати реактивної потужності, кВАр:

$$\Delta Q_m = S_n (\Delta I_{x.x} + \beta^2 \Delta U_{к.з}) \cdot 10^{-2}, \quad (1.8)$$

де  $\Delta I_{x.x}$  - струм холостого ходу;  $\Delta U_{к.з}$  - напруга короткого замикання.

Розраховуємо нову розрахункову потужність трансформатора з урахуванням втрат, кВА:

$$S_p = \sqrt{(P_\Sigma + \Delta P_m)^2 + (Q_\Sigma + \Delta Q_m)^2}. \quad (1.9)$$

Якщо розраховане за формулою (1.9) значення потужності не перевищує номінальне, то обраний трансформатор забезпечує нормальне функціонування з урахуванням втрат.

Для споживачів 6 кВ по формулі 1.1 розраховуємо активну потужність для кожної групи споживачів.

Визначаємо сумарну активну потужність споживачів 6 кВ за формулою 3.2.

Розраховуємо реактивну потужність споживачів 6 кВ за формулою 3.3.

Сумарна реактивна потужність споживачів 6 кВ за формулою 1.4.

Розраховуємо повну потужність з урахуванням потужності трансформатора на стороні 6 кВ за формулою 1.5.

Вибираємо тип і кількість трансформаторів, що будуть встановлені. Параметри трансформаторів заносимо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Номінальні дані силового трансформатора

Мережева обмотка:	
Потужність, кВА:	...
Напруга, кВ:	...
Вентильна обмотка:	
Струм, А:	...
Напруга, кВ:	...
Втрати, Вт:	
Холостого ходу	...
Короткого замикання	...
Напруга короткого замикання, %:	...
Струм холостого ходу, %:	...
Частота живильної мережі, Гц:	...

Визначимо втрати трансформатора. Розраховуємо коефіцієнт завантаження трансформатора по виразу 1.6.

Визначаємо втрати активної потужності по формулі 1.7.

Знаходимо втрати реактивної потужності по формулі 1.8.

Повна розрахункова потужність трансформатора з урахуванням втрат розраховується по формулі 1.9.

Тоді потужність трансформатора:

$$S_{\text{нтр}} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{\text{зм}} \cdot S_p}{\eta_c \cdot K_{\text{пер}}}, \text{ кВА}, \quad (1.10)$$

де  $K_{1-2} = 0,8$  - коефіцієнт, який враховує споживачів 1-ї та 2-ї категорій;  
 $K_{\text{зм}} = 0,85$  - коефіцієнт зміщення максимального навантаження;  
 $K_{\text{пер}} = 1,1 \div 1,3$  - коефіцієнт перевантаження;  $\eta_c$  - коефіцієнт мережі.

Якщо розраховане за формулою (1.10) значення потужності не перевищує номінальне, то обраний трансформатор забезпечує нормальне функціонування з урахуванням втрат.

#### 4 Розрахунок струмів короткого замикання

Для визначення струмів короткого замикання складемо принципову схему електропостачання (рис. 1.1).

