

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

Робота допущена до захисту  
Зав. кафедрою електроенергетики  
\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
**на тему: «Модернізація системи електропостачання ТОВ**  
**«Імпульс»**

з напрямку 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Виконала  
студентка гр. ЕТ-51

А.Ю. Захарко

Керівник, канд.техн.наук

С.М. Лебедка

СУМИ 2019



- Однолінійна схема електропостачання ТОВ «Імпульс»;
- План розподілу електроенергії цеху №1.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Характеристика об'єкта	10.05.19
2	Аналіз електропостачання об'єкта	13.05.19
3	Модернізація об'єкта	21.05.19
4	Виконання креслень	05.06.19
5	Оформлення пояснювальної записки	10.06.19

Студентка

\_\_\_\_\_

(підпис)

А.Ю. Захарко

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

С.М. Лебедка

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с. 68, рис. 2, табл. 20, джерела літератури 10, креслень 2.

**Об'єкт дослідження:** електропостачання промислового підприємства ТОВ «Імпульс».

**Мета роботи:** розроблення оптимальної системи електропостачання ТОВ «Імпульс».

Під час роботи зібрані вихідні дані: однолінійна схема електропостачання підприємства, генплан цеху №1 з розташуванням технологічного обладнання, електричні навантаження, категорія надійності електропостачання електроприймачів, схема живлення трансформаторної підстанції, напруга на шинах джерела живлення, дані для розрахунку струмів короткого замикання.

Результатом роботи є вибір конструктивне виконання цехової силової мережі, розрахунок електричних навантажень підприємства, вибір кількості та потужності трансформаторів трансформаторної підстанції, розрахунок електричних навантажень цеха на різних рівнях електропостачання, вибір перерізу провідників понад і до 1 кВ, розрахунок струмів трифазного та однофазного короткого замикання, вибір автоматичних вимикачів до 1 кВ.

ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ, ЕЛЕКТРОУСТАНОВКА, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ПІДСТАНЦІЯ, КАБЕЛЬ, ПЕРЕРІЗ, МЕРЕЖА, ТРАНСФОРМАТОР, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, АВТОМАТИ.

## ЗМІСТ

	Вступ.....	8
1	Визначення розрахункових навантажень підприємства.....	10
1.1	Визначення розрахункового силового навантаження.....	11
1.2	Визначення розрахункового силового навантаження загального електричного освітлення приміщень.....	12
1.3	Визначення розрахункового навантаження підприємства.....	14
2	Вибір кількості та потужності трансформаторів головної понижувальної підстанції.....	16
3	Характеристика цеху №1 промислового підприємства.....	19
4	Розрахунок силових електричних навантажень.....	20
4.1	Розрахунок силових електричних навантажень на першому рівні електропостачання.....	21
4.2	Розрахунок силових електричних навантажень на другому рівні електропостачання .....	23
4.3	Розрахунок силових електричних навантажень на третьому рівні електропостачання .....	25
4.4	Розрахунок навантаження загального та аварійного освітлення цеху.....	27
4.5	Розрахунок пікових струмів.....	30
5	Вибір перерізу провідників.....	31
5.1	Вибір перерізу кабельної лінії 6 кВ.....	31
5.2	Вибір перерізу живильної мережі напругою до 1 кВ.....	33
5.3	Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ.....	35
6	Розрахунок струмів КЗ.....	37

					<i>БР 6.050701.125 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.					Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.					5	66	
Реценз.					<i>СумДУ ЕТ-51</i>		
Н. Контр.							
Затверд.	<i>Лебединський</i>						

«Модернізація схеми  
електропостачання  
ТОВ «Імпульс»»

6.1	Розрахунок струмів трифазного КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ.....	38
6.2	Розрахунок струмів однофазного короткого замикання.....	48
7	Вибір автоматичних вимикачів.....	50
7.1	Вибір автоматичних вимикачів введення.....	51
7.2	Вибір секційного автоматичного вимикачів.....	55
7.3	Вибір лінійних автоматичних вимикачів.....	59
7.4	Вибір автоматичних вимикачів до електроприймачів.....	62
	Висновки.....	67
	Список використаної літератури.....	68

					<i>БР 6.050701.125 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>					«Модернізація схеми електропостачання ТОВ «Імпульс»»	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>							5	66
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ-51</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський</i>							

## Перелік скорочень

АВР – автоматичне вмикання резерву  
АД – асинхронний двигун  
ВН – висока напруга  
ГПП – головна понижувальна підстанція  
ДРЛ – дугова ртутна люмінесцентна  
ЕА – електричний апарат  
ЕД – електричний двигун  
ЕП – електроприймач  
ЕУ - електроустановка  
КЗ – коротке замикання  
КТП – комплексна трансформаторна підстанція  
НН – низька напруга  
ПС - підстанція  
ПРЕ – пункт розподілу електроенергії  
ПУЕ - Правила влаштування електроустановок  
СД – синхронний двигун  
СЕП – система електропостачання  
СРШ – силова розподільна шафа  
ТП – трансформаторна підстанція  
ТС – трансформатор струму  
ЦТП – цехова трансформаторна підстанція  
ШМА – шинопровід магістральний алюмінієвий  
ШРА – шинопровід розподільний алюмінієвий

## ВСТУП

ТОВ Імпульс Сумська філія відома на ринку лакофарбових матеріалів, як виробник алкідних смол і лаків з 1999 року. Всі ці роки компанія постійно нарощувала свій виробничий потенціал, підкріплюючи його потужною науковою основою.

У 2003 - 2006 рр. відкрився цех по виробництву таких товарів:

- готових до застосування пентафталевих лаків (для зовнішніх і внутрішніх робіт);
- лазурит по дереву, дерево-захисних антисептичних складів;
- емалей ПФ-115, ПФ-266;
- ґрунтовок ГФ-021.
- екологічно чистих акрилових водно-дисперсійних фарб для зовнішніх і внутрішніх робіт;
- клею для паркету і лінолеуму, лаку для сауни.

У 2007 році асортимент лакофарбових матеріалів розширено новими видами продукції:

- швидковисихаючі фарби для дахів;
- алкідно-уретанові емалі урф-1128;
- паркетний і яхтові лаки;
- ґрунт-емаль по кольорових металах.

Дана інформація, про ДП «НЕК «Укренерго», взята з їхнього офіційного сайту[10].

Метою мого дипломного проекту є модернізація схеми електропостачання промислового підприємства ТОВ «Імпульс» .

Сьогодні є не лише зростання попиту на електроенергію, але й підвищення вимог до її якості, надійності електропостачання, забезпечення більш дієвих заходів безпеки. Відповідно до цього змінюють і нормативні документи, що встановлюють правила обладнання і технічної експлуатації

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



окремих електричних апаратів, електроустановок, мереж. Удосконалюються методики розрахунку вибору як окремих електричних апаратів, так і електронних комплексів.

Велика кількість промислових підприємств нашої країни працюють на застарілому обладнанні зробленому 15 і більше років тому. Основними недоліками такого обладнання є низька ремонтпридатність в зв'язку з відсутністю запчастин, відносно низький рівень якості продукції, що випускається, часті простої через вихід з ладу окремих вузлів устаткування, великі витрати часу на пошук несправності. Для вирішення цієї проблеми кращим способом є установка сучасного устаткування в замість застарілого. Але головною перешкодою для реалізації даного способу найчастіше є висока вартість нового обладнання.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

**Електричним навантаженням** називають потужність, що споживається ЕУ в певний момент часу. При змінному струмі розрізняють активне, реактивне та повне навантаження. Поняття навантаження поширюється також на електричний струм.

**За розрахункове навантаження** приймають таке умовно змінне за часом значення навантаження, що викликає найбільш тяжке нагрівання провідника струму за максимальною температурою чи за тепловим зносом ізоляції, як і фактичне змінне за часом повне навантаження, яке безпосередньо змінюється а часом залежно від режиму роботи ЕП у групі.

Величину розрахункового навантаження використовують для вибору потужності та перевірки навантажувальної спроможності силових трансформаторів, вибору потужності компенсуючих та перетворювальних установок, перерізу струмопровідних частин ЕУ за нагріванням та економічною густиною струму, для визначення втрат та відхилень напруги і витрат потужності і електроенергії в електричних мережах, розрахунку захисту.

Обчислення розрахункових навантажень цехів та підприємства здійснюється методом коефіцієнта попиту. Цей метод дозволяє визначити розрахункове максимальне навантаження вузла електропостачання (ділянка цеху, цех, підприємство) на стадії проектного завдання при невідомій потужності окремих ЕП.

Загальний перелік приміщень із вказаними вихідними даними наведено у таблиці 1.1

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Вихідні дані приміщень на підприємстві

Назва приміщення	Установлена активна потужність $P_{уст.},$ кВт	Коеф. потужності		Питоме навантаження заг. освітлення $p_{р.о.і},$ Вт/м <sup>2</sup>	Площа приміщення $F,$ м <sup>2</sup>
		$\cos \varphi$	$tg \varphi$		
Склад	12	0,82	0,7	15	1080
АБК	23	0,88	0,54	12	310
Склад ЛВЖ	28	0,93	0,39	11	120
Насосна станція	90	0,85	0,62	13	20
Цех №1	230	0,87	0,567	16	1440
Цех №2	180	0,9	0,48	14	1980

## 1.1 Визначення розрахункового силового навантаження приміщень

Знаходимо розрахункове силове активне навантаження для приміщень при напрузі 0,38/0,22 кВ:

$$P_{р.с.і} = K_{п.і} \cdot P_{уст.і} , \quad (1.1)$$

де  $K_{п.і}$  – коефіцієнт попиту  $i$ -го приміщення [1] ;

$P_{уст.і}$  – установлена активна потужність  $i$ -го приміщення (табл. 1.1).

Розрахункове силове реактивне навантаження  $i$ -го приміщення визначається за формулою:

$$Q_{р.с.і} = P_{р.с.і} \cdot tg\varphi_i , \text{ кВАр}, \quad (1.2)$$

де  $tg\varphi_i$  – відповідає значенню коефіцієнта потужності (табл. 1.1).

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове силове повне навантаження  $i$ -го приміщення визначається як:

$$S_{p.c.i} = \sqrt{P_{p.c.i}^2 + Q_{p.c.i}^2}, \text{ кВА} \quad (1.3)$$

Отримані за формулами (1.1) – (1.3) результати розрахунків для приміщень наводяться в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Розрахункове силове навантаження приміщень

№ приміщення	Назва приміщення	$P_{уст.}$ , кВт	$K_{п.}$ , в.о	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Результати розрахунків		
						$P_{p.c.}$ , кВт	$Q_{p.c.}$ , кВАр	$S_{p.c.}$ , кВ·А
1	Склад	12	1	0,82	0,7	12	8,4	14,65
2	АБК	23	1	0,88	0,54	23	12,42	26,14
3	Склад ЛВЖ	28	1	0,93	0,39	28	10,92	30,05
4	Насосна станція	90	1	0,85	0,62	90	55,8	105,9
5	Цех №1	230	1	0,87	0,567	230	130,41	264,4
6	Цех №2	180	1	0,9	0,48	180	86,4	199,6
Усього						563	304,35	640,8

## 1.2 Визначення розрахункового силового навантаження загального електричного освітлення приміщень

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

На промислових підприємствах близько 10 % споживаної електроенергії витрачається на електричне освітлення. *Методом коефіцієнта попиту* також можна визначити розрахункове навантаження загального електричного освітлення приміщень [1].

Для цього необхідно спочатку визначити установлене (номінальне) активне навантаження приладів освітлення  $i$ -го приміщення:

$$P_{уст.о.i} = k \cdot p_{п.о.i} \cdot F_i \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (1.4)$$

де  $k$ - коефіцієнт, що враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла (для ламп розжарювання приймається  $k = 1,0$  );

$p_{п.о.i}$  – питома навантаження загального освітлення  $i$ -го приміщення, Вт/м<sup>2</sup> (табл. 1.1);

$F_i$  – площа  $i$ -го приміщення, що підлягає освітленню, м<sup>2</sup> (табл. 1.1).

Розрахункове активне навантаження загального освітлення  $i$ -го приміщення:

$$P_{р.о.i} = K_{п.о} \cdot P_{уст.о.i}, \text{ кВт} \quad (1.5)$$

де  $K_{п.о}$  – коефіцієнт попиту загального освітлення (табл.1.1).

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення  $i$ -го приміщення:

$$Q_{р.о.i} = P_{р.о.i} \cdot tg\varphi_{о.i}, \text{ кВАр} \quad (1.6)$$

де  $tg\varphi_{о.i}$  – відповідає значенню коефіцієнта потужності  $\cos \varphi_{о.i}$ (для ламп розжарювання  $\cos \varphi = 1$  ).