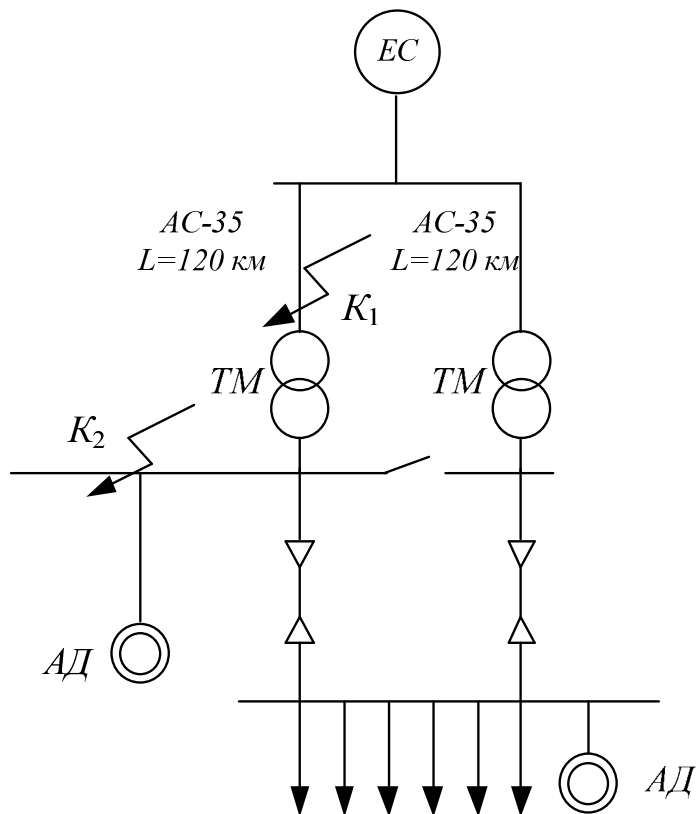


Рисунок 1.1 – Принципова схема електропостачання

Обираємо базисні величини:

$$S_{\bar{\sigma}} = 60 \text{ MVA}, U_{\bar{\sigma}1} = 110 \text{ кВ}, U_{\bar{\sigma}2} = 6 \text{ кВ}.$$

Розраховуємо базисні струми, кА:

$$I_{\bar{\sigma}1} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}1}}, I_{\bar{\sigma}2} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}2}}. \quad (1.11)$$

Опір живлячої системи виходячи з рис. 1.1:

$$x_{*c} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S''}, \quad (1.12)$$

де  $S_{\bar{\sigma}}$  - базисна потужність;  $S''$  - потужність на шинах районної підстанції.

Індуктивний опір лінії 110 кВ:

$$x_{*l} = x_0 l \left( \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} \right), \quad (1.13)$$

де  $x_0$  - індуктивний опір 1км лінії електропостачання;  $l$  - довжина лінії;  
 $S_{\bar{\sigma}}$  - базисна потужність;  $U_{\bar{\sigma}1}$  - напруга лінії електропередач.

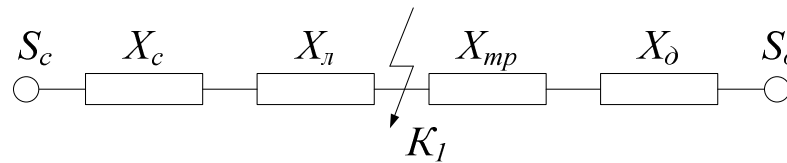


Рисунок 1.2 – Схема заміщення для точки  $K_1$

Активний опір лінії 110 кВ:

$$r_{*l} = \left( \frac{l}{\gamma \cdot S} \right) \cdot \left( \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}1}^2} \right), \quad (1.14)$$

де  $S$  - поперечний переріз провідника.

Індуктивний опір трансформатора:

$$x_{*mp} = \frac{U_{\kappa \%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{н. mp}}, \quad (1.15)$$

де  $U_{\kappa \%}$  - напруга короткого замикання;  $S_{н. mp}$  - потужність трансформатора.

Опір двигуна:

$$x_{*дв} = x_{дв}'' \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{дв}}, \quad (1.16)$$



де  $x''_{\partial\sigma}$  - надперехідний опір двигуна.

Виконуємо спрощення схеми рис. 1.2 до виду рис. 1.3:

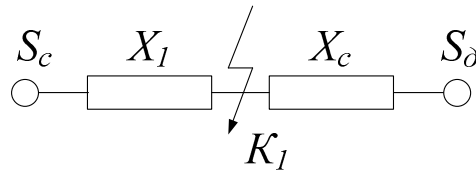


Рисунок. 1.3 - Спрощена схема заміщення для точки  $K_1$

Сумарний індуктивний опір від системи до точки  $K_1$ :

$$x_{*1} = x_{*c} + x_{*l}. \quad (1.17)$$

Якщо  $r_{*l}/x_{*l} > 0,3$ , то знехтувати активним опором лінії не можна.

Загальний опір від системи до точки  $K_1$ :

$$z_{*1} = \sqrt{x_{*1}^2 + r_{*l}^2}. \quad (1.18)$$

Розраховуємо струм короткого замикання, кА:

$$I_{K_1}^{K3} = I_{0,2} = I_{\infty} = \frac{I_{\sigma 1}}{z_{*1}}. \quad (1.19)$$

Потужність системи, МВА:

$$S_{K_1}^{K3} = S_{0,2} = S_{\infty} = \frac{S_{\sigma 1}}{z_{*1}}. \quad (1.20)$$

Розрахунковий опір кола двигуна:

$$x_{*\partial\sigma.p} = (x_{*\partial\sigma} + x_{*mp})(S_{\partial\sigma}/S_{\sigma}). \quad (1.21)$$

Кратність струмів к.з. для кола двигуна приймаємо:

$$I_{K_1}^{K3} = 4,5; I_{0,2} = 3,3; I_* = 1,7. \quad (1.22)$$

Номінальний струм двигунів, кА:

$$I_{\partial\sigma} = \frac{S_{\partial\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 1}}, \quad (1.23)$$

де  $S_{\partial\epsilon}$  - потужність двигуна;  $U_{\partial 1}$  - базисна напруга.

Струм і потужність к.з. в абсолютних одиницях для різних моментів часу:

$$I_{K_1\partial\epsilon}^{K3} = I_{K_1^*}^{K3} \cdot I_{\partial\epsilon}, \quad I_{0,2\partial\epsilon}^{K3} = I_{0,2^*} \cdot I_{\partial\epsilon}, \quad I_{\infty\partial\epsilon}^{K3} = I_{\infty^*} \cdot I_{\partial\epsilon}, \quad (1.24)$$

$$S_{K_1\partial\epsilon}^{K3} = \sqrt{3} \cdot I_{K_1\partial\epsilon}^{K3} \cdot U, \quad S_{0,2\partial\epsilon}^{K3} = \sqrt{3} \cdot I_{0,2\partial\epsilon}^{K3} \cdot U, \quad S_{\infty\partial\epsilon}^{K3} = \sqrt{3} \cdot I_{\infty\partial\epsilon}^{K3} \cdot U, \quad (1.25)$$

Визначаємо ударний струм від системи, кА:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K_1}^{K3}, \quad (1.26)$$

$$I_y = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \cdot I_{K_1}^{K3}, \quad (1.27)$$

де  $k_y = 1,3$  - ударний коефіцієнт.

Розраховуємо ударний струм від двигуна при  $k_y = 1,8$ :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K_1\partial\epsilon}^{K3}, \quad (1.28)$$

$$I_y = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \cdot I_{K_1\partial\epsilon}^{K3}, \quad (1.29)$$

Розрахуємо струми к.з в точці  $K_2$ :

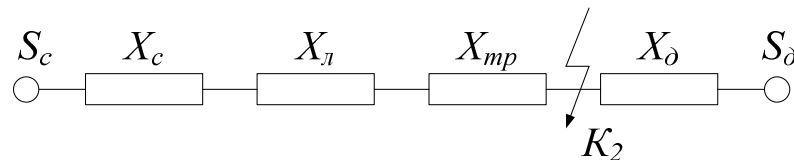


Рисунок 1.4 - Схеми заміщення для точки  $K_2$

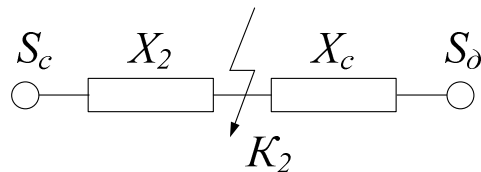


Рисунок 1.5 - Спрощена схема заміщення для точки  $K_2$

Сумарний індуктивний опір до точки к.з. від системи виходячи з рис. 1.5:

$$x_{*2} = x_{*c} + x_{*l} + x_{*mp}.$$

Так як  $r_{*l}/x_{*2} > 0,3$ , то активним опором лінії не можна знехтувати.