Розрахункове повне навантаження загального освітлення  $i$ -го приміщення визначається як:

$$S_{р.о.i} = \sqrt{P_{р.о.i}^2 + Q_{р.о.i}^2}, \text{ кВА} \quad (1.7)$$

Отримані за формулами (1.4) – (1.7) результати розрахунків для освітлення приміщень наводяться в таблиці 1.3.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.3 – Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення приміщень

№ приміщення	Назва приміщення	Площа приміщення $F, \text{ м}^2$	$P_{p.o.i}$ ,Вт/м <sup>2</sup>	Результати розрахунків			
				$P_{уст.o.}$ , кВт	$P_{p.o.}$ , кВт	$Q_{p.o.}$ , кВАр	$S_{p.o.}$ , кВ·А
1	Склад	1080	15	16,2	15,39	0	15,39
2	АБК	310	12	3,72	3,53	0	3,53
3	Склад ЛВЖ	120	11	1,32	1,25	0	1,25
4	Насосна станція	20	13	0,26	0,25	0	0,25
5	Цех №1	1440	16	23,04	21,9	0	21,9
6	Цех №2	1980	14	27,72	26,3	0	26,3

### 1.3 Визначення розрахункового навантаження підприємства

Розрахункове навантаження підприємства необхідне: для вибору номінальної потужності трансформаторів ГПП; визначення економічного значення реактивної потужності; розрахунку потужності пристроїв компенсації реактивної потужності споживача.

Загальне розрахункове активне навантаження  $i$ -го приміщення визначається за формулою:

$$P_{p.c.i} = P_{p.c.i} + P_{p.o.i} \quad (1.8)$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження  $i$ -го приміщення:

$$Q_{p.ц.i} = Q_{p.c.i} + Q_{p.o.i} \quad (1.9)$$

Таким чином, загальне розрахункове повне навантаження  $i$ -го приміщення:

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{P_{p.ц.i}^2 + Q_{p.ц.i}^2} \quad (1.10)$$

Загальне розрахункове активне та реактивне навантаження приміщень підприємства визначають з урахуванням коефіцієнта одночасності збігання максимумів навантаження  $K_o$  цих приміщень:

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^m P_{p.ц.i}, \text{ кВт}, \quad (1.11)$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^m Q_{p.ц.i}, \text{ кВАр}, \quad (1.12)$$

де  $m$  – кількість розрахункових приміщень, шт;

$K_o$  - коефіцієнта одночасності збігання максимумів навантаження ( $K_o = 0,3$ )

Розрахункову повну потужність можна визначити:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (1.13)$$

Отримані за формулами (1.8) – (1.13) результати розрахунків наводяться в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Визначення розрахункового навантаження підприємства

№ приміщення	Назва приміщення	$P_{p.ц}$ , кВт	$Q_{p.ц}$ , кВАр	$S_{p.ц}$ , кВА
1	Склад	27,39	8,4	28,65
2	АБК	26,53	12,42	29,3
3	Склад ЛВЖ	29,25	10,92	31,23
4	Насосна станція	90,25	55,8	106,1
5	Цех №1	25,89	130,41	283,64
6	Цех №2	206,33	86,4	223,7

Усього	631,65	304,35	702,62
Усього з урахуванням $\kappa_0 = 0,3$	1136,96	547,83	1262,06

## 2. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІ

**Головна понижувальна підстанція** – це трансформаторна підстанція з первинною напругою 35-220 кВ, яка живиться від енергосистеми та розподіляє електроенергію при напрузі 6-10 кВ.

Кількість та потужність силових трансформаторів ГПП промислових підприємств вибирають на основі техніко економічного порівняння (ТЕП) варіантів з урахуванням їхньої здатності до перевантажень.

Найбільш часто ГПП промислових підприємств виконують двотрансформаторними (для ЕП 1-ї та 2-ї категорій надійності, а також за наявності нерівномірного графіка навантаження).

Вибрати номінальну потужність трансформаторів ГПП залежно від вихідних даних можна за графіком навантаження чи за розрахунковим повним навантаженням у нормальному режимі роботи з урахуванням режиму електропередавальної організації за реактивною потужністю  $S_{p,n}$ , яке визначається як:

$$S_{p,n} = \sqrt{P_{p,5}^2 + Q_{e,5}^2}, \text{ кВА} \quad (2.1)$$

де  $P_{p,5}$  - розрахункова активна потужність підприємства на V рівні електропостачання (дані з таблиці 1.4);

$Q_{e,5}$  - економічна реактивна потужність на V рівні електропостачання, що споживається підприємством з мережі енергосистеми.

При проектуванні, величину економічної реактивної потужності доцільно визначати за формулою:

$$Q_{e,5} = 0,25P_{p,5} = 0,25 * 3410,89 = 852,72, \text{ кВАр.}$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Розрахункове повне навантаження в нормальному режимі роботи з урахуванням режиму електропередавальної організації за реактивною потужністю  $S_{p.n}$  визначаємо за формулою (1.14):

$$S_{p.n} = \sqrt{3410,89^2 + 852,72^2} = 3411,02 \text{ кВА.}$$

Якщо на ГПП два трансформатори, то номінальна потужність  $S_{ном.т}$  кожного з них має відповідати *двом умовам*.

По-перше, номінальна потужність одного з них не повинна бути менше половини розрахункового повного навантаження ПС  $S_{p.n}$ , обчисленого за формулою (1.14), тому що в разі аварійного вимикання одного з трансформаторів релейним захистом і автоматичного вмикання секційного вимикача пристроєм автоматичного вмикання резерву у розподільному пристрої НН інший трансформатор бере на себе все навантаження підстанції. Тоді цю умову можна записати так:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{p.n}}{2}, \text{кВА} \quad (2.2)$$

За першою умовою мінімальна номінальна потужність трансформаторів ГПП дорівнює:

$$S_{ном.т} \geq \frac{1137,09}{2} = 568,54 \text{ кВА.}$$

Таким чином, для ГПП попередньо вибрано трансформатори типу ТМ-630/6.

*По-друге*, повинна також виконуватись умова:

$$\text{зима: } S_{ном.т} \geq \frac{S_{p.n}}{K_{2ав.з}}, \text{кВА} \quad (2.3)$$

$$\text{літо: } S_{ном.т} \geq \frac{K \cdot S_{p.n}}{K_{2ав.з}}, \text{кВА} \quad (2.4)$$

де  $K_{2ав}$  – коефіцієнт, який визначає величину допустимого аварійного перевантаження залежно від тривалості перевантаження, температури охолодження повітря та величини попереднього навантаження (для літа  $K_{2ав.л} = 2$ , для зими  $K_{2ав.з} = 2$ )

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

К-коефіцієнт відношення літнього розрахункового навантаження до зимового (K=0,85)

За другою умовою:

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{1137,09}{2} = 568,54, \text{ кВА};$$

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{0,85 \cdot 1137,09}{2} = 483,26, \text{ кВА}.$$

Отже, вибрані трансформатори за умовами перевантажень відповідають вимогам.

Остаточно вибираються два трансформатори типу ТМ-630/6, технічні дані яких наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані трансформатора ТМ- 630/6

Тип	Номінальна потужність, кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %
		ВВ	НН	ХХ	КЗ		
ТМ-630/6	630	6	0,4	1,05	7,6	5,5	0,8

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕХУ №1 ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Загальний перелік електрообладнання із вказаними вихідними даними наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Силові електроприймачі механічного цеху

Найменування груп ЕП	Кільк. ЕП п, шт.	Номинальна потужність, кВт		Коеф. викор., $K_B$	Коеф. потужності	
		одного ЕП, $P_{ном}$	загальна, $P_{ном}$		$\cos\varphi$	$tg\varphi$
Бісерна мельниця	4	30	120	0,65	0,7	1,02
Диссольвер	3	27	81	0,5	0,75	0,88
Електротельфер	1	4	4	0,6	0,8	0,75
<b>Усього по СРШ 1</b>	<b>8</b>					
Змішувач	6	3	18	0,4	0,65	1,17
Термопакувальна машина	1	23	23	0,6	0,78	0,8
Насос	6	5	30	0,65	0,7	1,02
Компресор	1	11	11	0,63	0,8	0,75
<b>Усього по СРШ2</b>	<b>14</b>					

## 4. РОЗРАХУНОК СИЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Електричне навантаження – це величина, що характеризує споживання електроенергії окремими приймачами чи групою приймачів. При проектуванні систем електропостачання електричне навантаження в основному задають потужністю чи струмом [2].

У даній роботі визначенню підлягають такі значення навантажень:

- **Розрахункове** – приймається рівним математичному сподіванню максимального навантаження за інтервал часу 30 хв. Необхідне для вибору перерізу струмопровідних частин, номінального струму ЕА, потужності силових трансформаторів та для визначення втрат потужності та напруги;
- **Середнє за максимально завантаженою зміну** – групове навантаження, яке обумовлене неоднаковим завантаження у даний момент часу. Використовується для визначення розрахункового навантаження;
- **Пусковий та піковий струми** – це максимальний короткочасний струм тривалістю в кілька секунд. Необхідні для вибору уставок розчеплювачів АВ та плавких вставок запобіжників.

При розрахунку електричних навантажень у внутрішньоцеховій СЕП виділяють три рівні електропостачання [2]:

- **Перший рівень** – це електричні мережі напругою до 1кВ, які приєднують окремі ЕП до ПРЕ;
- **Другий рівень** – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують СРШ, силові пункти та збірки, ШРА до збірних шин НН ЦТП або до ШМА;
- **Третій рівень** – це збірні шини НН цехових ТП та ШМА.

					БР 3.6.050701.125 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислення розрахункових навантажень цеху на другому та третьому рівнях електропостачання здійснюється *методом розрахункових коефіцієнтів* [3]. Цей метод належить до основних методів розрахунку електричних навантажень та є найбільш точним.

#### 4.1. Розрахунок силових електричних навантажень на першому рівні електропостачання

На *першому* рівні електропостачання навантаження на лінію створюється одним ЕП, тому для всіх таких приєднань при відомому фактичному коефіцієнті завантаження  $k_3$  (в нашому випадку  $k_3 = 1$ ) ЕП розрахункові активні та реактивні навантаження визначаються за формулами

$$p_{p.1} = k_3 \cdot p_{ном} , \quad (4.1)$$

$$q_{p.1} = p_{p.1} \cdot tg\varphi , \quad (4.2)$$

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2} , \quad (4.3)$$

$$I_{p.1} = \frac{s_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} , \quad (4.4)$$

$$I_{пуск} = I_{p.1} \cdot k_{пуск} , \quad (4.5)$$

де  $tg\varphi$  – відповідає паспортному значенню коефіцієнта потужності  $cos\varphi$ , яке характерне для даного ЕП;

$U_{ном}$  – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ;

$k_{пуск}$  – коефіцієнт пуску.

Для конкретних ЕП коефіцієнти пуску приймають за паспортними даними, але якщо вони відсутні то величина пускового струму приймається:

- 5-кратною для АД к короткозамкненим ротором та СД;

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 2,5-кратною для двигунів постійного струму та АД з фазним ротором;
- 1-кратною для електропечей опору.

Отримані за формулами (4.1) – (4.5) результати розрахунків для ЕП цеху наводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання

№ за плано м	Найменування ЕП	P <sub>ном</sub> , кВт	cos φ	tgφ	Розрахункові дані				
					P <sub>р.1</sub> , кВт	q <sub>р.1</sub> , кВар	S <sub>р.1</sub> , кВ· А	I <sub>р.1</sub> , А	I <sub>пуск</sub> , А
1-4	Бісерна мельниця	30	0,7	1,0 2	30	22,5	37,5	56,9 8	284,8 8
5-7	Диссольтвер	27	0,75	0,8 8	27	20,2 5	33,7 5	51,2 8	256,3 9
8	Електротельфер	4	0,8	0,7 5	4	3	5	7,6	37,98
9-14	Змішувач	3	0,65	1,1 7	3	2,5	3,75	5,7	28,49
15	Термопакувальна машина	23	0,78	0,8	23	17,2 5	28,7 5	43,6 8	218,4
16-21	Насос	5	0,7	1,0 2	5	3,75	6,25	9,5	47,48
22	Компресор	11	0,8	0,7 5	11	8,25	13,7 5	20,8 9	104,4 5

## 4.2. Розрахунок силових електричних навантажень на другому рівні електропостачання

На другому рівні електропостачання навантаження на живильну лінію створюється групою ЕП, які приєднані до ПРЕ. Оскільки, одночасно з максимальним навантаженням усі ЕП не працюють, то результуюче навантаження буде менше від суми їх номінальних потужностей. що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних і реактивних навантажень  $K_{p,a}$  і  $K_{p,p}$  відповідно.