Загальний опір від системи до точки  $K_2$  визначаємо по аналогії з виразом 1.18:

$$z_{*2} = \sqrt{x_{*2}^2 + r_{*2}^2}.$$

Розраховуємо струми к.з. по формулі 1.19, кА і потужності по формулі 1.20, МВА:

$$I_{K_2}^{K3} = I_{0,2} = I_{\infty} = \frac{I_{\delta 2}}{z_{*2}},$$

$$S_{K_2}^{K3} = S_{0,2} = S_{\infty} = \frac{S_{\delta}}{z_{*2}}.$$

Розраховуємо опір кола двигуна:

$$x_{*\delta\delta.p} = x_{*\delta\delta} (S_{\delta\delta} / S_{\delta}). \quad (1.30)$$

Кратність струмів к.з. приймаємо:

$$I_{K_2^*}^{K3} = 6; I_{0,2^*} = 4,5; I_* = 2,2.$$

Номінальний струм асинхронних двигунів по формулі 1.23, кА:

$$I_{\delta\delta} = \frac{S_{\delta\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 2}}.$$

Струм і потужність к.з в абсолютних одиницях по формулам 1.24 і 1.25:

Ударний струм:

а) від системи по формулам 1.26 і 1.27 при  $k_y = 1,4$ :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K_2}^{K3},$$

$$I_y = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \cdot I_{K_2}^{K3}.$$

Від двигуна по формулам 1.28, 1.29 при  $k_y = 1,8$ :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K_2\delta\delta}^{K3},$$

$$I_y = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \cdot I_{K2\partial\partial}^{K3}$$

Для підвищення надійності роботи підстанцій та системи електропостачання у цілому штучно обмежують аварійні струми. Необхідного обмеження струмів в окремих випадках можна досягти правильним вибором схеми електричних з'єднань, секціонуванням збірних шин на всіх етапах електропостачання, відмовою від паралельної роботи силових трансформаторів і ліній електропередачі, застосуванням силових трансформаторів з розщепленою обмоткою.

Для обмеження струмів к. з. використовують також реактори. Найбільш доцільно і ефективно застосовувати реактори на лініях споживачів, що підключаються безпосередньо до шин електростанцій, а також на підстанціях. Струмообмежувальні реактори призначені для полегшення роботи апаратури, розподільних пристроїв електростанцій, підстанцій і мереж, зменшення перетину кабелів фідерних ліній по аварійним умовам, а також для створення необхідної залишкової напруги на шинах при к. з. на одній з ліній, що відходять. Переваги різних способів струмообмеження визначаються із зіставлення техніко-економічних показників схеми електропостачання. У більшості випадків є ефективним застосування реакторів.

## **5 Вибір електричних апаратів і електроустаткування розподільчих пристроїв**

### **5.1 Вибір обладнання розподільчого пристрою високої напруги**

Спочатку вибираємо шини по довготривалому допустимому струму і перевіряємо на динамічну і термічну стійкість при струмах к.з.

Розрахунковий струм навантаження на шинах ГПП, А:

$$I_{розр} = \frac{S_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (1.31)$$

де  $S_{розр}$  - потужність підстанції;  $U_n$  - напруга мережі.

Вибираємо матеріал шин, їх форму, а також кількість шин, що використовуються на одній фазі.

Перевіряємо вибрані шини на динамічну стійкість при к.з. ( $1 \text{ даН} = 10 \text{ Н}$ ):

$$F_{розр}^{(3)} = 1,76 \left( \frac{l}{a} \right) \left( i_y^{(3)} \right)^2 \cdot 10^{-2}, \quad (1.1)$$

де  $l$  - відстань між ізоляторами по осі шин;  $a$  - відстань між шинами;  
 $i_y$  - ударний струм.

Згинаючий момент

$$M_{зг} = F_{розр}^{(3)} \frac{l}{10}, \text{ даН} \cdot \text{см}. \quad (1.32)$$

Момент опору шин при згинанні:

$$W = \frac{b \cdot h^3}{6}, \text{ см}^3. \quad (1.33)$$

Напруга матеріалу шин при згинанні:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W}, \text{ даН/см}^2. \quad (1.34)$$

Якщо  $\sigma_{зг} < \sigma_{дон} = 700 \text{ даН/см}^2$  - то вибрані шини по механічній стійкості приймаються.

Перевіряємо вибрані шини на термічну стійкість при струмах к.з.:

$$S_{\min} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_n}}{G}, \text{ мм}^2. \quad (1.35)$$

де  $I_{\infty}$  - встановлений струм к.з.;  $t_n$  - час проходження струму к.з.,  
приймаємо  $t_n = 2 \text{ с}$ .

Якщо вибраний переріз  $S_{виб} > S_{\min}$ , то шини по термічній стійкості також підходять.

Вибираємо ізолятори призначені для кріплення струмоведучих частин ізоляції між собою і по відношенні до землі. Ізолятори вибираємо по напрузі, роду устаткування і допустимому механічному навантаженню.

Обраний ізолятор перевіряємо на допустимі механічні навантаження:

$$F_{розр}^{(3)} \leq 0,6F_{руйн}, \quad (1.36)$$

Якщо  $F_{розр}^{(3)} < 60 \text{ даН}$ , то умови задовольняються.

По розрахунковому струму і номінальній напрузі вибираємо роз'єднувачі призначені для відключення високовольтних мереж без навантаження і для створення видимого розриву між частиною електроустановки і частинами, що знаходиться під напругою.

Розрахунковий струм на термічну стійкість:

$$I_{р.мс} = I_{\infty} \sqrt{\frac{t_n}{t_n}}, \text{ кА} \quad (1.37)$$

де  $t_n = 2\text{с}$ , час дії струму к.з.

Вибираємо силові вимикачі призначені для відключення високовольтних мереж під навантаженням і для внутрішньої установки.

КРП. З урахуванням обраного вимикача вибираємо тип КРП для внутрішньої установки на максимально допустиму напругу 6 або 10 кВ.

Вибираємо трансформатори струму, вказуємо коефіцієнт трансформації. Час проходження струму термічної стійкості  $t_{ном т.с.} = 1\text{с}$ .

Перевіряємо розрахункову динамічну стійкість трансформатора струму:

$$K_{розр.дс} = \frac{i_{у.розр}}{\sqrt{2} \cdot I_{розр.д}}, \quad (1.38)$$

де  $I_{розр.д}$  - номінальний струм первинної обмотки.

Якщо  $K_{ном.дс} = 110 > K_{розр.дс}$ , то трансформатор струму забезпечує динамічну стійкість.  $K_{ном.дс}$  - коефіцієнт електродинамічної стійкості.

Розрахункова термічна стійкість:

$$K_{розр.мс} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_n}}{I_n \sqrt{t_{н.мс}}} < K_{н.мс} = 40. \quad (1.39)$$

Вибираємо трансформатори напруги, відокремлювачі і короткозамикачі.

## 5.2 Вибір обладнання розподільчого пристрою низької напруги

Вибір автоматичних вимикачів здійснюємо по номінальній напрузі мережі, номінальному струму і перевіряємо по струму відключення (комутаційній можливості).