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень  $K_{p,a}$  залежить від ефективного числа ЕП  $n_e$ , групового коефіцієнта використання активної потужності  $K_B$  та сталої часу нагрівання мережі  $T_0 = 10$  хв [2].

**Ефективне число ЕП  $n_e$**  – це умовна кількість однорідних за режимом роботи ЕП однакової потужності, яка зумовлює таке саме значення розрахункового навантаження, що і група різних за потужністю ЕП. Величина  $n_e$  визначається за формулою

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n p_{\text{ном.}i})^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{ном.}i}^2}, \quad (4.6)$$

де  $n$  – кількість працюючих ЕП в групі;

$p_{\text{ном.}i}$  – номінальна активна потужність  $i$ -го ЕП.

Знайдене за формулою (4.6) значення  $n_e$  округляється до найближчого меншого цілого числа. Число ефективних ЕП приймається рівним дійсному числу ЕП  $n$ , якщо відношення потужностей найбільшого до найменшого ЕП групи не перевищує 3 ( $p_{\text{ном.макс}}/p_{\text{ном.мін}} \leq 3$ ) [2].

Для груп різних ЕП різної потужності та режиму роботи груповий коефіцієнт використання активної потужності  $K_B$  визначається за формулою

					БР 3.6.050701.125 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^k P_{см.i}}{\sum_{i=1}^k P_{ном.i}}, \quad (4.7)$$

де  $k$  – кількість характерних груп ЕП;

$P_{см.i}$  – групова середня активна потужність за максимально завантажену зміну  $i$ -ї групи ЕП;

$P_{ном.i}$  – групова номінальна активна потужність  $i$ -ї групи ЕП.

$$P_{см.i} = \sum_{i=1}^n k_{в.i} \cdot p_{ном.i}, \quad (4.8)$$

$$P_{ном.i} = \sum_{i=1}^n p_{ном.i}, \quad (4.9)$$

де  $n$  – кількість працюючих ЕП в групі;

$k_{в.i}$  – коефіцієнт використання активної потужності  $i$ -го ЕП;

$p_{ном.i}$  – номінальна активна потужність  $i$ -го ЕП.

Коефіцієнти використання активної потужності  $k_{в}$  наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [5].

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень  $K_{р.а}$  на другому рівні електропостачання наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [3].

На другому рівні електропостачання розрахункове силове активне навантаження  $P_{р.2}$  і розрахункове силове реактивне навантаження  $Q_{р.2}$  для  $n$  ЕП визначаються за формулами

$$P_{р.2} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в.i} \cdot p_{ном.i} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^n p_{см.i}, \quad (4.10)$$

$$Q_{р.2} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в.i} \cdot p_{ном.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном.i} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^n q_{см.i}, \quad (4.11)$$

де  $p_{см.i}$ ,  $q_{см.i}$  – середні активна та реактивна потужності за максимально завантажену зміну  $i$ -го ЕП відповідно;

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$tg\varphi_{ном.i}$  – відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності  $cos\varphi_{ном.i}$ , яке характерне для даного виду ЕП.

У формулі (2.11) коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень  $K_{p,p}$  при числі ефективних ЕП  $n_e \leq 10$  приймається  $K_{p,p} = 1.1$ , а при  $n_e > 10$  приймається  $K_{p,p} = 1$  [2].

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається за формулою

$$S_{p,2} = \sqrt{P_{p,2}^2 + Q_{p,2}^2}, \quad (4.12)$$

При цьому розрахунковий струм дорівнює

$$I_{p,2} = \frac{S_{p,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (4.13)$$

Отримані за формулами (4.6) – (4.13) результати розрахунків для ЕП цеху наводяться в таблиці 4.2. (див. ст. 26)

### 4.3. Розрахунок силових електричних навантажень на третьому рівні електропостачання

На *третьому* рівні електропостачання результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде близьким до значення середнього навантаження за максимально завантаженою зміну, що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних і реактивних навантажень  $K'_{p,a}$  і  $K'_{p,r}$  відповідно [3].

На цьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень  $K'_{p,a}$  також залежить від ефективного числа ЕП  $n_e$ , групового

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнта використання активної потужності  $K_B$  та сталої часу нагрівання мережі  $T_0 = 2,5$  години [2].

На третьому рівні електропостачання через значну кількість ЕП величина ефективної кількості ЕП  $n_e$  визначається за спрощеною формулою

$$n_e = 2 \cdot \sum_{i=1}^m p_{\text{ном.}i} / p_{\text{ном.макс}} , \quad (4.14)$$

де  $m$  – усі ЕП в групі, які живляться від шин НН ЦТП;

$p_{\text{ном.макс}}$  – номінальна активна потужність найбільш потужного ЕП.

Якщо знайдене за формулою (4.14) значення  $n_e > n$ , то приймається  $n_e = n$ . Значення  $n_e$  округляється до найближчого меншого цілого числа.

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень  $K'_{p,a}$  наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [3].

Розрахункове силове активне навантаження  $P_{p,3}$  та розрахункове силове реактивне навантаження  $Q_{p,3}$  на третьому рівні електропостачання визначаються за формулами

$$P_{p,3} = K'_{p,a} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в,i} \cdot p_{\text{ном.}i} = K'_{p,a} \cdot \sum_{i=1}^n P_{см,i} , \quad (4.15)$$

$$Q_{p,3} = K'_{p,a} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{см,i} , \quad (4.16)$$

На третьому рівні електропостачання коефіцієнт розрахункових активних навантажень  $K'_{p,a}$  і розрахункових реактивних навантажень  $K'_{p,p}$  приймаються рівними ( $K'_{p,a} = K'_{p,p}$ ) [2].

Розрахункове повне силове електричне навантаження цеху визначається так:

$$S_{p,3} = \sqrt{P_{p,3}^2 + Q_{p,3}^2} , \quad (4.17)$$

При цьому розрахунковий струм визначається як:

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{p.3} = \frac{S_{p.3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (4.18)$$

де  $U_{ном}$  – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

Розрахункові величини та розрахункові навантаження силових ЕП на третьому рівні електропостачання наводяться у таблиці 4.2. (див. ст. 26)

#### 4.4. Розрахунок навантаження загального та аварійного освітлення цеху

Електричне освітлення виробничих приміщень виконується світильниками, які розподіляють рівномірно по кожній окремій фазі трифазної електричної мережі. Тому електричне освітлення можна розглядати як трифазне навантаження [2].

Розрахункове навантаження загального електричного освітлення цеху визначається *методом коефіцієнта попиту* [4,6,7].

Для цього слід розрахувати номінальне навантаження загального освітлення цеху  $P_{заг.о}$ , яке визначається за формулою

$$P_{заг.о} = k \cdot p_{п.о} \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (4.19)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла. В нашому цеху застосовуються лампи типу ДРЛ, тому приймаємо  $k = 1,1$  [2];

$p_{п.о}$  – питома установлена потужність загального освітлення цеху, кВт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площа цеху, яка підлягає освітленню, м<sup>2</sup>.

Розрахункове активне навантаження загального освітлення цеху визначається так:

$$P_{p.о} = K_{п.о} \cdot P_{заг.о}, \quad (4.20)$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $K_{п.о}$  – коефіцієнт попиту загального освітлення.

Для виробничих будівель, що виконуються у вигляді великих прогонів приймається рівним  $K_{п.о} = 0,95$  [2].

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху визначається як

$$Q_{р.о} = P_{р.о} \cdot tg\varphi_0, \quad (4.21)$$

де  $tg\varphi_0$  – відповідає значенню коефіцієнта потужності  $cos\varphi_0$ , прийнятого для ламп ДРЛ рівним  $cos\varphi_0 = 0,5$

Розрахункове повне навантаження загального освітлення цеху визначається так:

$$S_{р.о} = \sqrt{P_{р.о}^2 + Q_{р.о}^2}, \quad (4.22)$$

При цьому розрахунковий струм дорівнює

$$I_{р.о} = \frac{S_{р.о}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (4.23)$$

Розрахункове навантаження аварійного освітлення приймається 10% від загального.

Результати розрахунків загального та аварійного освітлення цеху наведено у таблиці 4.2 (див. ст. 26).

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зм.	
Арк.	
№ докум.	
Гідус	
Дата	
БР 3.6.050701.125ПЗ	
Арк.	29

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку електричних навантажень

Найменування груп ЕП	Кільк. ЕП п, шт.	Номинальна потужність, кВт		Коеф. викор., $K_b$	Коеф. потужності		Сер. нав. за макс. завантажену зміну		Еф. кільк. ЕП не, шт.	Коеф. розрах. нав.		Розрах. навантаження			Розрах. струм $I_p$ , А
		одного ЕП, $P_{ном}$	загальна, $P_{ном}$		$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , кВар		$K_{p.a}$	$K_{p.p}$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар	$S_p$ , кВ·А	
Бісерна мельниця	4	30	120	0,65	0,7	1,02									
Диссольтвер	3	27	81	0,6	0,75	0,88									
Електротельфер	1	4	4	0,7	0,8	0,75									
<b>Усього по СРШ 1</b>	<b>8</b>		<b>205</b>	<b>0,63</b>			<b>129,4</b>	<b>97,05</b>	<b>7</b>	<b>2,21</b>	<b>2,21</b>	<b>285,974</b>	<b>106,755</b>	<b>305,25</b>	<b>463,78</b>
Змішувач	6	3	18	0,4	0,65	1,17									
Термопакувальна машина	1	23	23	0,75	0,78	0,8									
Насос	6	5	30	0,65	0,7	1,02									
Компресор	1	11	11	0,8	0,8	0,75									
<b>Усього по СРШ2</b>	<b>14</b>		<b>82</b>	<b>0,643</b>			<b>52,75</b>	<b>39,56</b>	<b>7</b>	<b>2,21</b>	<b>2,21</b>	<b>116,58</b>	<b>43,52</b>	<b>124,43</b>	<b>189,06</b>
<b>3-й рівень електропостачання</b>	<b>22</b>		<b>287</b>	<b>0,63</b>			<b>182,15</b>	<b>136,61</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>182,15</b>	<b>136,61</b>	<b>227,69</b>	<b>345,94</b>
Робоче освітлення			36,59		0,5	1,73						34,76	60,14	64,46	105,53
Аварійне освітлення												3,48	6,01	6,94	
<b>Усього на шинах НН ЦТП</b>												<b>220,39</b>	<b>202,25</b>	<b>299,09</b>	<b>451,47</b>

## 4.5. Розрахунок пікових струмів

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП напругою до 1 кВ, при активно індуктивному навантаженні з достатньою точністю можна визначити як арифметичну суму найбільшого з пускових струмів ЕД у групі та розрахункового струму всіх ЕП групи без номінального струму ЕД з найбільшим пусковим струмом [8]:

$$I_{\text{пik}} = I_{\text{пуск.макс}} + (I_{\text{р.2}} - k_{\text{в}} \cdot I_{\text{ном.макс}}), \quad (4.28)$$

де  $I_{\text{р.2}}$  – розрахунковий струм усіх ЕП групи;

$k_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання ЕД з найбільшим пусковим струмом;

$I_{\text{ном.макс}}$  – номінальний струм ЕД за найбільшим пусковим струмом.

Найбільші пускові струми ЕД  $I_{\text{пуск.макс}}$  для групи ЕП вибираються із таблиці 2.1

Отримані результати розрахунків наводяться в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку пікових струмів

Найменування ПРЄ	Дані найпотужнішого ЕП		Розрахунковий струм $I_{\text{р}}, \text{А}$	Піковий струм $I_{\text{пik}}, \text{А}$
	Номінальний струм $I_{\text{ном.макс}}, \text{А}$	Пусковий струм $I_{\text{пуск.макс}}, \text{А}$		
СРШ 1	284,87	284,87	579,25	579,25
СРШ 2	218,41	218,41	398,83	398,83

## 5. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

У даній роботі вибору підлягають перерізи таких провідників:

- кабельні лінії напругою 6 кВ, які з'єднують трансформатори цехових ТП з ЦРП ТОВ «Тессо» ;
- лінії силової живильної мережі напругою до 1 кВ;
- лінії розподільної мережі від СРШ до ЕП;

Вибір перерізу провідників, як і параметрів інших елементів силової мережі, має відповідати їх роботі в нормальному, форсованому, і аварійному режимах СЕП. У загальному випадку переріз провідників вибирають за економічною щільністю струму, нагріванням, втратами й відхиленням напруги, електродинамічною стійкістю й механічною міцністю [2].

### 5.1. Вибір перерізу кабельної лінії 6 кВ

У дипломній роботі вибору підлягає переріз кабельної лінії напругою 6 кВ, яка сполучає трансформатори цехової ТП з ЦРП ТОВ «Тессо». Вибір перерізу провідників, як і параметрів інших елементів силової мережі, повинен відповідати їх роботі в нормальному, аварійному, форсованому (перевантаження) режимах системи електропостачання. Вибір перерізу провідників в загальному випадку визначають по економічній щільності струму, електродинамічній стійкості і механічній міцності. Виберемо переріз кабелю напругою 6 кВ, який живить від ЦРП ТОВ «Тессо» двотрансформаторну КТП з номінальною потужністю трансформатора  $S_{ном.Т} = 630$  кВА.

Прийmemo марку кабель ААБл, кількість годин використання максимуму навантаження за рік  $T_{макс} = 3900$  ч/год , прокладку кабелю передбачити в одній траншеї при температурі ґрунту  $T_{ср} = 15^{\circ}\text{C}$  , коефіцієнт допустимого

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

перевантаження кабелю  $K_{пер} = 1$  , початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ в максимальному режимі  $I_{н.о} = 6 \text{ кА}$ .

Визначимо номінальний первинний струм трансформатора:

$$I_{ном.Т} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3}U_{ном.Т}} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6 \times 10^3} = 60,62 \text{ А}$$

Для кабелів з паперовою ізоляцією з алюмінієвими жилами при  $T_{макс} = 3900 \text{ ч/год}$  з довідкових матеріалів економічна щільність струму  $J_{эк} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ .

Розрахуємо економічно вигідний переріз кабелю в нормальному режимі роботи :

$$S_{эк} = \frac{I_{ном.Т}}{J_{эк}} = \frac{60,62}{1,4} = 43,3 \text{ мм}^2$$

Вибираємо найближчий стандартний переріз кабелю  $S_{эк} = 70 \text{ мм}^2$ .

При нормованій тривало допустимій температурі кабелю марки ААБл напругою 6 кВ з довідкових матеріалів  $T_{ж.н} = 60^\circ\text{C}$  , нормованою тривало допустимій температурі середовища  $T_{ср.н} = 15^\circ\text{C}$  і фактичній температурі довкілля  $T_{ср} = 15^\circ\text{C}$  поправочний коефіцієнт на температуру довкілля визначається за формулою:

$$K_{ср} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{ср}}{T_{ж.н} - T_{ср.н}}} = 1.$$

Поправочний коефіцієнт на кількість кабелів при прокладенні кабелю у землі  $K_{пр} = 0,9$ .

З таблиці довідкових матеріалів для трижильних кабелів марки ААБл напругою 6 кВ і перерізом жили  $70 \text{ мм}^2$  при прокладенні у землі допустимий тривалий струм  $I_{доп} = 190 \text{ А}$  за формулою:

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сп}} K_{\text{пр}} I_{\text{доп}} = 1 \times 0,9 \times 190 = 171 \text{ A}$$

За початковими даними передбачено резервування на стороні НН , тому приймається коефіцієнт допустимого резервування  $K_{\text{рез}} = 1,4$ .

Умова перевірки перерізу кабелю в режимі максимального навантаження виконується за формулою:

$$I'_{\text{доп}} K_{\text{пр}} \geq K_{\text{рез}} I_{\text{ном.Т}} = 1 \times 171 > 1,4 \times 60,62 = 171 > 84,87 \text{ A}$$

З таблиці довідника для кабелів з алюмінієвими суцільними жилами і паперовою ізоляцією при напрузі 6 кВ приймається температурний коефіцієнт  $C = 92 \text{ Aс}^{1/2} / \text{мм}^2$ . Дійсний час КЗ приймається  $t = 0,2 \text{ с}$ .

Найменший переріз кабелю, який є термостійким до струмів КЗ, визначається за формулою:

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{к}} \sqrt{t}}{C} = \frac{6 \times 10^3 \sqrt{0,2}}{92} = 29,2 \text{ мм}^2$$

Таким чином,  $S_{\text{ст}} = 70 \text{ мм}^2 > S_{\text{мин}} = 29,2 \text{ мм}^2$ . Тому, остаточно вибираємо кабель ААБЛ- 6 (3х70).

## 5.2. Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового [2]:

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.2}}, \tag{5.1}$$

де  $I_{\text{р.2}}$  – розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання;

Допустимий тривалий струм для кабелів з урахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

їх довготривалому характері визначається з урахуванням поправкового коефіцієнта  $K_{\text{попр}}$  так:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{нопр}} \cdot I_{\text{доп}}, \text{ А}, \quad (5.2)$$

де  $K_{\text{нопр}} = 0,92$  [2].

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості поправковий коефіцієнт  $K_{\text{нр}} = 1$ , нормована температура  $T_{\text{сер.н}} = 25$  °С.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до великих втрат активної потужності та значних втрат напруги. Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за умов допустимої втрати напруги та відповідності до захисного апарата.

Форсований режим в електричних машинах напругою до 1 кВ буває досить рідко.

Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається як

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{P_{p.2} \cdot R_{\text{кб}} + Q_{p.2} \cdot X_{\text{кб}}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2}, \% \quad (5.3)$$

де  $P_{p.2}$  і  $Q_{p.2}$  – максимальні розрахункові активні і реактивні навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і квар;

$R_{\text{кб}}$  і  $X_{\text{кб}}$  – активний і реактивний опори кабелю відповідно, Ом;

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

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами

$$R_{\text{кб}} = r_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}}, \quad (5.4)$$

$$X_{\text{кб}} = x_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}}, \quad (5.5)$$

де  $r_{\text{п}}$  і  $x_{\text{п}}$  – активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км[2]

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

Для живильної мережі з РУ 0,4 кВ КТП до КТП цеху вибираємо два кабелі меншого перерізу, які прокладені у повітрі, що полегшує умови прокладання та дані заносимо до таблиці 5.1:

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Таблиця 5.1 – Вибір перерізів кабелів живильної мережі

Кабель до ПРЕ	$S_{ст}, мм^2$	$I'_{доп}, А$	$I_{р.2}, А$	$\Delta U_{кб}, \%$	Тип кабелю
Ввідний кабель до цеху	150	203,84	401,71	1,61	АВВГ(4×150)

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

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу(кабелю) розподільних мереж завжди вибирають за умовою нагрівання в нормальному режимі за формулою

$$I'_{доп} \geq I_{р.2}, \quad (5.6)$$

де  $I_{р.1}$  – розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання(номінальний струм ЕП);

Допустимий тривалий струм для проводів  $I_{доп}$  з полівінілхлоридною ізоляцією з алюмінієвими жилами залежно від перерізу, способу прокладання, кількості проводів у трубі наводиться в табл 1.3.5 ПУЕ.

Втрата напруги в проводах у відсотках визначається як

$$\Delta U_{кб} = \frac{p_{р.1} \cdot R_{пр} + q_{р.1} \cdot X_{пр}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \%$$
(5.7)

де  $p_{р.1}$  і  $q_{р.1}$  – максимальні розрахункові активні і реактивні навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і квар;

$R_{кб}$  і  $X_{кб}$  – активний і реактивний опори проводів відповідно, Ом;

$U_{ном}$  - номінальна напруга електричної мережі, кВ;

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за формулами

$$R_{пр} = r_{п} \cdot l_{пр}, \quad (5.8)$$

$$X_{пр} = x_{п} \cdot l_{пр}, \quad (5.9)$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $r_{\Pi}$  і  $x_{\Pi}$  – активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км[2]

$l_{\text{кб}}$ -довжина проводу, км.

Результати розрахунків наводяться в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Вибір перерізу проводів розподільчої мережі від СРШ1 та СРШ2 до електроприймачів

Провід до ЕП	$S_{\text{ст}}, \text{мм}^2$	$I'_{\text{дон}}, \text{А}$	$I_{\text{р.1}}, \text{А}$	$\Delta U_{\text{кб}}, \%$	Тип проводу
1-4	35	78,06	65,11	1,4	АВВГ(4×35)
5-7	25	65,05	54,69	1,53	АВВГ(4×25)
8	2,5	16,48	7,6	0,6	АВВГ(4×2,5)
9-14	2,5	16,48	7,01	0,65	АВВГ(4×2,5)
15	25	65,05	53,76	0,73	АВВГ(4×25)
16-21	2,5	16,48	10,85	2,4	АВВГ(4×2,5)
22	4	23,42	20,9	2,58	АВВГ(4×4)

## 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ

Коротке замикання (КЗ) – це аварійний режим, це випадкове або непередбачене нормальним режимом праці електричне з'єднання різних частин електроустановки між собою або землею, при якому струми в електричних мережах різко підвищуються, перебільшуючи найбільший допустимий струм тривалого режиму,

В системі трифазного змінного струму можуть бути замкнення:

- трифазні КЗ (1-7%);
- двофазні КЗ – дві фази з'єднуються між собою без з'єднань з землею, або з'єднуються між собою та землею;
- однофазні [КЗ (60-92%) – від загальної кількості КЗ] - одна фаза з'єднується з нейтраллю джерела через землю.

Розрахунок струмів короткого замикання виконується для вибору основних апаратів та струмоведучих частин розподільчих пристроїв підстанції, перевірки їх на стійкість дії струмів короткого замикання, для обґрунтування обраних засобів захисту елементів підстанції.

Головними причинами виникнення таких коротких замикань в мережі можуть бути: ушкодження ізоляції окремих частин електроустановки; неправильні дії обслуговуючого персоналу; перекриття струмоведучих частин установки.

Для відвертання коротких замикань і зменшення їх наслідків необхідно: усунути причини, що викликають короткі замикання; зменшити час дії захисту, що діє при коротких замиканнях; застосувати швидкодіючі вимикачі; застосувати АРН для швидкого відновлення напруги генераторів; правильно вичислити величини струмів короткого замикання і по них вибрати необхідну апаратуру, захист і засоби для обмеження струмів короткого замикання.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.1. Розрахунок струмів трифазного КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ

Значення струмів КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ впливають на вибір перерізу проводів і жил кабелів, конструкцію струмопроводів, характеристики комутаційних і захисних апаратів. Тому для забезпечення раціонального проектування внутрішньоцехового електропостачання слід виконати достовірний розрахунок струмів КЗ.

Проведені дослідження струмів КЗ в електричних мережах до 1 кВ свідчать, що фактичні струми КЗ значно нижчі розрахункових.

Для вибору апаратури і захисту, перевірки селективності їх дій визначають максимальний струм трифазного металевого КЗ, в цьому випадку перехідні опори дуги не враховують. Для перевірки чутливості захисту знаходять мінімальний струм КЗ; при цьому враховують усі перехідні опори контактів (рубильників, автоматичних вимикачів, статутних контактів, болтових з'єднань) і опір дуги в місці ушкодження шляхом введення в схему заміщення активного опору.

При розрахунках струмів КЗ в ЕУ змінного струму напругою до 1 кВ допускається:

- 1) застосовувати спрощені методи розрахунків, якщо їх погрішність не перевищує 10 %;
- 2) максимально спрощувати та еквівалентувати всю зовнішню мережу до місця КЗ, індивідуально враховувати тільки автономні джерела і ЕД, які безпосередньо приєднані до місця КЗ;
- 3) не враховувати струми намагнічування трансформаторів;

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

4) не враховувати насичення магнітних систем електричних машин;

5) прийняти коефіцієнти трансформації трансформаторів, які дорівнюють співвідношенню середньої номінальної напруги (37; 20; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,4; 0,23 кВ) тих східців мережі, які зв'язують трансформатори;

6) не враховувати СД, АД або комплексне навантаження, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 1,0 % від початкового діючого значення періодичною складеною струму трифазного КЗ без урахування підживлення від ЕД або комплексного навантаження.

При розрахунках потрібно враховувати активний опір усіх перехідних контактів  $R_k$  в ланцюзі КЗ. Якщо відсутні достовірні дані щодо контактів і їх перехідних опорів, то при обчисленні КЗ ураховують їх умовний сумарний опір у мережах, згідно з такими рекомендаціями [1,3,6]:

- а) На розподільних пристроях НН трансформаторів НН трансформаторів ПС-  $R_{k1}=15$  мОм
- б) На первинних цехових розподільних пунктах (СРШ, збірках) і на затискачах ЕА, які живляться радіальними лініями від НН ПС -  $R_{k2}=20$  мОм
- в) На вторинних цехових розподільних пунктах і на затискачах ЕА, які живляться від первинних розподільних пунктів -  $R_{k3}=25$  мОм
- г) На затискачах ЕА, установлених безпосередньо у ЕП, які живляться від вторинних розподільних пунктів -  $R_{k4}=30$  мОм

Розрахуємо струм трифазного КЗ в початковий момент часу та ударний струм в електричній мережі напругою до 1 кВ в точках К1, К2, К31, К32, К41, К42, К43, К44 для схеми на рисунку 6.1 та рисунку 6.2.

Вихідні дані:

Система:  $I_{n(0)c} = 6$  кА,  $U_{ном. ВН} = 6$  кВ.

Трансформатори струму : ТА1 з коефіцієнтом трансформації 100/5.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Трансформатор типу ТМ - 630/6,  $S_{ном.Т} = 630 \text{ кВА}$ ,  $U_{ном.ВН}=6 \text{ кВ}$ ,  
 $U_{ном.НН} = 0,4 \text{ кВ}$ .

Автомати:

ВА 55-41  $I_{ном.а.1.}=1000 \text{ А}$ ,

ВА 51-39  $I_{ном.а.2.}=800 \text{ А}$ ,

АЕ2040  $I_{ном.а3.1.}=63 \text{ А}$ ,

АЕ2030  $I_{ном.а3.1.}=25 \text{ А}$ ,

АП 50  $I_{ном.а3.1.}=50 \text{ А}$ ,

АЕ2030  $I_{ном.а3.1.}=25 \text{ А}$ ,

Кабельні лінії:

К61: ААБЛ-6(3x70);  $l_{к61}=440 \text{ м}$ ;

К621, К622 : АВВГ(4 x150);  $l_{к62}=40 \text{ м}$ ;

Провід до Бісерної мельниці №1: АВВГ(4 x35);  $l_{пр.1}=70 \text{ м}$ ;

Провід до Електротельфера №3: АВВГ(4 x2,5);  $l_{пр.1}=17 \text{ м}$ ;

Провід до Термопакувальної машини №5: АВВГ(4 x25);  $l_{пр.1}=35 \text{ м}$ ;

Провід до Компресора №7: АВВГ(4 x4);  $l_{пр.1}=43 \text{ м}$ ;

Базисна напруга ступеню в електричній мережі напругою до 1 кВ:

$$U_6=1,05 \times U_{ном.ТТ}=1,05 \times 380=400 \text{ В.}$$

На рисунку 6.1 та рисунку 6.2 приводимо розрахункову схему та схему КЗ для розрахунку струмів трифазного КЗ цеху №1.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



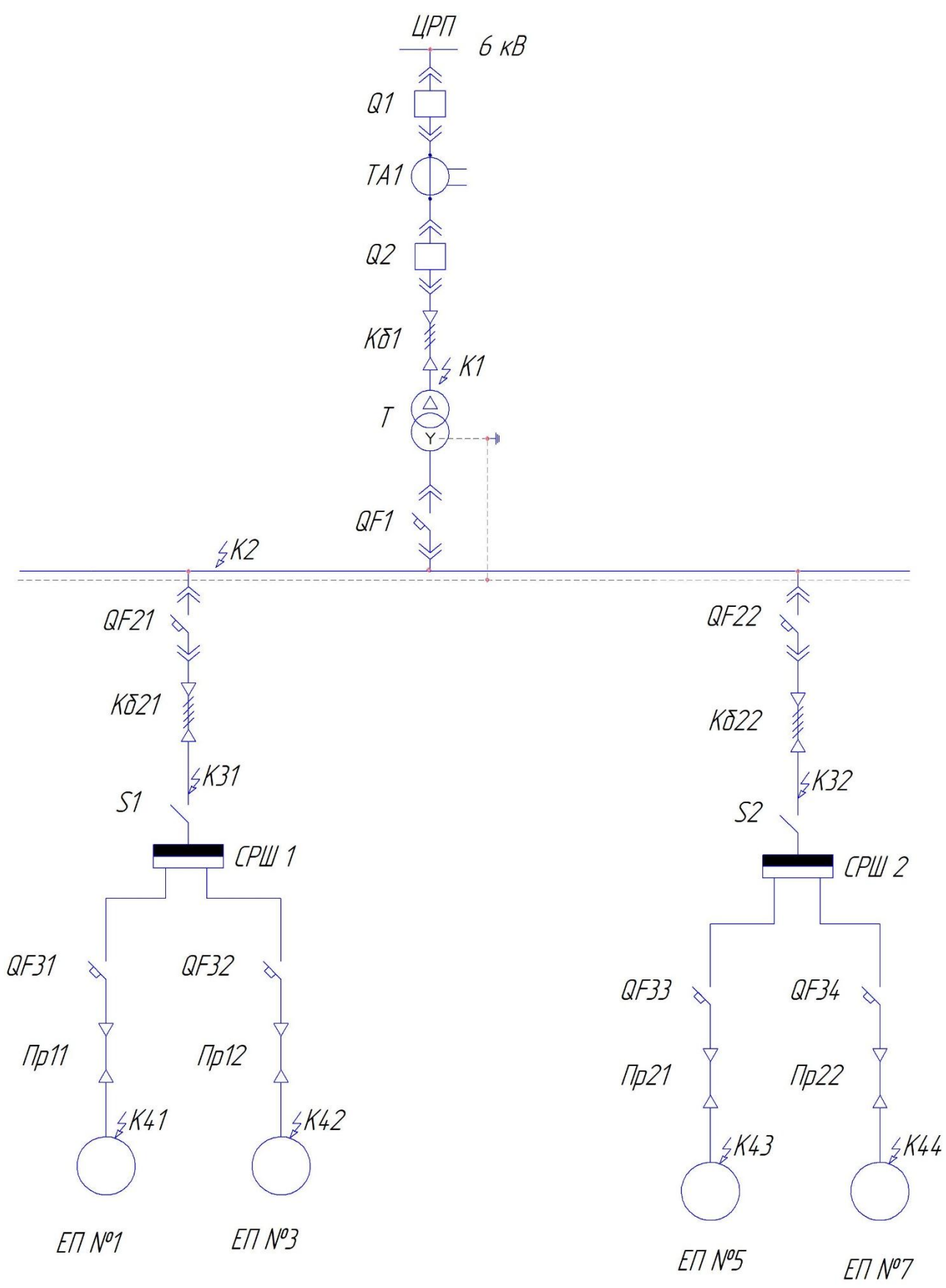


Рисунок. 6.1 - Розрахункова схема для розрахунку струмів трифазного КЗ.

					БР 3.6.050701.125 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

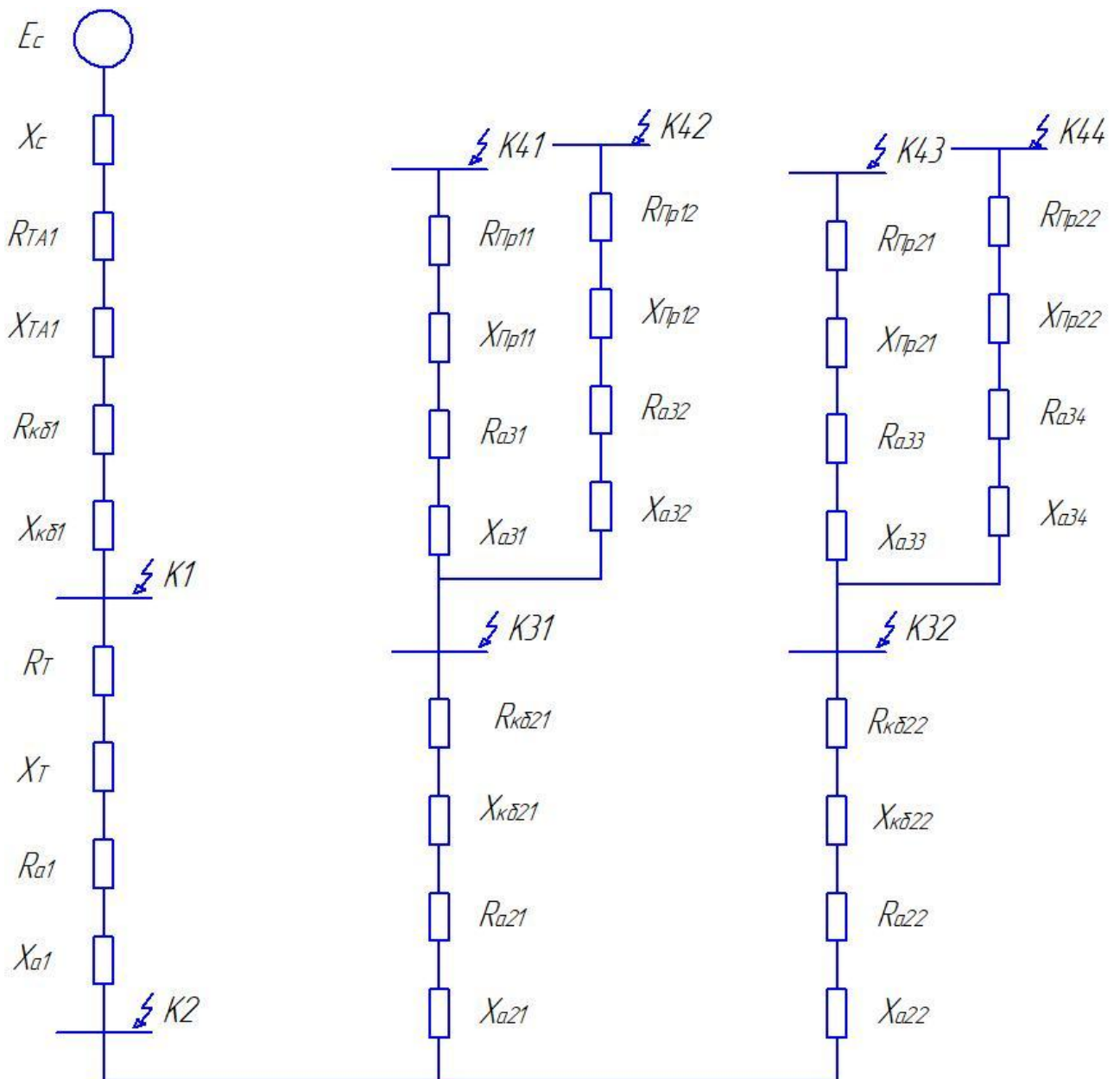


Рисунок. 6.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів трифазного КЗ.

**1 етап.** Зробимо розрахунок параметрів елементів схеми.

- 1) Індуктивний опір системи, який приведений до ступеню НН, визначається за формулою:

$$X_c = \frac{U_{ном.ср.НН}^2}{\sqrt{3} I_{к.ВН} U_{ном.ср.ВН}}$$

де  $U_{ном.ср.НН}$  - середня номінальна напруга мережі, яка приєднана до обмотки НН трансформатора, В;

$U_{ном.ср.ВН}$  - середня номінальна напруга мережі, до якої приєднана обмотка

					БР 3.6.050701.125 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВН трансформатора, В;

$I_{к.ВН} = I_{n(0)ВН}$  - діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у виводів обмотки ВН трансформатора, кА.

Отже:

$$X_c = \frac{400^2}{\sqrt{3} \times 6 \times 6300} = 2,44 \text{ мОм};$$

З таблиць для кабельної лінії напругою 6 кВ питомі опори такі:  
 $r_n = 0,447 \text{ мОм/м}$ ,  $x_n = 0,082 \text{ мОм/м}$ . Активний і індуктивний опір кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{кбл} = r_{уд} l_{кбл} \frac{U_{ном.сп.НН}}{U_{ном.сп.ВН}} = 0,447 \times 440 \frac{400}{6300} = 12,487 \text{ мОм}$$

$$X_{кбл} = x_{уд} l_{кбл} \frac{U_{ном.сп.НН}}{U_{ном.сп.ВН}} = 0,082 \times 440 \frac{400}{6300} = 2,29 \text{ мОм}$$

Активне і індуктивне опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{к.ном.} U_{ном.НН}^2}{S_{ном.Т}^2} 10^6$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left( \frac{100 P_{к.ном.}}{S_{ном.Т}} \right)^2} \frac{U_{ном.НН}^2}{S_{ном.Т}} 10^4 ;$$

де  $P_{к.ном.}$  - номінальні втрати КЗ в трансформаторі, кВт;

$U_{ном.НН}$  - номінальна напруга обмотки НН трансформатора, кВ;

$S_{ном.Т}$  - номінальна потужність трансформатора, кВА.

З каталожних даних втрати КЗ  $P_{к.ном.} = 7,6 \text{ кВт}$ , напруга КЗ  $u_k = 5,5\%$

Отже:

$$R_T = \frac{7,6 \times 0,4^2}{630^2} 10^6 = 3,06 \text{ мОм}$$

$$x_T = \sqrt{5,5^2 - \left( \frac{100 \times 7,6}{630} \right)^2} \times \frac{0,4^2}{630} \times 10^4 = 13,63 \text{ мОм}$$

З табличних даних для ТС (ТА) з коефіцієнтом трансформації 100/5 для класу точності 1 приймається  $R_{ТА1} = 2,7 \text{ мОм}$ ,  $X_{ТА1} = 1,7 \text{ мОм}$ .

З табличних даних для автоматичного вимикача ВА55-41 приймається  $R_{а1} = 0,25 \text{ мОм}$ ,  $X_{а1} = 1 \text{ мОм}$ .

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

З табличних даних для автоматичного вимикача ВА51-39 приймається  
 $R_{a21} = R_{a22} = 0,3 \text{ мОм}$ ,  $X_{a21} = X_{a22} = 0,12 \text{ мОм}$ .

З табличних даних для автоматичного вимикача АЕ2040 приймається  
 $R_{a31} = 4 \text{ мОм}$ ,  $X_{a31} = 2,2 \text{ мОм}$ .

З табличних даних для автоматичного вимикача АЕ2030 приймається  
 $R_{a32} = 9 \text{ мОм}$ ,  $X_{a32} = 5,5 \text{ мОм}$ .

З табличних даних для автоматичного вимикача АП 50 приймається  
 $R_{a33} = 7 \text{ мОм}$ ,  $X_{a33} = 4,5 \text{ мОм}$ .

З табличних даних для автоматичного вимикача АЕ2030 приймається  
 $R_{a34} = 9 \text{ мОм}$ ,  $X_{a34} = 5,5 \text{ мОм}$ .

З табличних даних для кабельної лінії напругою до 1 кВ (Кб2) питомі опори такі:

$$r_n = 0,208 \text{ мОм/м}$$
,  $x_n = 0,079 \text{ мОм/м}$ .

Активний і індуктивний опір кабельної лінії Кб21 та Кб22 визначаються:

$$R_{кб21} = R_{кб22} = 0,208 \times 40 = 8,32 \text{ мОм/м}$$
,

$$X_{кб21} = X_{кб22} = 0,079 \times 40 = 3,16 \text{ мОм/м}$$
.

З табличних даних для дроту до Бісерної мельниці питомі опори такі :

$$r_{y\delta} = 0,894 \text{ мОм/м}$$
,  $x_{y\delta} = 0,088 \text{ мОм/м}$ .

$$R_{np31} = 0,894 \times 70 = 62,58 \text{ мОм/м}$$
,

$$X_{np31} = 0,088 \times 70 = 6,16 \text{ мОм/м}$$
.

**Наведений приклад розрахунку для трифазного КЗ до Бісерної мельниці №1**

**Етап 2.** Визначення діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент у різних точках схеми.

1) Визначення струму трифазного КЗ в точці К1. Сумарні опори відносно точки К1 визначаються так:

$$R_{\Sigma k1} = R_{TA} + R_{кб1} + R_{к1} = 2,7 + 12,5 + 15 = 30,18 \text{ мОм}$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$X_{\Sigma k1} = X_c + X_{TA} + X_{\kappa\delta 1} = 2,44 + 1,7 + 2,3 = 6,43 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{R_{\Sigma k1}^2 + X_{\Sigma k1}^2} = \sqrt{30,18^2 + 6,43^2} = 30,88 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3}Z_{\Sigma k1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 30,88} = 7,78 \text{ кА}$$

2) Визначення струму трифазного КЗ в точці К2. Сумарні опори відносно точки К2 визначаються так:

$$R_{\Sigma k2} = R_{TA} + R_{\kappa\delta 1} + R_{a.1} + R_T + R_{\kappa 2} = 2,7 + 12,5 + 0,25 + 3,06 + 20 = 38,5 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma k2} = X_c + X_{TA} + X_{\kappa\delta 1} + X_T + X_{a.1} = 2,44 + 1,7 + 2,3 + 13,63 + 0,1 = 20,16 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{R_{\Sigma k2}^2 + X_{\Sigma k2}^2} = \sqrt{38,5^2 + 20,16^2} = 43,47 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3}Z_{\Sigma k2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 43,47} = 5,31 \text{ кА}$$

3) Наступним етапом буде визначення струму трифазного КЗ в точці К31.

Сумарні опори відносно точки К31 визначаються так:

$$R_{\Sigma k31} = R_{\Sigma k2} + R_{a21} + R_{\kappa\delta 21} + R_{k3} = 38,5 + 0,3 + 8,32 + 25 = 72,12 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma k31} = X_{\Sigma k2} + X_{a21} + X_{\kappa\delta 21} = 20,16 + 0,12 + 3,16 = 23,44 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma k31} = \sqrt{R_{\Sigma k31}^2 + X_{\Sigma k31}^2} = \sqrt{72,12^2 + 23,44^2} = 75,85 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

					БР 3.6.050701.125 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$I_{K31(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3}Z_{\Sigma k3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 75,85} = 3,04 \text{ кА}$$

3) Визначення струму трифазного КЗ в точці К41. Сумарні опори відносно точки К41 визначаються так:

$$R_{\Sigma k41} = R_{\Sigma k3} + R_{a31} + R_{np31} + R_{k4} = 72,12 + 0,3 + 8,32 + 2,15 + 62,58 + 30 = 136,85 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma k41} = X_{\Sigma k3} + X_{a31} + X_{np31} = 23,44 + 1,2 + 6,16 = 31,8 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma k41} = \sqrt{R_{\Sigma k41}^2 + X_{\Sigma k41}^2} = \sqrt{136,85^2 + 31,8^2} = 171,69 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K41(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3}Z_{\Sigma k3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 171,69} = 1,35 \text{ кА}$$

**Етап 3.** Визначення ударних струмів у різних точках схеми.

1) Ударний струм у точці К1:

$$i_{yK1} = k_{yK1} \sqrt{2} I_{K1(0)}, \text{ кА,}$$

$$i_{yK1} = 1,5 \sqrt{2} \times 7,48 = 13,75 \text{ кА}$$

2) Ударний струм у точці К2:

$$i_{yK2} = k_{yK2} \sqrt{2} I_{K2(0)}, \text{ кА,}$$

$$i_{yK2} = 1,3 \sqrt{2} \times 5,31 = 7,51 \text{ кА}$$

3) Ударний струм у точці К31:

Від енергосистеми

$$i'_{yK31} = k_{yK31} \sqrt{2} I_{K31(0)}, \text{ кА,}$$

$$i'_{yK31} = 1,3 \sqrt{2} \times 3,04 = 4,31 \text{ кА}$$

Від АД

$$i''_{yK31} = k_{\text{пуск}} \sqrt{2} (n \times I_{\text{ном.д}}), \text{ кА,}$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$i''_{yK31} = 5\sqrt{2} \times (4 \times 30 + 1 \times 4) = 0,876 \text{ кА}$$

Результуюче значення ударного струму КЗ визначається як

$$i_{yK31} = i'_{yK31} + i''_{yK31}, \text{ кА,}$$

$$i_{yK31} = 4,31 + 0,876 = 5,18 \text{ кА}$$

4) Ударний струм у точці К4:

$$i_{yK41} = k_{yK41} \sqrt{2} I_{K41(0)}, \text{ кА,}$$

$$i_{yK41} = 1,3\sqrt{2} \times 1,35 = 1,9 \text{ кА}$$

Результати розрахунку струмів трифазного КЗ в початковий момент часу в електричній мережі напругою до 1 кВ в точках К1, К2, К31, К32, К41, К42, К43, К44 наводяться в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Результати розрахунку струмів трифазного КЗ в точках К1, К2, К31, К32, К41, К42, К43, К44 електричної мережі 0,4 кВ

Точка КЗ	Діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ в початковий момент $I_{K(0)}$ , кА	Ударний струм $i_y$ , кА
К1	7,48	13,75
К2	5,31	7,51
К31	3,04	5,18
К32	3,04	4,55
К41	1,35	1,9
К42	0,71	1,0
К43	2,05	2,9
К44	2,01	2,84

## 6.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання

Однофазні КЗ розраховують для перевірки надійності відключення лінії у разі пробою ізоляції і появи на корпусі устаткування потенціалу, величина якого небезпечна для життя персоналу. Тому інтерес складає мінімально можлива величина струму однофазного КЗ, яка буде у кінці ділянки, яка захищається, тому що цей струм має бути достатнім для спрацьовування захисту (запобіжника, розчеплювача, автоматичного вимикача або вимикача або запобіжника в ланцюзі 6 (10) кВ, якщо захист в ланцюзі 0,38 кВ нечутлива).

Якщо потужність живлячої енергосистеми значна, початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного металевих КЗ в електричній мережі напругою до 1 кВ рекомендується визначати за формулою:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3}}$$

де  $U_\phi$  - фазна напруга мережі, В;

$Z_T^{(1)}$  - повний опір знижувального трансформатора струмам однофазного КЗ, значення якого залежно від потужності і схеми з'єднання трансформаторів набуває з табличних даних.

З табличних даних для трансформатора з номінальною потужністю 1 кВА і схемою з'єднання обмоток трансформатора "трикутник-зірка з нейтраллю", повний опір струму однофазного КЗ. Тоді струм однофазного металевих КЗ в точці К2 буде рівний:

$$I_{K1-1}^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3}} = 15,71 \text{ кА};$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



З табличних даних повні питомі опори ланцюга "фаза-нуль" для чотирижильних кабелів і дротів з мідними жилами такі:

$$Z_{y\delta.nm.k\bar{b}} = 0,67 \text{ мОм/м}; Z_{y\delta.nm.np} = 1,80 \text{ мОм/м};$$

Повний опір петлі "фаза-нуль" до точки К3 визначається за формулою:

$$Z_{nm.2} = Z_{k\bar{b}} = Z_{y\delta.nm.k\bar{b}} l_{k\bar{b}} = 0,67 \times 40 = 26,8 \text{ мОм},$$

Струм однофазного металевого КЗ в точці К3 :

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{nm2}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 26,8} = 5,4 \text{ кА};$$

Повний опір петлі "фаза-нуль" до точки К4 визначається за формулою:

$$Z_{nm.3} = Z_{nm2} + Z_{nm.np} = Z_{nm2} + Z_{y\delta.nm.k\bar{b}} l_{np} = 26,8 + 0,78 \times 70 = 81,4 \text{ мОм},$$

Струм однофазного металевого КЗ в точці К4 :

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{nm3}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 81,4} = 2,31 \text{ кА};$$

Результати розрахунку струмів однофазного КЗ в електричній мережі напругою до 1 кВ в точках К2, К3, К4 наводяться в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Результати розрахунку струмів однофазного КЗ в різних точках електричної мережі напругою до 1 кВ

Точка КЗ	Струм однофазного КЗ, кА
К2	15,71
К3	5,4
К4	2,31

## 7. ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

**Автоматичний повітряний вимикач (автомат)** - це комутаційний апарат, призначений для автоматичного розмикання електричних ланцюгів при ненормальних режимах (струмах КЗ або перевантажень) і нечастих включеннях і розмиканні в нормальних режимах роботи.

Для виконання захисних функцій в автоматичного вимикача застосовуються такі види розчеплювачів : тільки теплові або тільки електромагнітні, комбіновані (тепловий і електромагнітний), напівпровідникові, мікропроцесорні. Теплові розчеплювачі здійснюють захист від струмів перевантаження, електромагнітні, - від струмів КЗ. Напівпровідниковий розчеплювач має канал захисту в зоні струмів перевантаження, який видає команду на відключення автоматичного вимикача з витримкою часу, а канал захисту в зоні КЗ спрацьовує з витримкою часу, яка не залежить від струму, і вихідний сигнал діє на котушку незалежного розчеплювача, що викликає спрацьовування автоматичного вимикача. Напівпровідникові розчеплювачі мають кращі характеристики, ніж електромеханічні, за швидкодією, чутливістю, селективністю і надійністю.

Автоматичні вимикачі мають нерегульовані і регульовані розчеплювачі. У нерегульованих розчеплювачів відсутнє пристосування для регулювання уставки в процесі монтажу і експлуатації, вони відрегульовані на конкретний номінальний струм на заводі виготовлювачі. У регульованих розчеплювачів уставки регулюють шляхом впливу на механічну систему автомата або на спеціальний пристрій, який міняє час спрацьовування автоматичного вимикача. Для схеми внутрішньоцехового електропостачання виберемо автомати.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7.1 Вибір автоматичних вимикачів введення

Номінальна потужність трансформатора,  $S_{ном.Т} = 630 \text{ кВА}$ , тому вибирається КТП- 630/6, яка комплектується шафою введення типу ШНВ-2УЗ (з довідкових даних). У цій шафі встановлюється автомат введення ВА55-41-селективний з напівпровідниковим розчеплювачем серії БПР. Характеристика захисту-обмежено залежна, а для селективних автоматичних вимикачів-триступінчаста.

Таблиця. 7.1 – Трьох полюсний автоматичний вимикач ВА55-41

Тип автоматичного вимикача	Номінальний струм автоматичного вимикача $I_{ном.а}, \text{А}$	Регульовані уставки напівпровідникового розчеплювача				$\frac{I_{с.п}}{I_{ном.р}}$	ОГКЗ в ланцюзі 380 В, діюче значення, кА
		$\frac{I_{ном.р}}{I_{ном.а}}$	$\frac{I_{с.о}}{I_{ном.р}}$	$t_{с.о}, \text{с}$	$t_{с.п}, \text{с}$ при струмі $6I_{ном.р}$		
ВА 55-41	1000	0,63; 0,8; 1,0;	2;3 5;7	0,1; 0,2; 0,3;	4; 8; 16	1,25	60

ОГКЗ - вимикаюча гранична комутаційна можливість. Номінальна напруга цього автоматичного вимикача вибирається як:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.с};$$

$$660\text{В} > 380\text{В}$$

Визначимо вторинний струм трансформатора:

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$I_{ном.Т2} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3}S_{ном.Т2}} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 957,2 \text{ A}$$

Форсований струм трансформатора визначається:

$$I_{\phi} = K_{рез.} I_p = 1 \times 957,2 = 957,2 \text{ A};$$

Номінальний струм автоматичного вимикача і номінальні струми розчеплювачів не мають бути менше ніж струм форсованого режиму. Тоді номінальний струм автоматичного вимикача ВА55-41:

$$I_{ном.а} = 1000 \text{ A} > I_{\phi} = 957,2 \text{ A};$$

Для автоматичного вимикача ВА55-41 відношення  $\frac{I_{ном.р}}{I_{ном.а}}$  складає 0,63; 0,8; 1,0. Тоді номінальний струм напівпровідникового розчеплювача :

$$I_{ном.р} = II_{ном.а} = 1 \times 1000 = 1000 \text{ A} > I_{\phi} = 957,2 \text{ A};$$

Для автоматичного вимикача ВА55-41 відношення струму спрацьовування перенапруження теплового розчеплювача до номінального струму розчеплювача  $\frac{I_{с.п}}{I_{ном.р}}$  складає 1,25

Таким чином, струм спрацьовування перенапруження теплового розчеплювача :

$$I_{с.п} = 1,25 I_{ном.р} = 1,25 \times 1000 = 1250 \text{ A}$$

Уставка струму спрацьовування від перенапруження  $I_{с.п}$  вибирається по умові:

$$I_{с.п} > KI_p;$$

де:  $I$  - коефіцієнт, який приймається 1,1 для автоматичного вимикача введення QF1.

Тоді:

$$I_{с.п} = 1250 \text{ A} > 1,1 \times 957,2 = 1052,9 \text{ A};$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Для автоматичних вимикачів ВА55-41 відношення струму спрацьовування відсічення до номінального струму розчеплювача  $\frac{I_{c.o}}{I_{ном.p}}$  складе 2;3;5;7.

Тоді струм спрацьовування відсічення :

$$I_{c.o} = 7I_{ном.p} = 7 \times 1000 = 7000 \text{ A};$$

Тоді

$$I_{c.o} \geq (6-10)I_{ном.T} = 7000 \text{ A} > 6 \times 957,2 = 5743,2 \text{ A};$$

Як комутаційний апарат автомати перевіряють на здатність відключення по умові:

$$I_{ном.o.a} \geq I_{n.o} = I_{к}^{(3)}$$

де  $I_{ном.o.a}$  - номінальний струм відключення автоматичного вимикача за нормованих умов роботи.

$I_{n.o} = I_{к}^{(3)}$  - початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ.

При перевірці відключення струму трифазного КЗ автоматом введення береться струм трифазного КЗ в точці До.  $I_{к1(0)} = 7,48 \text{ кА}$ . Для автоматичних вимикачів ВА55-41 ОГКЗ при  $I_{ном.a} = 1000 \text{ A}$  складає  $I_{ном.v.a} = 60 \text{ кА}$ .

Тоді

$$60 \text{ кА} > 7,48 \text{ кА}.$$

Для чутливості захисту (надійного її спрацьовування) мінімальний струм КЗ (струм однофазного КЗ) повинен перевищувати уставки розчеплювачів: для розчеплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового) з номінальним струмом більше 100 А:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,25 I_{c.o}$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм однофазного КЗ на шинах НН КТП  $I_k^{(1)}=15,71 \text{ кА}$ . Отже:

$$I_k^{(1)} = 15,71 \text{ кА} > 1,25 \times 7 = 8,75 \text{ кА}.$$

Остаточно вибирається автомат ВА55-41 з такими параметрами:

$U_{ном.а} = 660 \text{ В}; I_{ном.а} = 1000 \text{ А}; I_{ном.р} = 1000 \text{ А}; I_{с.п} = 1250 \text{ А}; I_{с.о} = 7000 \text{ А}; I_{ном.в.а} = 60 \text{ кА}.$

Результати вибору ЕА зручно подати вище в виді таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Каталожні і розрахункові дані автомату вводу типу ВА51-35

Умови вибору автоматичного вимикача	Каталожні данні автоматичного вимикача ВА51-35	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$	$U_{ном.с} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомату $I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.а} = 1000 \text{ А}$	$I_{\phi} = 957,2 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплення $I_{ном.р} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.р} = 1000 \text{ А}$	$I_{\phi} = 957,2 \text{ А}$
За номінальним струмом його розчеплювачів $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 1000 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 1000 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{с.п} \geq 1,1 I_{\phi}$	$I_{с.п} = 1250 \text{ А}$	$I_{с.п} = 1052,9 \text{ А}$
За умовою відстройки від пікових струмів	$I_{с.в} = 7000 \text{ А}$	$I_{с.о} = 5743,2 \text{ А};$

$I_{c.в} \geq (6-10)I_{ном.т}$		
За номінальним струмом відключення автомату $I_{ном.с.в} \geq I_{п.0}$	$I_{ном.с.в} = 60 \text{ кА.}$	$I_{к(0)} = 7,48 \text{ кА}$
За умовою чутливості $I_{к}^{(1)} \geq 1,25I_{с.в}$	$1,25 I_{с.в} = 1,25 \times 7 = 8,75 \text{ кА.}$	$I_{к}^{(1)} = 15,71 \text{ кА}$

## 7.2 Вибір секційного автоматичного вимикача

Номінальна потужність трансформатора,  $S_{ном.Т} = 630 \text{ кВА}$ , тому вибирається КТП- 630/6, яка комплектується шафою введення типу ШНС-2У3 (з довідкових даних). У цій шафі встановлюється автомат введення ВА55-41(секційний). Дані цього автоматичного вимикача наводяться в таблиці 6.1. Номінальна напруга цього автоматичного вимикачу вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В.}$$

Номінальний вторинний струм трансформатора  $I_{ном.Т2} = 957,2 \text{ А}$ . При визначенні форсованого струму для вибору секційного автоматичного вимикачу коефіцієнт резервування приймається  $K_{рез} = 0,7$ , тоді форсований струм трансформатора визначається:

$$I_{ф} = K_{рез} \cdot I_p = 0,7 \times 957,2 = 670 \text{ А};$$

Номінальний струм автоматичних вимикачів і номінальні струми розчеплювачів не мають бути менше ніж струм форсованого режиму. Тоді номінальний струм автоматичного вимикачу ВА55-41:

$$I_{ном.а} = 1000 \text{ А} > I_{ф} = 670 \text{ А};$$

					<b>БР 3.6.050701.125 ПЗ</b>	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для автоматичного вимикача ВА55-41 відношення  $\frac{I_{ном.р}}{I_{ном.а}}$  складає 0,63;0,8;1,0. Тоді номінальний струм напівпровідникового розчеплювача :

$$I_{ном.р} = II_{ном.а} = 1 \times 1000 = 1000 \text{ A} > I_{\phi} = 670 \text{ A};$$

Для автоматичного вимикача ВА55-41 відношення струму спрацьовування перенапруження теплового розчеплювача до номінального струму розчеплювача  $\frac{I_{с.п}}{I_{ном.р}}$  складає 1,25

Таким чином, струм спрацьовування перенапруження теплового розчеплювача :

$$I_{с.п} = 1,25I_{ном.р} = 1,25 \times 1000 = 1250 \text{ A}$$

Уставка струму спрацьовування від перенапруження вибирається по умові:

$$I_{с.п} > KI_p;$$

тоді:

$$I_{с.п} = 1250 \text{ A} > 1,1 \times 957,2 = 1052,9 \text{ A};$$

Для автоматичних вимикачів ВА55-41 відношення струму спрацьовування відсічення до номінального струму розчеплювача  $\frac{I_{с.о}}{I_{ном.р}}$  складе 2;3;5;7.

Тоді струм спрацьовування відсічення :

$$I_{с.в} = 7I_{ном.р} = 7 \times 1000 = 7000 \text{ A};$$

Тоді

$$I_{с.в} \geq (6-10)I_{ном.Т} = 7000 \text{ A} > 6 \times 957,2 = 5743,2 \text{ A};$$

Як комутаційний апарат автомати перевіряють на здатність відключення по умові:

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$I_{ном.о.а} \geq I_{п.о} = I_{к}^{(3)}$$

де  $I_{ном.о.а}$  - номінальний струм відключення автоматичного вимикача за нормованих умов роботи.

$I_{п.о} = I_{к}^{(3)}$  - початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ.

При перевірці відключення струму трифазного КЗ автоматом введення береться струм трифазного КЗ в точці До.  $I_{к1(0)}=7,48$  кА. Для автоматичних вимикачів ВА55-41 ОГКЗ при  $I_{ном.а}=1000$  А складає  $I_{ном.о.а}=60$  кА.

Тоді

$$60 \text{ кА} > 7,48 \text{ кА.}$$

Для чутливості захисту (надійного її спрацьовування) мінімальний струм КЗ (струм однофазного КЗ) повинен перевищувати уставки розчеплювачів: для розчеплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового) з номінальним струмом більше 100 А:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,25 I_{с.в}$$

Струм однофазного КЗ на шинах НН КТП  $I_{к1}^{(1)}=15,71$  кА. Отже:

$$I_{к}^{(1)}=15,71 \text{ кА} > 1,25 \times 7 = 8,75 \text{ кА.}$$

Остаточно вибирається автомат ВА55-41 з такими параметрами:

$U_{ном.а}=660$  В;  $I_{ном.а}=1000$  А;  $I_{ном.р}=1000$  А;  $I_{с.н}=1250$  А;  $I_{с.о}=7000$  А;  $I_{ном.о.а}=60$  кА.

Результати вибору ЕА зручно подати нижче в виді таблиці 7.3.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 7.3 - Каталожні і розрахункові дані автомату вводу типу ВА51-35

Умови вибору автоматичного вимикача	Каталожні данні автоматичного вимикача ВА51-35	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$	$U_{ном.а} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомату $I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.а} = 1000 \text{ А}$	$I_{\phi} = 670 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплення $I_{ном.р} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.р} = 1000 \text{ А}$	$I_{\phi} = 670 \text{ А}$
За номінальним струмом автомату та його розчеплювачів $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 1000 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 1000 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{с.н} \geq 1,1 I_{\phi}$	$I_{с.н} = 1250 \text{ А}$	$I_{с.н} = 1052,9 \text{ А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{с.в} \geq (6-10)I_{ном.т}$	$I_{с.о} = 7000 \text{ А}$	$I_{с.о} = 5743,2 \text{ А};$
За номінальним струмом відключення автомату	$I_{ном.о.а} = 60 \text{ кА.}$	$I_{к(0)} = 7,48 \text{ кА}$

$I_{ном.о.а} \geq I_{н.0}$		
За умовою чутливості $I_K^{(1)} \geq 1,25 I_{с.в}$	$1,25 I_{с.в} = 1,25 \times 7 = 8,75$ кА.	$I_K^{(1)} = 15,71$ кА

### 7.3 Вибір лінійних автоматичних вимикачів

Виберемо автомат QF21, який захищає живлячу лінію до СРШ1. Розрахунковий струм  $I_{р1} = 463,78$  А (з попередніх пунктів), тому для КТП вибирається шафа типу ШНЛ-6У3 (з довідкових матеріалів). Вибирається автомат ВА51-39 струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами. Дані цього автоматичного вимикачу наводяться в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 - Триполюсний автоматичний вимикач ВА51-39

Тип автоматичного вимикача	Номинальний струм автомата, А	Номинальний струм теплового розчеплювача, А	$\frac{I_{с.в}}{I_{ном.р}}$	$I_{с.в}$ для виконання без теплового розчеплювача, А	ВГКЗ у ланцюгу 380 В, діюче значення, кА
ВА51-39	800	500	9	8000	42

Номинальна напруга цього автоматичного вимикача вибирається як:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В.}$$

Номинальний струм автоматичного вимикача ВА51-39:

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$I_{ном.а}=800 A > I_{pl}= 463,78 A;$$

Номинальний струм теплового розчеплювача :

$$I_{ном.а}=500 A > I_{pl}= 463,78 A;$$

Для лінійного автоматичного вимикача ВА51-39 кратність струму спрацьовування (уставки) теплового розчеплювача  $I_{у.т.р}$  до номінального струму теплового розчеплювача складає 1,25. Таким чином уставка струму теплового розчеплювача :

$$I_{у.т.р} = 1,25I_{ном.т.р}=1,25 \times 500= 625 A;$$

тоді

$$I_{у.т.р} = 625 A > 1,1 \times 463,78= 510,16 A;$$

Для автоматичного вимикачу ВА51-39 у разі присутності теплового розчеплювача відношення струму спрацьовування відсічення  $I_{с.о}$  до номінального струму теплового розчеплювача  $I_{ном.т.р}$  складає 9. Таким чином, струм спрацьовування відсічення (електромагнітного розчеплювача) :

$$I_{с.в} = I_{у.т.р} = 9 I_{ном.т.р} = 9 \times 500 = 4500 A;$$

С попередніх розділів піковий струм  $I_{пик} = 579,25 A$ ;

Тоді

$$I_{у.т.р} = 4500 A > 1,25 \times 579,25 = 724,06 A;$$

При перевірці відключення струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ в точці К2.  $I_{K2(0)} = 5,31 \text{ кА}$  . Для автоматів ВА51-39 при  $I_{ном.а}=800 A$  складає  $I_{ном.в.а}=42 \text{ кА}$  .

Тоді:

$$42 \text{ кА} > 5,31 \text{ кА}.$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ в точці К2  $I_{к2}^{(1)}=5,39 \text{ А}$ . Для електромагнітного розчеплювача миттєвої дії з номінальним струмом більше 400 А:

$$I_{к2}^{(1)} \geq 1,25 I_{с.в};$$

отже:

$$I_{к2}^{(1)}=5,39 \text{ кА} \geq 1,25 \times 4,5=5,625 \text{ кА};$$

Остаточно вибирається лінійний автомат ВА51-39 з такими параметрами:

$$U_{ном.а}=660 \text{ В}; I_{ном.а}=800 \text{ А}; I_{ном.р}=500 \text{ А}; I_{у.т.р}=625 \text{ А}; I_{у.е.р}=4500 \text{ А}; I_{ном.о.а}=42 \text{ кА}.$$

Каталожні і розрахункові дані цього автоматичного вимикача типу ВА51-39 наводяться в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 - Каталожні і розрахункові дані секційного автоматичного вимикачу типу ВА51-39

Умови вибору автоматичного вимикача	Каталожні данні автоматичного вимикача РЛНТ-С 125/3	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.а}=660 \text{ В}$	$U_{ном.а}=380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомату $I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.а}=800 \text{ А}$	$I_{\phi}=463,78 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплення $I_{ном.р} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.р}=500 \text{ А}$	$I_{\phi}=463,78 \text{ А}$
За номінальним струмом	$I_{ном.а}=800 \text{ А}$	$I_{ном.р}=800 \text{ А}$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

автомату та його розчеплювачів $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$		
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{с.п} \geq 1,1 I_{\phi}$	$I_{с.п} = 625 \text{ A}$	$I_{с.п} = 510,16 \text{ A}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{с.в} \geq 1,25 I_{\phi}$	$I_{с.в} = 4500 \text{ A}$	$I_{с.в} = 724,06 \text{ A};$
За номінальним струмом відключення автомату $I_{ном.о.а} \geq I_{п.0}$	$I_{ном.о.а} = 42 \text{ кА.}$	$I_{к2(0)} = 5,31 \text{ кА}$
За умовою чутливості $I_{к}^{(1)} \geq 1,25 I_{с.в}$	$I_{к2}^{(1)} = 5,625 \text{ кА}$	$I_{к2}^{(1)} = 5,39 \text{ кА}$

#### 7.4 Вибір автоматичних вимикачів до електроприймачів

Вибираємо автоматичні вимикачі від СРШ1 та СРШ2 до ЕП. Розглянемо на прикладі автоматичного вимикача QF31, який захищає лінію від СРШ1 до Бісерної мельниці з  $I_{ном.01} = 56,98 \text{ A}$ . На основі цих даних обираємо шафу типу СПА 77-1 в якому встановлено автомат АЕ2040. Вибираємо автоматичний вимикач ВА51-31 не струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами. Дані цього автоматичного вимикачу наводяться в таблиці 7.6.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 7.6 - Автоматичний вимикач АЕ2040

Тип автоматичного вимикача	Номинальний струм автоматичного вимикача, А	Номинальний струм теплового розчеплювача, А	$\frac{I_{св}}{I_{ном.р}}$	$\frac{I_{с.п}}{I_{ном.р}}$
АЕ2040	63	10	3; 12	1,25
		16; 20		
		25;32		
		40; 50		
		63;		

Номинальна напруга цього автоматичного вимикача вибирається як:

$$500 \text{ В} > 380 \text{ В.}$$

Номинальний струм автоматичного вимикача АЕ2040:

$$I_{ном.а}=63 \text{ А} > I_{ном.д}= 56,98 \text{ А};$$

Номинальний струм теплового розчеплювача :

$$I_{ном.т.р}=63 \text{ А} > I_{ном.д}= 56,98 \text{ А};$$

Для лінійного автоматичного вимикача АЕ2040 кратність струму спрацьовування (уставки) теплового розчеплювача  $I_{у.т.р}$  до номинального струму теплового розчеплювача складає 1,25. Таким чином уставка струму теплового розчеплювача :

$$I_{у.т.р} = 1,25 I_{ном.т.р} = 1,25 \times 63 = 78,75 \text{ А};$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

тоді

$$I_{y.t.p} = 78,75 \text{ A} > 1,25 \times 56,98 = 71,23 \text{ A};$$

Для автоматичного вимикачу АЕ2040 у разі присутності теплового розчеплювача відношення струму спрацьовування відсічення  $I_{c.o}$  до номінального струму теплового розчеплювача  $I_{ном.т.р}$  складає 3; 12. Таким чином, струм спрацьовування відсічення (електромагнітного розчеплювача) :

$$I_{c.в} = I_{y.t.p} = 12 I_{ном.т.р} = 12 \times 63 = 756 \text{ A};$$

С попередніх розділів пусковий струм  $I_{пуск макс} = 284,876 \text{ A};$

Тоді

$$I_{y.e.p} = 756 \text{ A} \geq 1,25 \times 284,876 = 356,095 \text{ A};$$

При перевірці відключення струму трифазного КЗ лінійним автоматом береться струм трифазного КЗ в точці КЗ1.  $I_{КЗ1(0)} = 3,04 \text{ кА}$  . Для автоматів АЕ2040 ВГКЗ при  $I_{ном.а} = 63 \text{ А}$  складає  $I_{ном.о.а} = 6 \text{ кА}$  .

Тоді:

$$6 \text{ кА} > 3,04 \text{ кА}.$$

Для перевірки чутливості захисту струм однофазного КЗ в точці КЗ  $I_{кз}^{(1)} = 2,306 \text{ кА}$ . Для електромагнітного розчеплювача миттєвої дії з номінальним струмом до 100 А:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,4 I_{c.в};$$

отже:

$$I_{к}^{(1)} = 2,306 \text{ кА} \geq 1,4 \times 0,56 = 0,784 \text{ кА};$$

Остаточню вибирається лінійний автомат АЕ2040 з такими параметрами:

$$U_{ном.а} = 500 \text{ В}; I_{ном.а} = 63 \text{ А}; I_{ном.т.р} = 63 \text{ А}; I_{y.t.p} = 78,75 \text{ А}; I_{y.e.p} = 756 \text{ А}; I_{ном.в.а} = 30 \text{ кА}.$$

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64



Каталожні і розрахункові дані цього автоматичного вимикача типу АЕ2040 наводяться в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7 - Каталожні і розрахункові дані автомата типу АЕ2040

Умови вибору автоматичного вимикача	Каталожні данні автоматичного вимикача АЕ2040	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.а} = 500 \text{ В}$	$U_{ном.а} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомату $I_{ном.а} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.а} = 63 \text{ А}$	$I_{\phi} = 56,98 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплення $I_{ном.р} \geq I_{\phi}$	$I_{ном.р} = 63 \text{ А}$	$I_{\phi} = 56,98 \text{ А}$
За номінальним струмом автомату та його розчеплювачів $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 78,75 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 63 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{с.п} \geq 1,1 I_{\phi}$	$I_{с.п} = 78,75 \text{ А}$	$I_{с.п} = 71,23 \text{ А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{с.в} \geq 1,25 I_{\phi}$	$I_{с.в} = 756 \text{ А}$	$I_{с.в} = 356,095 \text{ А}$
За номінальним струмом відключення автомату $I_{ном.в.а} \geq I_{п.0}$	$I_{ном.в.а} = 6 \text{ кА.}$	$I_{к31(0)} = 3,04 \text{ кА}$
За умовою чутливості	$I_{к}^{(I)} = 0,784 \text{ кА}$	$I_{к}^{(I)} = 2,306 \text{ кА}$

$$I_k^{(I)} \geq 1,25 I_{y.e.p}$$

У таблиці 7.8 наводиться результати вибору автоматів QF32, QF33, QF34 до інших електроприймачів цеху №1.

Таблиця 7.8 – Результати вибору автоматів QF32, QF33, QF34

Розподільна лінія	Тип автомата	$U_{ном.а},$ В	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.р},$ А	$I_{с.п},$ А	$I_{с.б},$ А	$I_{ном.о.а},$ кА
До ЕП №3	АЕ2030	500	25	25	31,25	300	6
До ЕП №5	АП 50	500	50	50	62,25	500	6
До ЕП №7	АЕ2030	500	25	25	31,25	300	6

## ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі був виконаний проект модернізації схеми електропостачання ТОВ «Імпульс».

В дипломному проекті мною було розроблено такі питання:

- Визначення розрахункових навантажень підприємства;
- Вибір кількості та потужності трансформаторів головної понижувальної підстанції;
- Характеристика об'єкта;
- Розрахунок силових електричних навантажень;
- Вибір перерізу провідників;
- Розрахунок струмів КЗ;
- Вибір автоматичних вимикачів;

На їх основі було обрано оптимальне електричне устаткування, з запропонованого в каталогах заводів виробників. Була підтверджена працездатність СЕП в нормальних, форсованих і аварійних режимах. Елементи СЕП вибирались з номенклатури сучасного електроустаткування., а розрахунки виконувались по сучасним методикам.

У результаті виконаних розрахунків, можна зробити висновок, що система електропостачання відповідає вимогам ПУЕ та ГОСТів і здатна забезпечити надійне та безперебійне постачання електричною енергією промислового підприємства.

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2007.- 280 с.
3. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92// Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – 992. - №7-8. - С.4-28
4. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2006. - 153 с.
5. Васи́лега П.О. Електропостачання. Суми «Університетська книга» 2008, С.400.
6. Федотов А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.-368 с.
7. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.-464 с.
8. Електротехніка і електроніка : Навчань. посібник для ПТУ/М.К. Линва, И.Д. Златенов, П.Н. Новіков, Е.В. Шапкин. - М.: Высш. шк., 1991. - 224 с.: мул
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с.
10. <http://www.impuls.sumy.ua/ru/main/>

					<i>БР 3.6.050701.125 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68