При цьому повинні дотримуватись умови:

$$\begin{aligned} I_n &\geq I_c, \\ U_{р.н} &= U_c, \\ I_{ва} &\geq 1,2 I_{КЗ}^{(3)}, \end{aligned} \quad (1.40)$$

де  $I_n$  - номінальний струм вимикача;  $I_c$  - струм мережі, яка захищається;  $U_{р.н}$  - номінальна напруга котушки незалежного розчіплювача;  $U_c$  - номінальна напруга мережі;  $I_{ва}$  - струм відключення автомата;  $I_{КЗ}^{(3)}$  - струм трифазного к.з. на вивідних зажимах автомата:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \left( \frac{I_{т.н}}{U_{КЗ}} \right) \cdot 100, \quad (1.41)$$

де  $I_{т.н}$  - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора;  $U_{КЗ}$  - напруга к.з. трансформатора.

Вибираємо пускачі по номінальній напрузі мережі, номінальному струму приєднаної мережі, а також по потужності і режиму роботи електродвигунів.

При цьому повинна дотримуватись умова:

$$\begin{aligned} I_n &\geq I_c, \\ U_n &= U_c, \\ P_n &\geq P_{дв}, \end{aligned} \quad (1.42)$$

де  $I_n$  і  $U_n$  - номінальний струм і напруга на які розрахований пускач;  $P_n$  - номінальна потужність двигуна;  $P_{дв}$  - номінальна потужність двигуна,

для якої вибирається пускач;  $I_c$  - струм мережі підключення;  $U_c$  - напруга мережі підключення;

Вибраний пускач перевіряють за можливістю відключення:

$$I_c \geq 1,2 \cdot I_{к.маx}^{(3)}, \quad (1.43)$$

де  $I_{к.маx}^{(3)}$  - розрахунковий струм трифазного к.з. на затискачах моторної камери пускача.

Установка струмового захисту захищає мого пускача:

$$I_y \leq \frac{I_{к}^{(2)}}{1,5}, \quad (1.44)$$

де  $I_{к}^{(2)}$  - струм двофазного к.з. в кінці лінії, що живиться пускачем.

Розрахунок кабелю живлення. Провід вибирається відповідно по номінальному струму навантаження. Якщо двигунів в ланцюзі менше трьох то використовується наступна формула:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (1.45)$$

Вибираємо силовий кабель.

Розраховуємо плавку вставку відповідно до умови:

$$I_{вс} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}. \quad (1.46)$$

Так як всі двигуни є асинхронними пусковий струм визначаю з умови:

$$I_{пуск} = 7 \cdot I_n. \quad (1.47)$$

Вибираємо тип плавкого запобіжника. Вказуємо номінальний струм плавкої вставки.

Результати обчислень номінальних струмів двигунів, плавкої вставки запобіжників і вибору кабелів живлення для електроустаткування згідно варіанту завдання заносимо у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Вибір кабельно-провідникової продукції і запобіжників



№ з/п	Технологічний механізм	Струм двигуна, А	Перетин жили, мм <sup>2</sup>	Струмові навантаження кабелю, А	Струм плавкої вставки, А
1	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

Запобіжники вибираємо відповідно струму плавкої вставки.

Зробити висновки по результатам виконаних обчислень.

### Перелік додаткової літератури

1. Плащанский Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий: Учебн. для вузов / Л.А. Плащанский. – М.: МГГУ, 2006. – 499 с.
2. Жуков В.В. Короткие замыкания в электроустановках постоянного тока / В.В. Жуков. – М.: МЭИ, 2005. – 160 с.
3. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: Метод. пособ. / В.И. Дьяков. – [6-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Высшая школа, 1985. – 143 с.
4. Алиев И.И. Электрические аппараты: Справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов. – М.: Радиософт, 2010. – 256 с.
5. Ахлюстин В.К. Электрификация обогатительных фабрик / В.К. Ахлюстин. – М.: Недра, 1973. – 424 с.

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств» для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» всіх форм навчання

Укладачі: Михайленко Олексій Юрійович,  
Цибулевський Юрій Євгенович

Реєстраційний № \_\_\_\_\_

Підписано до друку « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

Формат А5

Сторінок 25

Тираж 20 прим.

Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет»,  
вул. XXII Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг