

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 112 стор. тексту, 20 рис., 52 табл., 20 бібл. найм.

Виконано розрахунок електропостачання цехової електричної мережі. Прораховані два варіанти схем електропостачання цеху і два варіанти для всього підприємства (базовий і розроблений), з яких в кожному випадку був обраний найбільш відповідний і вигідний варіант, з урахуванням всіх технічних і економічних особливостей даного підприємства.

Розраховані і обрані джерела живлення, комутаційно-захисна апаратура, кабельні лінії. Розраховані струми короткого замикання. Проведено розрахунок захисту кабельних ліній від усіх видів ушкоджень.

Перевірено необхідність компенсації реактивної потужності. Також враховані були струми короткого замикання в характерних точках системи, проаналізовано якість напруги цехової мережі і розраховані відхилення напруги для характерних електроприймачів.

Ключові слова: електроприймач, цехова електрична мережа, знижувальна підстанція, джерело живлення, центр електричних навантажень, силовий кабель, силові пункти, автоматичний вимикач, аварійне освітлення, запобіжник, світлодіод, світильник.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1. Характеристика споживача і технічних показників електроприймачів проєктованого об'єкта	9
1.2. Визначення розрахункових електричних навантажень	13
1.3. Визначення центру електричних навантажень і вибір місця розташування ГПП та ЦТП	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	28
2.1. Вибір схеми ЦТП, типу, числа і потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності	28
2.2. Вибір варіанта схем на низькій стороні напруги	33
2.3. Вибір обладнання на стороні ВН	43
2.4. Вибір варіанту схеми системи електропостачання цеху	47
2.5. Розрахунок струмів короткого замикання і перевірка основного обладнання мережі	51
РОЗДІЛ 3. РЕЛІЙНИЙ ЗАХИСТ І АВТОМАТИКА	58
3.1. Вибір запобіжника FU2 і його плавкої вставки	58
3.2. Розрахунок двоступеневої захисту від короткого замикання і замикання на землю кабельної лінії	59
3.3. Розрахунок захистів ГПП і ВЛ	63
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ І АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАПРУГИ ЦЕХІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ	67
4.1. Розрахунок системи компенсації реактивної потужності в цехової	

електричної мережі	67
4.2. Аналіз якості напруги цехової мережі і розрахунок відхилення напруги для характерних електроприймачів	70
РОЗДІЛ 5. СТІЙКІСТЬ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ І ВУЗЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ	77
5.1. Режими електричної системи	77
5.2. Стійкість режиму електричної системи	79
5.3. Стійкість вузлів навантаження	88
5.4. Пуск і самозапуск двигунів	95
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ	98
ВИСНОВКИ	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107
Додаток А – План заводу з розведенням силової мережі, варіант №1 (з розташуванням ГПП в ЦЕН)	108
Додаток Б – План заводу з розведенням силової мережі, варіант №2 (з розташуванням ГПП і ЛЕП за територією підприємства)	109
Додаток С – Схема електропостачання механічного цеху, варіант №1 (схема, виконана на силових пунктах)	110
Додаток Д – Схема електропостачання механічного цеху, варіант №2 (схема, виконана на шинопроводах)	111

ВСТУП

Системи електропостачання, що забезпечують електричною енергією промислові об'єкти, мають значний вплив на роботу електроприводів, освітлювальних, перетворювальних і електротехнологічних установок і, в кінцевому рахунку, на виробничий процес в цілому. Завдання електропостачання промислових підприємств виникла одночасно з широким впровадженням електропривода в якості рушійної сили різних машин і механізмів, та будівництвом електростанцій.

Надійне і економічне постачання електроприймачів електроенергією необхідної якості - необхідна умова нормального функціонування будь-якого промислового підприємства.

У міру розвитку електроспоживання ускладнюються і системи електропостачання промислових підприємств. У них включаються мережі високих напруг, розподільні мережі, а в ряді випадків і мережі промислових теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств і виробничих процесів. Здійснювати в широких масштабах диспетчеризацію процесів виробництва із застосуванням телесигналізації і телекерування і вести активну роботу по економії електроенергії.

Проблема електромагнітної сумісності електроприймачів з мережею живлення породжує нові наукові і технічні проблеми при проектуванні і експлуатації промислових електричних мереж. Дана проблема може бути вирішена шляхом освоєння швидкодіючих багатофункціональних засобів компенсації реактивної потужності, що поліпшують якість електроенергії відразу за кількома параметрами. Впровадження цих пристроїв веде до зменшення втрат електроенергії.

Економне використання електроенергії набуває все більшого значення, що необхідно враховувати при проектуванні і експлуатації промислових мереж

високої та низької напруги. Один з напрямків скорочення втрат електроенергії в мережах є впровадження автоматизованих систем управління електропостачанням і урахуванням електроенергії.

Особливістю промислового підприємства як споживача електроенергії є те, що для здійснення технологічного процесу використовується велика кількість різноманітних електроприймачів різних потужностей і номінальних напруг, однофазного і трифазного змінного струму різної частоти, а також електроприймачів постійного струму.

Основним науковим принципом аналізу і синтезу великих систем є системний підхід, який складається з взаємопов'язаного розгляду всіх елементів (підсистем) системи. Особливість такого підходу полягає в тому, що в певних межах система розглядається як єдине ціле з урахуванням внутрішніх зв'язків між окремими елементами і зовнішніх зв'язків з іншими системами і об'єктами. Застосування системного підходу при проектуванні дозволяє вирішити технічне завдання для частини з урахуванням цілого. При цьому реалізується можливість обліку всіх існуючих технічних та соціальних зв'язків створюваного технічного об'єкта з системою верхнього рівня і зовнішнім середовищем. Наприклад, при проектуванні електричної мережі освітлення необхідно розглядати її як частину внутрішньоцеховий мережі, пов'язаної з системою внутрішньозаводського електропостачання, яка через систему зовнішнього електропостачання з'єднується з енергосистемою. Крім того, слід враховувати вид виробничої діяльності, умови навколишнього середовища, розстановку технологічного, санітарно-технічного та підйомно-транспортного устаткування і т.д. Все це впливає на конструктивне виконання і параметри електричної освітлювальної мережі.

Тому метою дипломного проекту є розрахунок та проектування сучасного електропостачання цехової електричної мережі.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1. Характеристика споживача і технічних показників електроприймачів проектного об'єкта

В даній бакалаврській роботі розробляється система електропостачання механічного цеху цементного заводу. Цементний завод (рис. 1.1) складається з 19 приміщень, сумарна потужність яких 10359,5 кВт. Площа заводу 112860 м². Джерело живлення віддалений від підприємства на 3000 м.

Технологічне обладнання, що споживає електроенергію, розміщено з урахуванням дотримання норм та правил експлуатації. Розміщення в цеху електрообладнання є компактним і зручним з точки зору умов роботи робочого персоналу.

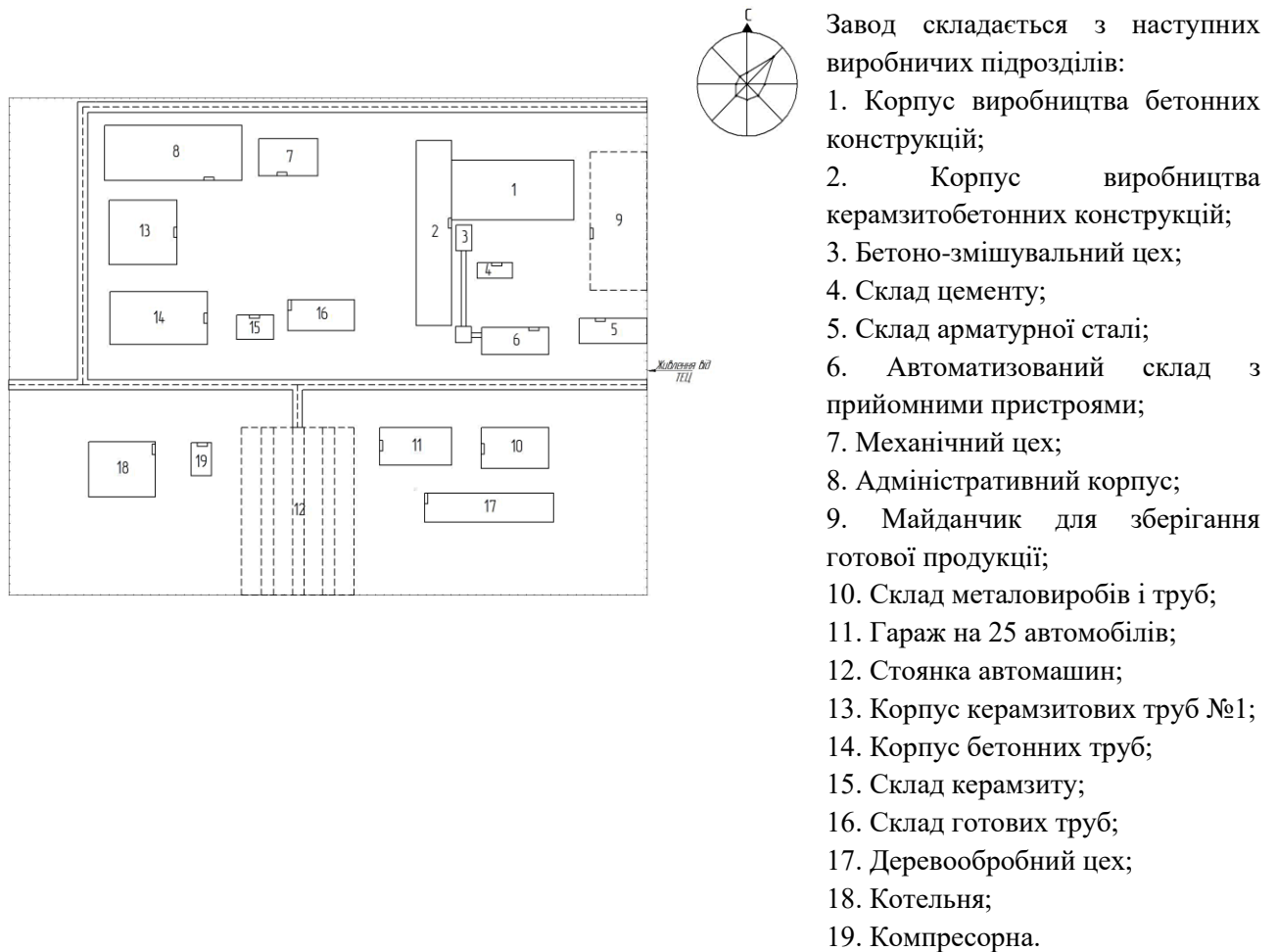


Рисунок 1.1 - Генеральний план заводу

Механічний цех (№7) (рис. 1.2.) розрахований на механічну обробку деталей і складання вузлів з заготовок, лиття і поковок, одержуваних з інших цехів (сталеливарного, ковальського), а також одержуваних від інших заводів.

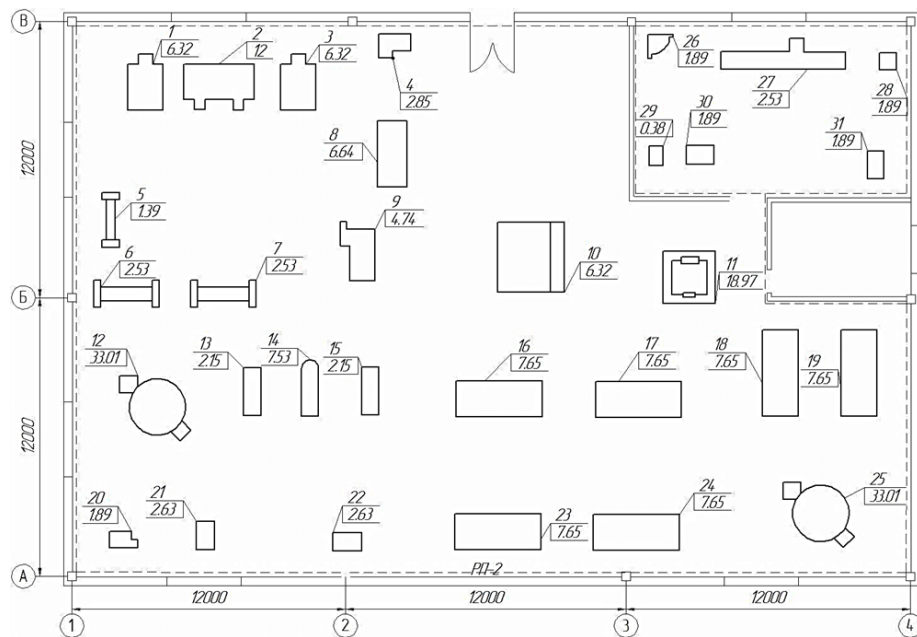


Рисунок 1.2 – Генеральний план механічного цеху

Цех складається з наступних ЕП:

- 1,3. Молот пневматичний;
2. Піч нагрівальна (опору);
4. Абразивно-відрізний верстат;
5. Прес ножиці;
- 6,7. Обдирно-шліфувальний верстат;
8. Фрезерно-відрізний напівавтомат;
9. Прес кривошипний;
10. Гільйотинні ножиці;
11. Прес;
- 12,25. Токарний 8-ми шпindelльний напівавтомат;
- 13,15. Токарний верстат;
14. Радіально-свердлильний верстат;
- 16,17,18,19,23,24. Токарно-револьверний верстат;
- 20,26. Універсальний заточувальний верстат;

21,22. Вертикально-свердлильний верстат;

27. Затяжний верстат;

28. Точильно-шліфувальний верстат;

29. Доводочний верстат для різців;

30,31. Напівавтомат для заточування свердел.

Цех оснащений металорізальних і металообробних обладнанням: токорно-гвинторізні, розточувальними, свердлильними, фрезерними, шліфувальними верстатами.

Цех має розміри 24,0×36,0м загальною площею 864,0м². Загальна кількість електроприймачів - 31.

Характеристика електроприймачів (ЕП):

За виробничим призначенням: все електроприймачі відносяться до двигунів силових загальнопромислових установок і виробничих механізмів. Всі електроприймачі мають напруга живлення 380 В.

За родом струму: все електроприймачі відносяться до споживачів, що працює від мережі змінного струму промислової частоти 50 Гц.

За стабільністю розташування: все електроприймачі мають стаціонарне розташування, крім самохідного візка.

Все споживачів електроенергії є споживачами другої категорії надійності електропостачання.

Проектований цех живиться від ГПП 110/10 кВ. Живлення здійснюється по кабельній лінії напругою 10 кВ.

Характеристика приміщення

Умови навколишнього середовища в цеху нормальні, наявність шкідливих речовин знаходяться в повітрі відповідає нормам гранично допустимих концентрацій (ГДК).

По пожежонебезпеці приміщення цеху відносяться до класу П- Па - не пожежонебезпечне. По вибухонебезпеці - не вибухонебезпечне. По мірі доступності - загальнодоступне.

Зупинка окремих електроприймачів, на загальний технологічний процес, істотно не впливає, але може привести до пошкодження обладнання та до економічного збитку.

Вибір напруги і джерел живлення цехової електричної мережі

Вибір напруги розподільчої мережі тісно пов'язаний з вирішенням питань електропостачання підприємства. Остаточне рішення приймають в результаті техніко-економічного порівняння варіантів, що враховують різне поєднання напруг окремих ланок системи.

Відповідно до заданих умов живлення промислової бази буде здійснюватися від ТЕЦ на напрузі 110 кВ. Для розподільної мережі підприємства найбільш доцільним варіантом напруги є 10 кВ. Так як, на даному підприємстві відсутні електродвигуни великої одиничної потужності (250 - 630 кВт), які, як правило, мають напруга живлення 6 кВ, а висока напруга 10 кВ економічно доцільніше, ніж 6 кВ. Для зменшення втрат в проводах і кабелях рекомендується наблизити високу напругу до *центру електричних навантажень* (ЦЕН) - виконати глибоке введення. Але у глибокого введення є і свої недоліки: на території підприємства необхідно встановити опори *ліній електропередач* (ЛЕП), що створить додаткові труднощі при транспортуванні матеріалів і готової сировини по території; електромагнітне поле високовольтних ЛЕП при тривалому впливі чинить негативний вплив на здоров'я людини. Тому при вдосконалюванні системи електропостачання будуть розглянуті два варіанти електропостачання підприємства: 1) з глибоким введенням і розташуванням *головної понижувальної підстанції* (ГПП) в ЦЕН; 2) ГПП і ЛЕП розташовуються за територією підприємства.

Напруга 380/220 В є основною в електроустановках до 1 кВ. Система 380-220 В задовольняє основним умовам живлення споживачів:

а) можливості спільного живлення освітлювальних приладів і електродвигунів;

б) стосовно низької напруги між «землею» і «дротом» (220В).

Використання напруг 127 і 220 В для живлення електродвигунів економічно не виправдане з огляду на великих втрат електроенергії і більшої витрати кольорового металу.

Напруга 660 В застосовується лише у випадках, в яких за умовами планування цехового обладнання, технології, екологічності не можна наблизити цехову трансформаторну підстанцію (ЦТП) до електроприймачів, що має місце в вугільних шахтах, кар'єрах.

Цехова електрична мережа складається в групі з електричними мережами ще кількох цехів і запитана від ЦТП, розташованої поруч з найпотужнішим цехом в групі. ЦТП живляться від ГПП.

1.2. Визначення розрахункових електричних навантажень

Розрахунок першого рівня електропостачання

Вихідні дані для всього підприємства в цілому представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані цементного заводу

№ з/п	Найменування	Кількість ЕП	Площа цеху, м ²	Встановлена потужність ЕП, кВт		cos(φ)	tg(φ)	ККД	Ku	Kc	ТВ, %	Рном приведена до ТВ=100 %, кВт
				одного	общая							
1	Корпус виробництва бетонних конструкцій	50	2583,03	10-50	1100	0,7	1,02	88	0,25	0,35	60	968,25
2	Корпус виробництва керамзитобетонних конструкцій	60	2287,06	1-40	1300	0,65	1,17	88	0,25	0,35	40	934,31
3	Бетоно-змішувальний цех	30	156,96	1-40	650	0,65	1,17	88	0,25	0,35	40	467,15
4	Склад цементу	10	179,38	1-10	50	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	44,01
5	Склад арматурної сталі	15	596,43	1-20	80	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	70,42
6	Автоматизований склад з прийомними пристроями	20	627,82	1-30	296,5	0,7	1,02	88	0,6	0,7	60	260,99
7	Механічний цех	31	864,00	0,6-52,2	328,5	-	-	-	-	-	-	-
8	Адміністративний корпус	30	2690,66	1-30	250	0,8	0,75	88	0,65	0,75	100	284,09
9	Майданчик для зберігання готової продукції	5	2623,39	1-30	50	0,8	0,75	88	0,25	0,2	60	44,01
10	Склад метизів і труб	5	896,89	1-20	40	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	35,21
11	Гараж на 25 автомобілів	20	941,73	1-30	150	0,8	0,75	88	0,25	-	60	132,03
12	Стоянка автомашин	-	7103,34	-	-	0,8	0,75	-	0,85	0,8	100	-
13	Корпус керамзит. труб №1	50	1533,67	1-60	900	0,8	0,75	88	0,15	0,2	40	646,83

14	Корпус бетонних труб	70	1883,46	1-60	1200	0,8	0,75	88	0,15	0,2	40	862,44
15	Склад керамзиту	5	345,30	1-20	50	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	44,01
16	Склад готових труб	5	807,20	1-20	50	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	44,01
17	Деревообробний цех	30	1363,27	1-30	150	0,6	1,33	88	0,16	0,2	60	132,03
18	Котельня	30	1278,06	1-80	470	0,7	1,02	88	0,6	0,7	40	337,79
19	Компресорна	15	242,16	1-250	1200	0,8	0,75	88	0,65	0,75	60	1056,27

Таблиця 1.2 – Вихідні дані проектного цеху

№ з/п	Найменування ЕП	Число ЕД у ЕП	Тип двигуна	ККД, %	Uном, В	P встановлена, кВт	ТВ пасп - я, %	Pном, кВт	Pном ЕП, кВт	cosφ ЕД	cosφ	tgφ	Kв	Kз	Категорія
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Молот пневматичний №1	1	4A132M2Y3	88	380	10	40	11,36	7,19	0,9	0,90	0,48	0,22	0,75	3
2	Піч нагрівальна (опору)	-	-	100	380	12	100	12,00	12,00	0,95	0,95	0,33	0,6	1	3
3	Молот пневматичний №2	1	4A132M2Y3	88	380	10	40	11,36	7,19	0,9	0,90	0,48	0,22	0,75	3
4	Абразивно-відрізний верстат	1	4A100L2Y3	87,5	380	4,5	40	5,14	3,25	0,91	0,91	0,46	0,14	0,75	3
5	Прес ножиці	1	4A80B2Y3	83	380	2,2	40	2,65	1,68	0,87	0,87	0,57	0,22	0,75	3
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	1	4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62	2,92	0,89	0,89	0,51	0,17	0,75	3
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	1	4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62	2,92	0,89	0,89	0,51	0,17	0,75	3
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	7,75	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3
			4A80B2Y3	83	380	2,2	40	2,65		0,87			0,14	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,8	40	1,03		0,87			0,14	0,75	3
9	Прес кривошипний	1	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	5,42	0,88	0,88	0,54	0,22	0,75	3
10	Гільйотинні ножиці	1	4A132M2Y3	88	380	10	40	11,36	7,19	0,9	0,90	0,48	0,17	0,75	3
11	Прес	1	4A180M2Y3	90,5	380	30	40	33,15	20,97	0,9	0,90	0,48	0,22	0,75	3
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	3	4A200L2Y3	91	380	40	40	43,96	36,66	0,9	0,90	0,49	0,25	0,75	3
			4A132M2Y3	88	380	10	40	11,36		0,9			0,25	0,75	3
			4A80B2Y3	83	380	2,2	40	2,65		0,87			0,25	0,75	3
13	Токарний верстат №1	2	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,59	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3
			4AA63B2Y3	73	380	0,4	40	0,55		0,86			0,14	0,75	3
14	Радіально-свердлильний верстат	3	4A132M2Y3	88	380	10	40	11,36	8,74	0,9	0,89	0,50	0,14	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	1,1	40	1,42		0,87			0,14	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,8	40	1,03		0,87			0,14	0,75	3
15	Токарний верстат №2	2	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,59	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3
			4AA63B2Y3	73	380	0,4	40	0,55		0,86			0,14	0,75	3
16	Токарно-револьверний верстат №1	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	8,84	0,88	0,88	0,53	0,17	0,75	3
			4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62		0,89			0,17	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,6	40	0,77		0,87			0,17	0,75	3
17	Токарно-револьверний верстат №2	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	8,84	0,88	0,88	0,53	0,17	0,75	3
			4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62		0,89			0,17	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,6	40	0,77		0,87			0,17	0,75	3
18	Токарно-револьверний верстат №3	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	8,84	0,88	0,88	0,53	0,17	0,75	3
			4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62		0,89			0,17	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,6	40	0,77		0,87			0,17	0,75	3
19	Токарно-револьверний верстат №4	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	8,84	0,88	0,88	0,53	0,17	0,75	3
			4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62		0,89			0,17	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,6	40	0,77		0,87			0,17	0,75	3
20	Універсальний заточувальний	1	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,25	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3

№ з/п	Найменування ЕП	Число ЕД у ЕП	Тип двигуна	ККД, %	Uном, В	P встановлена, кВт	TВ пасп - я, %	Pном, кВт	Pном ЕП, кВт	cosφ ЕД	cosφ	tgφ	Kв	Kз	Категорія
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	верстат №1														
21	Вертикально-свердильний верстат №1	2	4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62	3,07	0,89	0,88	0,53	0,14	0,75	3
			4AA56A2Y3	66	380	0,2	40	0,23		0,76			0,14	0,75	3
22	Вертикально-свердильний верстат №2	2	4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62	3,07	0,89	0,88	0,53	0,14	0,75	3
			4AA56A2Y3	66	380	0,2	40	0,23		0,76			0,14	0,75	3
23	Токарно-револьверний верстат №5	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	8,84	0,88	0,88	0,53	0,17	0,75	3
			4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62		0,89			0,17	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,6	40	0,77		0,87			0,17	0,75	3
24	Токарно-револьверний верстат №6	3	4A112M2Y3	87,5	380	7,5	40	8,57	8,84	0,88	0,88	0,53	0,17	0,75	3
			4A100S2Y3	86,5	380	4	40	4,62		0,89			0,17	0,75	3
			4A71B2Y3	77,5	380	0,6	40	0,77		0,87			0,17	0,75	3
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	3	4A200L2Y3	91	380	40	40	43,96	36,66	0,9	0,90	0,49	0,25	0,75	3
			4A132M2Y3	88	380	10	40	11,36		0,9			0,25	0,75	3
			4A80B2Y3	83	380	2,2	40	2,65		0,87			0,25	0,75	3
26	Універсальний заточувальний верстат №2	1	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,25	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3
27	Затяжний верстат	1	4A132S6Y3	86,5	380	5,5	40	4,62	2,92	0,89	0,89	0,51	0,14	0,75	3
28	Точильно-шліфувальний верстат	1	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,25	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3
29	Доводочний верстат для різців	1	4A71B2Y3	77,5	380	0,8	40	1,03	0,65	0,87	0,87	0,57	0,14	0,75	3
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	1	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,25	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	1	4A90L2Y3	84,5	380	3	40	3,55	2,25	0,88	0,88	0,55	0,14	0,75	3

Першим етапом проектування системи електропостачання є визначення електричних навантажень. Розрахунок виконується за методом впорядкованих діаграм і полягає у визначенні розрахункової потужності кожного електроприймача в залежності від режиму роботи.

За значенням електричних навантажень вибирають і перевіряють електрообладнання системи електропостачання, визначають втрати потужності і енергії. Від правильної оцінки очікуваних навантажень залежать капітальні витрати в систему електропостачання, експлуатаційні витрати, надійність роботи електрообладнання.

1). За вихідними даними визначається номінальна активна потужність електроприймача, кВт:

а) електроустановки працюють в тривалому режимі, TВ = 100 %:

$$P_{НОМ} = \frac{P_{уст}}{\eta} \quad (1.1)$$

б) електроустановки працюють в повторно-короткочасному режимі, ТВ < 100 %:

$$P_{НОМ} = \sqrt{ПВ} \cdot \frac{P_{уст}}{\eta} \quad (1.2)$$

2). Розраховується активна, реактивна і повна навантаження створювана одним електроприймач, кВт, кВАр и кВА відповідно:

$$P_{M1} = K_3 \cdot P_{НОМ} \quad (1.3)$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.4)$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2} \quad (1.5)$$

3) Для зварювальних трансформаторів повна потужність, кВА:

$$S_{НОМ} = S_{уст} \sqrt{ПВ} \quad (1.6)$$

Наведемо приклад розрахунку для відрізного верстата (№ 4) з повторно-короткочасним режимом роботи.

Абразивно - відрізний верстат (№ 4): ТВ = 40 %; $P_{НОМ} = 3,253$ кВт; $K_3 = 0,75$; $\cos \varphi = 0,91$.

$$P_{M1} = K_3 \cdot P_{НОМ} = 0,75 \cdot 3,253 = 2,439 \text{ кВт};$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2,439 \cdot 0,46 = 1,111 \text{ кВАр};$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2} = \sqrt{2,439^2 + 1,111^2} = 2,681 \text{ кВА}.$$

Розрахунок для інших приймачів зведемо в таблицю 1.3, провівши розрахунок аналогічно наведеному прикладу для електроприймача під номером 4.

Визначити пусковий струм кожного електроприймача, А:

$$I_{пуск} = I_{M1} \cdot K_{II}; \quad (1.7)$$

де $I_{M1} = \frac{S_{M1}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$ – максимальний струм електроприймача, А.

$K_n = I_{пуск} / I_{ном}$ – коефіцієнт пуску електроприймача. Приймаємо: для верстатів $K_n =$ від 3 до 5; для зварювальних трансформаторів, напівавтоматів і різних електричних машин $K_n = 3$.

Таблиця 1.3 – Розрахунок ЕП

№ ЕП за генпланом	Найменування ЕП	$P_{ном}$, кВт	K_3	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{м1}$, кВт	$Q_{м1}$, кВар	$S_{м}$, кВА	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВт
1	Молот пневматичний №1	7,187	0,75	0,90	0,48	5,390	2,611	5,989	1,581	0,766
2	Піч нагрівальна (опору)	12,000	1	0,95	0,33	12,000	3,944	12,632	7,200	2,367
3	Молот пневматичний №2	7,187	0,75	0,90	0,48	5,390	2,611	5,989	1,581	0,766
4	Абразивно-відрізний верстат	3,253	0,75	0,91	0,46	2,439	1,111	2,681	0,455	0,207
5	Прес ножиці	1,676	0,75	0,87	0,57	1,257	0,713	1,445	0,369	0,209
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	2,925	0,75	0,89	0,51	2,193	1,124	2,465	0,497	0,255
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	2,925	0,75	0,89	0,51	2,193	1,124	2,465	0,497	0,255
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	7,750	0,75	0,88	0,55	5,813	3,185	6,605	1,085	0,595
9	Прес кривошипний	5,421	0,75	0,88	0,54	4,066	2,194	4,620	1,193	0,644
10	Гільйотинні ножиці	7,187	0,75	0,90	0,48	5,390	2,611	5,989	1,222	0,592
11	Прес	20,965	0,75	0,90	0,48	15,724	7,615	17,471	4,612	2,234
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	36,664	0,75	0,90	0,49	27,498	13,428	30,553	9,166	4,476
13	Токарний верстат №1	2,592	0,75	0,88	0,55	1,944	1,064	2,209	0,363	0,199
14	Радіально-свердлильний верстат	8,738	0,75	0,89	0,50	6,553	3,275	7,281	1,249	0,624
15	Токарний верстат №2	2,592	0,75	0,88	0,55	1,944	1,064	2,209	0,363	0,199
16	Токарно-револьверний верстат №1	8,835	0,75	0,88	0,53	6,627	3,527	7,530	1,502	0,800
17	Токарно-револьверний верстат №2	8,835	0,75	0,88	0,53	6,627	3,527	7,530	1,502	0,800
18	Токарно-револьверний верстат №3	8,835	0,75	0,88	0,53	6,627	3,527	7,530	1,502	0,800
19	Токарно-револьверний верстат №4	8,835	0,75	0,88	0,53	6,627	3,527	7,530	1,502	0,800
20	Універсальний заточувальний верстат №1	2,245	0,75	0,88	0,54	1,684	0,921	1,914	0,314	0,172
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	3,068	0,75	0,88	0,53	2,301	1,224	2,586	0,430	0,228
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	3,068	0,75	0,88	0,53	2,301	1,224	2,586	0,430	0,228
23	Токарно-револьверний верстат №5	8,835	0,75	0,88	0,53	6,627	3,527	7,530	1,502	0,800
24	Токарно-револьверний верстат №6	8,835	0,75	0,88	0,53	6,627	3,527	7,530	1,502	0,800
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	36,664	0,75	0,90	0,49	27,498	13,428	30,553	9,166	4,476
26	Універсальний заточувальний верстат №2	2,245	0,75	0,88	0,54	1,684	0,921	1,914	0,314	0,172
27	Затяжний верстат	2,925	0,75	0,89	0,51	2,193	1,124	2,465	0,409	0,210
28	Точильно-шліфувальний верстат	2,245	0,75	0,88	0,54	1,684	0,921	1,914	0,314	0,172
29	Доводочний верстат для різців	0,653	0,75	0,87	0,57	0,490	0,277	0,563	0,091	0,052
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	2,245	0,75	0,88	0,54	1,684	0,921	1,914	0,314	0,172
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	2,245	0,75	0,88	0,54	1,684	0,921	1,914	0,314	0,172

Визначимо пусковий струм для електроприймача № 4:

$$I_{м1} = \frac{P_{м1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{2,135}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5} = 6,486 \text{ А ;}$$

$$I_{пуск} = K_n \cdot I_{м1} = 4 \cdot 6,486 = 25,945 \text{ А.}$$

Значення пускових струмів для інших електроприймачів визначаються аналогічно, тому результати розрахунків зведемо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Розрахунок ЕП

№ ЕП за генпланом	Найменування ЕП	Р _{м1} , кВт	Q _{м1} , кВар	I _м , А	Кп	I _п , А	F, мм ²	Марка дроту
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Молот пневматичний №1	5,390	2,611	9,100	4	36,398	2,5	АПВ - 2,5
2	Піч нагрівальна (опору)	12,000	3,944	19,192	4	76,767	4	АПВ - 4
3	Молот пневматичний №2	5,390	2,611	9,100	4	36,398	2,5	АПВ - 2,5
4	Абразивно-відрізний верстат	2,439	1,111	4,073	4	16,292	2,5	АПВ - 2,5
5	Прес ножиці	1,257	0,713	2,196	4	8,783	2,5	АПВ - 2,5
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	2,193	1,124	3,745	4	14,978	2,5	АПВ - 2,5
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	2,193	1,124	3,745	4	14,978	2,5	АПВ - 2,5
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	5,813	3,185	10,036	4	40,143	2,5	АПВ - 2,5
9	Прес кривошипний	4,066	2,194	7,020	4	28,079	2,5	АПВ - 2,5
10	Гільйотинні ножиці	5,390	2,611	9,100	4	36,398	2,5	АПВ - 2,5
11	Прес	15,724	7,615	26,545	4	106,179	10	АПВ - 10
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	27,498	13,428	46,421	3	139,262	25	АПВ - 25
13	Токарний верстат №1	1,944	1,064	3,356	4	13,425	2,5	АПВ - 2,5
14	Радіально-свердлильний верстат	6,553	3,275	11,063	4	44,251	2,5	АПВ - 2,5
15	Токарний верстат №2	1,944	1,064	3,356	4	13,425	2,5	АПВ - 2,5
16	Токарно-револьверний верстат №1	6,627	3,527	11,441	4	45,763	2,5	АПВ - 2,5
17	Токарно-револьверний верстат №2	6,627	3,527	11,441	4	45,763	2,5	АПВ - 2,5
18	Токарно-револьверний верстат №3	6,627	3,527	11,441	4	45,763	2,5	АПВ - 2,5
19	Токарно-револьверний верстат №4	6,627	3,527	11,441	4	45,763	2,5	АПВ - 2,5
20	Універсальний заточувальний верстат №1	1,684	0,921	2,908	4	11,630	2,5	АПВ - 2,5
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	2,301	1,224	3,929	4	15,714	2,5	АПВ - 2,5
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	2,301	1,224	3,929	4	15,714	2,5	АПВ - 2,5
23	Токарно-револьверний верстат №5	6,627	3,527	11,441	4	45,763	2,5	АПВ - 2,5
24	Токарно-револьверний верстат №6	6,627	3,527	11,441	4	45,763	2,5	АПВ - 2,5
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	27,498	13,428	46,421	3	139,262	25	АПВ - 25
26	Універсальний заточувальний верстат №2	1,684	0,921	2,908	4	11,630	2,5	АПВ - 2,5
27	Затяжний верстат	2,193	1,124	3,745	4	14,978	2,5	АПВ - 2,5
28	Точильно-шліфувальний верстат	1,684	0,921	2,908	4	11,630	2,5	АПВ - 2,5
29	Доводочний верстат для різців	0,490	0,277	0,855	4	3,420	2,5	АПВ - 2,5
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	1,684	0,921	2,908	3	8,723	2,5	АПВ - 2,5
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	1,684	0,921	2,908	3	8,723	2,5	АПВ - 2,5

1.3. Визначення центру електричних навантажень і вибір місця розташування ГПП та ЦТП

Розташування цехової трансформаторної підстанції (ЦТП) поблизу питомих навантажень дозволяє наблизити висока напруга до центру споживання електроенергії і скоротити протяжність цехових електричних

мереж. Це призводить до зменшення витрати провідникового матеріалу і зниження втрат електроенергії в системі електропостачання.

При знаходженні центру електричних навантажень (ЦЕН) цеху використовується план цеху з розташуванням його окремих електроприймачів.

Центр електричних навантажень визначимо за наступними формулами:

$$X_P = \frac{\sum P_{Mi} \cdot x_i}{\sum P_{Mi}}; \quad (1.8)$$

$$Y_P = \frac{\sum P_{Mi} \cdot y_i}{\sum P_{Mi}}; \quad (1.9)$$

$$X_Q = \frac{\sum Q_{Mi} \cdot x_i}{\sum Q_{Mi}}; \quad (1.10)$$

$$Y_P = \frac{\sum Q_{Mi} \cdot y_i}{\sum Q_{Mi}}; \quad (1.11)$$

де x_i и y_i – координати електроприймачів за планом цеху, м.

Зафіксовані значення координат електроприймачів зведемо в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Значення координат ЕП

№ ЕП за генпланом	Найменування ЕП	P _{m1} , кВт	Q _{m1} , кВар	Координати	
				X, м	Y, м
1	2	3	4	5	6
1	Молот пневматичний №1	4,743	7,394	3,35	21,06
2	Піч нагрівальна (опору)	12,000	3,944	6,61	21,06
3	Молот пневматичний №2	4,743	7,394	10,05	21,06
4	Абразивно-відрізний верстат	2,135	4,930	13,98	22,60
5	Прес ножиці	1,044	1,627	1,82	15,22
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	1,897	4,382	2,30	12,06
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	1,897	4,382	6,61	12,06
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	4,981	8,854	13,79	18,96
9	Прес кривошипний	3,558	5,546	12,54	13,60
10	Гільйотинні ножиці	4,743	10,954	19,72	13,60
11	Прес	14,230	22,183	26,43	12,83
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	24,761	44,019	3,83	7,18
13	Токарний верстат №1	1,613	2,867	7,76	7,95
14	Радіально-свердлильний верстат	5,645	10,035	10,25	7,95
15	Токарний верстат №2	1,613	2,867	12,83	7,95
16	Токарно-револьверний верстат №1	5,740	10,204	18,48	7,66
17	Токарно-револьверний верстат №2	5,740	10,204	24,51	7,66
18	Токарно-револьверний верстат №3	5,740	10,204	30,45	8,81
19	Токарно-револьверний верстат №4	5,740	10,204	33,89	8,81
20	Універсальний заточувальний верстат №1	1,423	2,530	2,39	1,53
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	1,969	3,500	5,84	1,72
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	1,969	3,500	11,97	1,53

23	Токарно-револьверний верстат №5	5,740	10,204	18,48	1,92
24	Токарно-револьверний верстат №6	5,740	10,204	24,51	1,92
25	Токарний 8-ми шпиндельний напівавтомат №2	24,761	44,019	31,79	2,87
26	Універсальний заточувальний верстат №2	1,423	2,530	25,09	22,60
27	Затяжний верстат	1,897	4,382	30,45	21,93
28	Точильно-шліфувальний верстат	1,423	3,286	35,04	21,93
29	Доводочний верстат для різців	0,285	0,657	24,89	17,81
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	1,423	3,286	27,00	17,81
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	1,423	3,286	34,66	17,62

Виходячи з даних таблиці 1.5 визначимо ЦЕН по активної та реактивної потужності за формулами:

$$X_P = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_P = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$$X_Q = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i}; \quad Y_Q = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i};$$

Таблиця 1.6 – Значення центру електричних навантажень цеху

Координата	X, м	Y, м
Центр активного навантаження	17,815	10,194
Центр реактивного навантаження	18,616	9,595

Ці дві точки виявилися приблизно в центрі цеху, проте, за технологічним циклом і через розташування електроприймачів центральна трансформаторна підстанція ЦТП там розташовуватися не може. Тому ЦТП перемістимо від ЦЕН в сторону джерела живлення на десять метрів і винесемо за межі цеху.

Розрахуємо ЦЕН для всього підприємства. Зафіксовані значення координат цехів зведемо в таблицю 1.7, а координати ЦЕН в таблицю 1.8.

Проектування схем внутрішньоцехового електропостачання

Характерною особливістю схем внутрішньоцехового розподілу електроенергії є велика розгалуженість мережі і наявність великої кількості комутаційно - захисної апаратури, що значно впливає на техніко-економічні показники і на надійність системи електропостачання. На вибір схеми і конструктивне виконання цехової мережі мають такі фактори, як ступінь

відповідальності приймачів електроенергії, режим їх роботи і проживання за території цеху, номінальні струми і напруги.

Таблиця 1.7 – Значення координат цехів

№ ЕП за генпланом	Найменування ЕП	Pm1, кВт	Qm1, кВар	Координати	
				X, м	Y, м
1	Корпус виробництва бетонних конструкцій	1100	874,939	294	228
2	Корпус керамзитобетонних конструкцій	1300	1122,175	248	204,5
3	Бетоно-змішувальний цех	650	561,088	264,5	201,5
4	Склад цементу	50	55,202	282	183
5	Склад арматурної сталі	80	88,322	351	151,5
6	Автоматизований склад з прийомними пристроями	296,5	235,836	294,5	145,5
7	Механічний цех	328,5	209,851	157,5	45,5
8	Адміністративний корпус	250	160,875	96	247
9	Майданчик для зберігання готової продукції	50	32,175	354	211,5
10	Склад метизів і труб	40	44,161	295,5	85,5
11	Гараж на 25 автомобілів	150	96,525	228	86
12	Стоянка автомашин	0	0,000	169	48
13	Корпус керамзит. труб №1	900	579,151	77,5	198,5
14	Корпус бетонних труб	1200	1884,956	87,5	155,5
15	Склад керамзиту	50	55,202	343	151
16	Склад готових труб	50	55,202	182,5	158,5
17	Деревообробний цех	150	139,094	274,5	57,5
18	Котельня	470	373,837	66,5	72
19	Компресорна	1200	772,201	112	78

Таблиця 1.8 – Значення центру електричних навантажень заводу

Координата	X, м	Y, м
Центр активного навантаження	179,740	160,243
Центр реактивного навантаження	174,812	161,876

Вибір варіантів схем електропостачання

Складаємо два варіанти схем електропостачання:

варіант №1 - схема, виконана на шинопроводах;

варіант №2 -схема, виконана на силових пунктах.

Розрахунок другого рівня електропостачання

Розрахункове навантаження на другому рівні, що створюється групою електроприймачів, визначають за методом впорядкованих діаграм, тобто по середньої потужності і коефіцієнту максимуму.

Для цього, знаючи розміщення електроприймачів на генплані, розрахункові навантаження на першому рівні, місце розташування цехової трансформаторної підстанції, намічають два варіанти схем

внутрішньоцехового електропостачання. І таким чином визначають вузли другого рівня електропостачання, для яких буде визначатися розрахункове навантаження (збірки, шафи, силові пункти, шинопроводи).

Розрахункова електричне навантаження групи електроприймачів зі змінним графіком навантаження визначається з виразу, кВт:

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} = K_M \cdot K_\epsilon \cdot P_H, \quad (1.12)$$

де P_{CM} – змінна потужність робочих електроприймачів за найбільш завантажену зміну, кВт; P_H – сумарна номінальна активна потужність робочих електроприймачів, кВт; K_ϵ – груповий коефіцієнт використання активної потужності; K_M – коефіцієнт максимуму активної потужності.

Для приймачів одного режиму роботи значення індивідуального k_ϵ і групового K_ϵ співпадають. Для групи електроприймачів з різними режимами роботи груповий коефіцієнт використання визначається за формулою:

$$K_\epsilon = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_{НОМ}} = \frac{\sum_1^n k_\epsilon \cdot P_{НОМ}}{\sum_1^n P_{НОМ}}; \quad (1.13)$$

Коефіцієнт максимуму активної потужності K_M визначається по таблиці в залежності від величини K_ϵ та ефективного числа групи електроприймачів n_ϵ . Так як розрахункові значення K_ϵ і n_ϵ зазвичай не збігаються з табличними, то використовуємо для їх знаходження лінійну інтерполяцію.

Змінна потужність за найбільш завантажену зміну, кВт:

$$P_{CM} = K_U \cdot P_H. \quad (1.14)$$

Реактивна потужність за найбільш завантажену зміну, кВАр:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.15)$$

Коефіцієнт ефективного числа групи електроприймачів - n_ϵ має кілька способів його спрощеного визначення:

- 1) При $n_\epsilon \geq 4$ допускається вважати $n_\epsilon = n$ при величині відношення

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мин}} \leq 3; \quad (1.16)$$

2) При $m > 3$ і $K_B \geq 0,2$ n_e визначається за формулою:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_{номі}}{P_{ном.макс}}; \quad (1.17)$$

Якщо n_e оказується більше n , то следует приймати $n_e = n$;

3) При $m > 3$ і $K_B < 0,2$ n_e визначається за допомогою кривих і таблиць.

Для електроприймачів з практично постійним графіком навантаження км приймається рівним одиниці, і максимальна електричне навантаження - дорівнює середньому значенню за найбільш завантажену зміну:

$$P_M = K_M \cdot K_U \cdot P_H = P_{CM}. \quad (1.18)$$

Максимальна реактивна навантаження від силових електроприймачів приймається рівною:

$$1) \text{ при } n_e \leq 10, Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM}; \quad (1.19)$$

$$2) \text{ при } n_e > 10, Q_M = Q_{CM}. \quad (1.20)$$

Повна потужність (максимальна), кВА:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}. \quad (1.21)$$

Максимальний струм навантаження силового пункту, А:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (1.22)$$

Знаходимо середньозважене значення $tg\varphi$ для силового пункту:

$$tg\phi = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{CM}}{\sum_{i=1}^n P_{CM}}. \quad (1.23)$$

Значення $P_{ном}$, $\cos\varphi$ і K_B приймаємо з таблиці 1.2, $tg\varphi$ з таблиці 1.2.

Виходячи з цього заповнимо таблицю розрахунків електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 В, таблиці 1.9 і 1.10 відповідно перший і другий варіанти. Таблиці розрахунків електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 В розташовані на наступних аркушах.

Таблиця 1.9 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 (Варіант 1)

№ групи	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, яка проведена до ТВ=100%, кВт		m	Коефіцієнт використання, Ки	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП,пе	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальна розрахункове навантаження			Im, А
			Рном одного ЕП (найменшого - найбільшого)	Рном агальна, робочих / резервних					Рсм, кВт	Qсм,кВар			Рм, кВт	Qм,кВар	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	СП - 1															
	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (12)	1	36,66	36,664	<3	0,25	0,90	0,49	9,166	4,476						
	Верстати різні (13 - 15, 20 - 22)	6	2,245 - 8,738	22,304	>3	0,14	0,79	0,76	3,12	2,38						
	<u>Разом з СП - 1</u>	7	2,245 - 36,66	58,967	>3	0,21	0,87	0,56	12,288	6,859	3,217	-	44,225	44,225	62,544	95,026
II	СП - 2															
	Токарно-револьверний верстат (16 - 19, 23, 24)	6	8,835	53,012	>3	0,17	0,88	0,53	9,012	4,797						
	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (25)	1	36,66	36,664	<3	0,25	0,90	0,49	9,166	4,476						
	<u>Разом з СП - 2</u>	7	8,835 - 36,66	89,676	<3	0,20	0,89	0,51	18,178	9,273	7,000	2,1	38,174	10,201	39,513	60,034
III	СП - 3															
	Верстати різні (5, 9, 11)	3	1,676 - 20,97	28,063	>3	0,2	0,89	1,17	5,613	6,562						
	Верстати різні (6, 7, 10)	3	2,925 - 7,187	13,036	<3	0,14	0,90	0,50	1,825	0,907						
	Фрезерно-відрізний напівавтомат (8)	1	7,750	7,750	<3	0,14	0,88	0,55	1,085	0,595						
	<u>Разом з СП - 3</u>	7	1,676 - 20,97	48,849	>3	0,17	0,73	0,95	8,523	8,064	4,659	2,9	24,716	8,870	26,259	39,898
IV	ПЕЧЬ															
	Піч нагрівальна (2)	1	12	12,000	<3	0,6	0,95	0,33	7,200	2,367						

№ групи	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, яка проведена до ТВ=100%, кВт		m	Коефіцієнт використання, Ки	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП,пе	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальна розрахункове навантаження			Iм, А
			Рном одного ЕП (наіменшого - найбільшого)	Рном агальна, робочих / резервних					Рсм, кВт	Qсм,кВар			Рм, кВт	Qм,кВар	Sм, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	<u>Разом з ПЕЧІ</u>	1	12	12,000	<3	0,6	0,95	0,33	7,200	2,367	1,000	-	12,000	9,000	15,000	22,791
V	СП - 4															
	Молот пневматичний (1, 3)	2	7,187	14,374	>3	0,2	0,90	0,48	2,875	1,392						
	Абразивно-відрізний верстат (4)	1	3,253	3,253	<3	0,14	0,91	0,46	0,455	0,207						
	<u>Разом з СП - 4</u>	3	2,846 - 6,325	17,627	>3	0,19	0,90	0,48	3,330	1,600	-	-	17,627	13,220	22,033	33,477
	<u>Разом з ПЕЧІ</u>	1	12	12,000	<3	0,6	0,95	0,33	7,2	2,367	1	-	12,000	9,000	15,000	22,791
	<u>СП - 4 + ПЧ</u>	4	2,846-12	29,627	>3	0,36	0,94	0,38	10,530	3,966			29,627	22,220	37,033	56,268
VI	СП - 5															
	Універсальний заточувальний верстат (26)	1	2,245	2,245	<3	0,14	0,88	0,54	0,314	0,170						
	Верстати різні (27 - 31)	5	0,653 - 2,925	7,389	>3	0,14	0,88	0,53	1,034	0,553						
	<u>Разом з СП - 5</u>	6	0,653 - 2,925	9,634	>3	0,14	0,71	1,00	1,349	1,349	6,588	2,5	3,372	1,484	3,684	5,597

Таблиця 1.10 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 В (Варіант 2)

№ групи	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, яка проведена до ТВ=100%, кВт		m	Коефіцієнт використання, Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП,пе	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальна розрахункове навантаження			Iм, А
			Рном одного ЕП (намінішого - найбільшого)	Рном агальна, робочих / резервних					Рсм, кВт	Qсм, кВар			Рм, кВт	Qм,кВар	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	ШРА - 1															
	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (12)	1	36,66	36,66	<3	0,25	0,90	0,49	9,17	4,48						
	Верстати різні (13 - 15, 20 - 22)	6	2,245 - 8,738	22,304	>3	0,14	0,795	0,76	3,123	2,383						
	<i>Разом з ШРА-1</i>	7	2,245 - 36,66	58,967	>3	0,21	0,873	0,56	12,288	6,859	3,216	-	44,225	44,225	62,544	95,026
II	ШРА - 2															
	Токарно-револьверний верстат (16 - 19, 23, 24)	6	8,835	53,012	>3	0,17	0,883	0,53	9,012	4,797						
	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат (25)	1	36,66	36,66	<3	0,25	0,90	0,49	9,17	4,48						
	<i>Разом з ШРА -2</i>	7	8,835 - 36,66	89,675	<3	0,2	0,891	0,51	18,178	9,273	7	2,1	38,174	10,201	39,513	60,034
	Піч															
	Піч нагрівальна (2)	1	12	12	<3	0,6	0,95	0,33	7,2	2,366						
	Разом з печі	1	12	12	<3	0,6	0,95	0,33	7,2	2,366	1	-	12	9	15	22,791
	СП - 1															
	Універсальний заточувальний верстат (26)	1	2,245	2,245	<3	0,14	0,88	0,54	0,314	0,170						
	Верстати різні (27 - 31)	5	0,653 - 2,925	7,389	>3	0,14	0,882	0,53	1,034	0,553						

№ групи	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, яка проведена до ТВ=100%, кВт		m	Коефіцієнт використання, Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП, пс	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальна розрахункове навантаження			Ім, А
			Рном одного ЕП (найменшого - найбільшого)	Рном загальна, робочих / резервних					Рсм, кВт	Qсм, кВар			Рм, кВт	Qм,кВар	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	<i>Разом з СП - 1</i>	6	0,653 - 2,925	9,634	>3	0,14	0,707	1	1,349	1,349	6,588	2,5	3,372	1,484	3,684	5,597
III	ШРА - 3															
	Верстати різні (1, 3, 5, 9, 11)	5	1,676 - 20,97	42,437	>3	0,2	0,896	1,17	8,487	9,923						
	Верстати різні (4, 6, 7, 10)	4	2,53 - 6,325	16,289	<3	0,14	0,898	0,49	2,280	1,115						
	Фрезерно-відрізний напівавтомат (8)	1	7,750	7,750	<3	0,14	0,877	0,55	1,085	0,595						
	СП - 1	6	0,653 - 2,925	9,634	>3	0,14	0,707	1	1,349	1,349	6,588	2,5	3,372	1,484	3,684	5,597
	<i>Разом</i>	16	1,676 - 20,97	76,110	>3	0,17	0,713	0,983	13,202	12,981	7,259	2,5	33,004	14,279	35,961	54,637
	ПЧ	1	12	12	<3	0,6	0,95	0,33	7,2	2,366	1	-	12	9	15	22,791
	<i>Разом з ШРА - 3</i>	17	1,676 - 20,97	88,110	>3	0,23	0,799	0,752	20,402	15,348	-	-	45,004	23,279	50,669	76,983

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Вибір схеми ЦТП, типу, числа і потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності

Розрахунок третього рівня електропостачання

Для визначення загальних навантажень по трансформатору або підстанції в цілому до силових навантажень необхідно додати освітлювальне навантаження. Розрахункова максимальне навантаження від електричного освітлення приймається рівною середній за найбільш завантажену зміну:

$$P_{мо} = P_{см.о} = K_{ПРА} \cdot K_{с.о.} \cdot P_{н.о.}, \quad (2.1)$$

де $K_{с.о.} = 0,8$ – коефіцієнт попиту для виробничих будівель, що складаються з окремих приміщень; $P_{но}$ – номінальна потужність освітлювального навантаження; $K_{ПРА}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі, для ламп ДРЛ $K_{ПРА} = 1,1$.

Визначаємо номінальну потужність робочого освітлення:

$$P_{н.о.} = N \cdot P_{л}, \quad (2.2)$$

де N – кількість ламп; $P_{л}$ – номінальна потужність лампи.

$$P_{н.о.} = 20 \cdot 700 = 14000 \text{ Вт},$$

$$P_{мо} = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 14000 = 123200 \text{ Вт} = 12,320 \text{ кВт}.$$

Підсумки розрахунку зафіксовані в таблицях 2.1. для першого варіанту і 2.2 для другого варіанту. Для всього підприємства в цілому в таблиці 2.3.

Вибір типу, числа та потужності трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності

Орієнтовний вибір числа і потужності цехових трансформаторів проводиться за питомою площею σ_n навантаження, кВА/м²:

$$\sigma_n = \frac{S_p}{F}; \quad (2.3)$$

де S_p – розрахункове навантаження цеху, кВА; F – площа цеху, м².

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 (1-й варіант)

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, приведена до ТВ=100%, кВт		m	Коефіцієнт використання, Ки	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП, n _е	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальне розрахункове навантаження			I _м , А
			P _{ном} одного ЕП (найменшого-найбільшого)	P _{ном} загальна, робочих / резервних					P _{см} , кВт	Q _{см} ,кВар			P _м , кВт	Q _м ,кВар	S _м , кВА	
I	СП - 1	7	2,245 - 36,66	58,967	>3	0,21	0,87	0,56	12,288	6,859	3,217	-	44,225	44,225	62,544	95,026
II	СП - 2	7	8,835 - 36,66	89,676	<3	0,2	0,89	0,51	18,178	9,273	7	2,1	38,174	10,201	39,513	60,034
III	СП - 3	7	1,676 - 20,97	48,849	>3	0,17	0,73	0,95	8,523	8,064	4,659	2,9	24,716	8,870	26,259	39,898
IV	СП - 4	3	2,846 - 6,325	17,627	>3	0,19	0,9	0,48	3,330	1,600	-	-	17,627	13,220	22,033	33,477
V	СП - 5	6	0,653 - 2,925	9,634	>3	0,14	0,71	1,00	1,349	1,349	6,588	2,5	3,372	1,484	3,684	5,597
	Разом з СП	30	0,653 - 36,66	224,753	>3	0,19	0,85	0,62	43,668	27,144	12,262	1,6	69,869	27,144	74,957	113,888
VI	Піч	1	12	12,000	<3	0,6	0,95	0,33	7,200	2,367	1	-	12	9,000	15,000	22,791
	<u>Разом</u>	31	0,653 - 36,66	236,753	>3	0,21	0,86	0,58	50,868	29,511	-	-	81,869	36,144	89,493	135,974
	Робоче освітлення	20	0,7	14,000	>3	1	0,6	1,33	14,000	18,667	-	-	14	18,667	23,333	35,451
	<u>Разом</u>	51	-	250,753	>3	0,26	0,8	0,74	64,868	48,178	-	-	95,869	54,811	110,431	167,783

Таблиця 2.2 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму до 1000 (2-й варіант)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	ШРА - 1	7	2,245 - 36,66	58,967	>3	0,21	0,873	0,56	12,288	6,859	3,217	-	44,225	44,225	62,544	95,026
II	ШРА - 2	7	8,835 - 36,66	89,676	<3	0,2	0,891	0,51	18,178	9,273	7,000	2,1	38,174	10,201	39,513	60,034
III	ШРА - 3 + СП	16	1,676 - 20,97	76,110	>3	0,17	0,713	0,98	13,202	12,981	7,259	2,5	33,004	14,279	35,961	54,637
	<u>Разом з ШРА</u>	30	1,676 - 36,66	224,753	<3	0,19	0,832	0,667	43,668	29,114	12,262	1,6	69,869	29,114	75,692	115,005
V	Печь	1	12	12,000	<3	0,6	0,95	0,33	7,200	2,367	1,000	-	12	9,000	15	22,791
	<u>Разом</u>	31	1,676 - 36,66	236,753	<3	0,21	0,85	0,619	50,868	31,480	12,916	1,7	81,869	38,114	90,306	137,206
	Робоче освітлення	20	0,7	14,000	>3	1	0,6	1,33	14,000	18,667	-	-	14	18,667	23,333	35,451
	<u>Разом</u>	51	-	250,753	>3	0,26	0,791	0,773	64,868	50,147	-	-	95,869	56,780	111,42	169,288

Таблиця 2.3 – Розрахунок електричних навантажень мережі трифазного струму вище 1 кВ

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, приведена до ТВ=100%, кВт		n	Коефіцієнт використання, Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП, n _е	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальне розрахункове навантаження			I _м , А
			Рном одного ЕП (найменшого-найбільшого)	Рном загальна, робочих / резервних					Рсм, кВт	Qсм,кВар			Рм, кВт	Qм,кВар	Sm, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	КТП - 1															
	Корпус виробництва бетонних конструкцій	50		968,246	>3	0,25	0,7	1,02	242,061	246,952			726,184	740,856	1037,406	1576,176
	Корпус керамзитобетонних конструкцій	60		934,309	>3	0,25	0,65	1,17	233,577	273,082			700,732	819,246	1078,049	1637,926
	Бетонозмішувальний цех	30		467,155	>3	0,25	0,65	1,17	116,79	136,54			350,366	409,623	539,025	818,963
	Склад цементу	10		44,011	>3	0,06	0,45	1,98	2,641	5,240			33,008	65,505	73,352	111,447
	Склад арматурної сталі	15		70,418	>3	0,06	0,45	1,98	4,225	8,385			52,813	104,809	117,363	178,315
	Автоматизований склад з прийомними пристроями	20		260,986	>3	0,6	0,7	1,02	156,592	159,756			195,740	199,694	279,628	424,851
	Майданчик для зберігання готової продукції	5		44,011	>3	0,25	0,8	0,75	11,003	11,225			33,008	24,756	41,260	62,689
	<i>Разом</i>	190		2789,136	>3	0,27	0,674	1,1	766,888	841,181	163,671	1,1	843,577	841,181	1191,305	1810,000
	Освітлення (1)			42,000	>3	1	0,6	1,33	42,000	56,000			42,000	56,000	70,000	106,354
	Освітлення (2)			37,000	>3	1	0,6	1,33	37,000	49,333			37,000	49,333	61,667	93,693
	Освітлення (3)			2,500	>3	1	0,6	1,33	2,500	3,333			2,500	3,333	4,167	6,331
	Освітлення (4)			3,000	>3	1	0,6	1,33	3,000	4,000			3,000	4,000	5,000	7,597
	Освітлення (5)			10,000	>3	1	0,6	1,33	10,000	13,333			10,000	13,333	16,667	25,322
	Освітлення (6)			10,100	>3	1	0,6	1,33	10,100	13,467			10,100	13,467	16,833	25,576
	Освітлення (9)			42,500	>3	1	0,6	1,33	42,500	56,667			42,500	56,667	70,833	107,620
	<i>Разом з КТП - 1</i>	190		2936,236	>3	0,31	0,661	1,13	913,987	1037,31	-	-	990,677	1037,314	1434,385	2179,323
II	КТП - 2															
	Блок механічних цехів	31		250,753	>3	0,27	0,803	0,74	67,703	50,284			188,065	139,676	234,260	355,922
	Адміністративний корпус	30		284,091	>3	0,65	0,8	0,75	184,659	138,494			213,068	159,801	266,335	404,655
	Корпус керамзитових труб №1	50		646,830	>3	0,15	0,8	0,75	97,024	72,768			485,122	363,842	606,403	921,334
	Корпус бетонних труб	70		862,439	>3	0,15	0,8	0,75	129,366	97,024			646,830	485,122	808,537	1228,445
	Склад керамзиту	5		44,011	>3	0,06	0,45	1,98	2,641	5,240			33,008	65,505	73,352	111,447

№	Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Кількість ЕП, робочих / резервних	Встановлена потужність, приведена до ТВ=100%, кВт		m	Коефіцієнт використання, Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективне число ЕП,λε	Коефіцієнт максимуму, Км	Максимальне розрахункове навантаження			Iм, А
			Рном одного ЕП (найменшого-найбільшого)	Рном загальна, робочих / резервних					Pсм, кВт	Qсм,кВар			Pм, кВт	Qм,кВар	Sм, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Склад готових труб	5		44,011	>3	0,06	0,45	1,98	2,641	5,240			33,008	65,505	73,352	111,447
	<u>Разом</u>	191		2132,136	>3	0,23	0,795	0,76	484,034	369,051	127,697	1	484,034	369,051	608,677	924,789
	Освітлення (7)			14,000	>3	1	0,6	1,33	14,000	18,667			14,000	18,667	23,333	35,451
	Освітлення (8)			43,600	>3	1	0,6	1,33	43,600	58,133			43,600	58,133	72,667	110,406
	Освітлення (13)			25,000	>3	1	0,6	1,33	25,000	33,333			25,000	33,333	41,667	63,306
	Освітлення (14)			30,500	>3	1	0,6	1,33	30,500	40,667			30,500	40,667	50,833	77,233
	Освітлення (15)			5,600	>3	1	0,6	1,33	5,600	7,467			5,600	7,467	9,333	14,181
	Освітлення (16)			13,100	>3	1	0,6	1,33	13,100	17,467			13,100	17,467	21,833	33,172
	<u>Разом з КТП -2</u>	31		2263,936	>3	0,27	0,749	0,885	615,834	544,785			615,834	544,785	822,218	1249,231
III	КТП - 3															
	Склад метизів і труб	5		35,209	>3	0,06	0,45	1,98	2,113	4,192			26,407	52,404	58,682	89,157
	Гараж на 25 автомобілів	20		132,034	>3	0,25	0,8	0,75	33,008	24,756			99,025	74,269	123,781	188,066
	Стоянка автомашин	-		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-
	Деревообробний цех	30		132,034	>3	0,16	0,6	1,33	21,125	28,167			99,025	132,034	165,042	250,755
	Котельня	30		337,789	>3	0,6	0,7	1,02	202,673	206,768			253,342	258,460	361,917	549,875
	Компресорна	15		1056,268	>3	0,65	0,8	0,75	686,574	514,931			792,201	594,151	990,251	1504,531
	<u>Разом</u>	100		1693,333	>3	0,56	0,772	0,82	945,494	778,815	19,873	1	945,494	778,815	1224,953	1861,124
	Освітлення (10)			14,500	>3	1	0,6	1,33	14,500	19,333			14,500	19,333	24,167	36,717
	Освітлення (11)			15,300	>3	1	0,6	1,33	15,300	20,400			15,300	20,400	25,500	38,743
	Освітлення (12)			115,100	>3	1	0,6	1,33	115,100	153,467			115,100	153,467	191,834	291,461
	Освітлення (17)			22,000	>3	1	0,6	1,33	22,000	29,333			22,000	29,333	36,667	55,709
	Освітлення (18)			20,700	>3	1	0,6	1,33	20,700	27,600			20,700	27,600	34,500	52,417
	Освітлення (19)			4,000	>3	1	0,6	1,33	4,000	5,333			4,000	5,333	6,667	10,129
	<u>Разом з КТП -3</u>	85		1884,933	>3	0,6	0,74	0,910	1137,094	1034,28			1137,094	1034,282	1537,115	2335,404
	<u>Разом</u>	306		7085,105	>3	0,38	0,714	0,981	2666,916	2616,381	-	-	2743,605	2616,381	3791,150	5760,225

Вибір потужності трансформаторів проводиться виходячи з їх раціонального завантаження в нормальному режимі і з урахуванням мінімально необхідного резервування в післяаварійний режимі. При цьому номінальна потужність трансформаторів $S_{ном.т}$ визначається по розрахунковому навантаженні S_p за найбільш завантажену зміну, кВА:

$$S_{ном.т} = \frac{S_p}{N \cdot K_3}; \quad (2.4)$$

де N – число трансформаторів; K_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Вся необхідна реактивна потужність буде вироблятися безпосередньо в цеху. Тому трансформатори будемо вибирати по активної потужності. Розрахунок будемо проводити для групи цехів. Кожна група цехів являє собою зосереджене навантаження, в яких присутні цеху з високою питомою щільністю навантаження, а також окремо розташовані об'єкти загальнозаводського призначення (компресорна). Для всіх груп цехів застосуємо двотрансформаторні підстанції.

Зробимо розрахунок для першої групи цехів.

Питома щільність навантаження складе:

$$\sigma_n = \frac{\Sigma P_p}{\Sigma F} = \frac{913,677}{2583 + 2287 + 157 + 180 + 569 + 628 + 2623} = 0,11 \text{ кВА/м}^2,$$

доцільніше застосувати трансформатор до 1000 кВА включно.

Визначимо розрахункову потужність трансформаторів, при цьому коефіцієнт завантаження приймаємо рівним 0,7:

$$S_{ном.тп} = \frac{913,99}{2 \cdot 0,7} = 652,85 \text{ кВА};$$

звідки вибираємо трансформатор ТМ – 1000/10/0,4.

Перевіримо трансформатор на перевантажувальну здатність:

$$\frac{\Sigma P_p}{S_{ном.тп}} = \frac{913,99}{1000} = 0,914 \leq 1,4 \text{ – умова перевірки виконується.}$$

При виборі трансформатора ГПП розрахункову максимальну потужність помножимо на коефіцієнт різночасності максимумів $K_{pm}=0,9\dots 0,95$.

Вибір інших трансформаторів аналогічний.

Вибір трансформаторів зведемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір трансформаторів ЦТП та ГПП

Найменування підстанції	Найменування трансформатора	Питома щільність навантаження, kVA/M^2	$S_{\text{ном.т}}$, kVA	Навантаження, kVt	Перевантаження kVt	Номинальна потужність тр-ра S , kVA	$U_{\text{ном.т}}$, kV	ΔP_x , kVt	ΔP_k , kVt	$I_{\text{хх}}$, %	U_k , %
ЦТП – 1	ТМ 1000/10/0,4	0,11	652,85	913,99	1400	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5
ЦТП – 2	ТМ 630/10/0,4	0,08	439,88	615,83	882	630	10	1,31	7,6	2	5,5
ЦТП – 3	ТМ 1000/10/0,4	0,096	812,21	1137,09	1400	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5
ГПП	ТМН 2500/110/11		1959,72	2606,42	3500	2500	110	6,5	22	1,5	10,5

2.2. Вибір варіанта схем на низькій стороні напруги

Вибір перетинів проводів і кабельних ліній

Перетини проводів і жил кабелів цехової мережі вибираємо по нагріванню тривалим розрахунковим струмом:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p, \quad (2.5)$$

де $I_{\text{дон}}$ – тривало допустимий струм провідника; I_p – розрахунковий струм кабелю.

Розрахунковий струм обчислюємо за формулою:

$$I_p = \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi}, \quad (2.5)$$

де P_m – максимальне розрахункове навантаження, визначене на II рівні; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності електроприймача.

Перетини проводів ЕП були обрані в п 1.2. Далі необхідно вибрати перетину кабелів живлять силові розподільні пункти (СРП), шинопроводи та ввідно-розподільні пристрої (ВРП) цехів, а також перетини самих шинопроводов.

Варіант 1

Таблиця 2.5

РП	Ім, А	F, мм ²	Довжина L, км	Питоме г, Ом/км	Питоме х, Ом/км	Марка кабелю
Кабель до СП1	83,78	35	0,005	0,89	0,065	АВВГ 4Х35
Кабель до СП2	66,51	25	0,003	1,25	0,067	АВВГ 4Х25
Кабель до СП3	30,13	10	0,017	3,13	0,069	АВВГ 4Х10
Кабель до СП4	35,76	10	0,028	3,13	0,068	АВВГ 4Х10
Кабель до СП5	5,165	10	0,030	3,13	0,069	АВВГ 4Х10

Варіант 2

Таблиця 2.6

РП	Ім, А	F, мм ²	Довжина L, км	Питоме г, Ом/км	Питоме х, Ом/км	Марка кабелю
ШРА 1	83,78	175	0,01	0,21	0,21	-
ШРА 2	66,51	175	0,02	0,21	0,21	-
ШРА 3	175,0	175	0,02	0,21	0,21	-
Кабель до СП1	6,3	10	0,01	3,13	0,068	АВВГ 4Х10
Кабель до ШРА1	83,8	35	0,005	0,89	0,065	АВВГ 4Х35
Кабель до ШРА2	66,5	25	0,005	1,25	0,066	АВВГ 4Х25
Кабель до ШРА3	175,0	70	0,005	0,45	0,064	АВВГ 4Х70

Варіант 1

Таблиця 2.7

Найменування цеху / ТП	Ім, А	F, мм ²	Довжина L, км	Питоме г, Ом/км	Питоме х, Ом/км	Марка кабелю
1	2	3	4	5	6	7
Кабель до цеху 1(1 - 4) МЕДЬ	291,78	150	0,0551	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 2(1 - 4) МЕДЬ	280,22	150	0,005	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеха 3(1 - й/2 - й) МЕДЬ	268,06	95	0,0339	0,199	0,07	ВВГ 4Х95
Кабель до цеху 4(1 - й/2 - й)	27,35	16	0,0318	1,953	0,07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 5(1 - й/2 - й)	47,72	50	0,0762	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 6(1 - й/2 - й)	156,37	70	0,0265	0,446	0,07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 7(1 - й/2 - й)	153,50	70	0,0974	0,446	0,07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 8(1 - й/2 - й)	194,98	120	0,0826	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 9(1 - й/2 - й)	57,36	50	0,0889	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 10(1 - й/2 - й)	31,08	50	0,1821	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 11(1 - й/2 - й)	86,85	95	0,1059	0,329	0,07	АВВГ 4Х95
Кабель до автостоянки	174,88	120	0,0212	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 13(1 - й/2 - й) МЕДЬ	387,53	185	0,0551	0,102	0,07	ВВГ 4Х185
Кабель до цеху 14(1 - 4) МЕДЬ	257,27	150	0,005	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 15(1 - й/2 - й)	29,33	16	0,0191	1,953	0,07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 16(1 - й/2 - й)	35,03	25	0,0487	1,250	0,07	АВВГ 4Х25
Кабель до цеху 17(1 - й/2 - й)	91,94	95	0,1355	0,329	0,07	АВВГ 4Х95
Кабель до цеху 18(1 - й/2 - й)	208,18	120	0,0424	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 19(1 - 4) МЕДЬ	302,43	185	0,0424	0,102	0,07	ВВГ 4Х185

Варіант 2
Таблиця 2.8

Найменування цеху / ТП	Ім, А	F, мм ²	ДовжинаL, км	Питоме г, Ом/км	Питоме х, Ом/км	Марка кабелю
1	2	3	4	5	6	7
Кабель до цеху 1(1 - 4) МЕДЬ	291,78	150	0,005	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 2(1 - 4) МЕДЬ	280,22	150	0,028	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 3(1 - й/2 - й) МЕДЬ	268,06	95	0,017	0,199	0,07	ВВГ 4Х95
Кабель до цеху 4(1 - й/2 - й)	27,35	16	0,023	1,953	0,07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 5(1 - й/2 - й)	47,72	50	0,091	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 6(1 - й/2 - й)	156,37	70	0,066	0,446	0,07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 7(1 - й/2 - й)	153,50	70	0,089	0,446	0,07	АВВГ 4Х70
Кабель до цеху 8(1 - й/2 - й)	194,98	120	0,064	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 9(1 - й/2 - й)	57,36	50	0,061	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 10(1 - й/2 - й)	31,08	50	0,150	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до цеху 11(1 - й/2 - й)	86,85	95	0,131	0,329	0,07	АВВГ 4Х95
Кабель до автостоянки	174,88	120	0,005	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 13(1 - й/2 - й) МЕДЬ	387,53	185	0,034	0,102	0,07	ВВГ 4Х185
Кабель до цеху 14(1 - 4) МЕДЬ	257,27	150	0,005	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до цеху 15(1 - й/2 - й)	29,33	16	0,038	1,953	0,07	АВВГ 4Х16
Кабель до цеху 16(1 - й/2 - й)	35,03	25	0,059	1,250	0,07	АВВГ 4Х25
Кабель до цеху 17(1 - й/2 - й)	91,94	95	0,127	0,329	0,07	АВВГ 4Х95
Кабель до цеху 18(1 - й/2 - й)	208,18	120	0,070	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до цеху 19(1 - 4) МЕДЬ	302,43	185	0,034	0,102	0,07	ВВГ 4Х185

Вибір розподільних пунктів і шинопроводів

Для першого варіанту схеми електропостачання, виходячи з значень струмів таблиці 1.9 (II рівень), виберемо силові пункти. Результати зведемо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9

Обозн.	Марка	I_p , А	I_n , А	Необхідимое число присоединений	Номинальное число присоединений	Ц, грн.
СП1	ПР 11-3077- 21 У3	83,78	До 250	7	10	2397
СП2	ПР 11-3077- 21 У3	66,51	До 250	7	10	2397
СП3	ПР 11-3067- 21 У3	30,13	До 250	7	10	2087
СП4	ПР 11-3077- 21 У3	35,73	До 250	4	6	2397
СП5	ПР 11-3059- 21 У3	5,16	До 250	6	8	1754

Розподільні шинопроводи типу ШРА вибирають по розрахунковому току I_p (II рівень) з умови

$$I_p \leq I_{ном} ,$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм шинопровода.

Результати зведемо в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10

Позначення	Марка	I_p, A	I_n, A
ШРА1	ШРА4-100-44-1У3	83,77	100
ШРА2	ШРА4-100-44-1У3	66,51	100
ШРА3	ШРА4-250-32-1У3	126,85	250

Вибір комутаційно-захисних апаратів

Перший варіант схеми розподільної мережі 0,4 кВ виконано на силових пунктах. Для захисту приєднань в ящиках повинні встановлюватися запобіжники або автоматичні вимикачі. Оскільки дане виробництво має низький ступінь пожежо-та вибухонебезпечності, а також з економічної точки зору захист приєднань, що відходять виконаємо на автоматичних вимикачах.

Другий варіант схеми мережі 0,4 кВ виконано з використання шинопроводів. Електроприймачі до шинопроводам типу ШРА підключаються також через запобіжники або автоматичні вимикачі, які встановлюються в відгалужувальних коробках шинопровода. З міркувань, описаних вище, вибираємо в якості захисних пристроїв електроприймачів автоматичні вимикачі.

Основними характеристиками автоматичних вимикачів є номінальний струм вимикача $I_{ном,а}$, номінальний струм розчеплювача $I_{ном,рас}$.

Вибір вимикачів виробляємо за умовами:

$$U_{ном,пр} \geq U_c ;$$

$$I_{ном,рас} \geq I_{р,мах} ,$$

де U_c – номінальна напруга мережі; $I_{р,мах}$ – максимальний робочий струм, розрахований на II рівні (табл. 1.9).

В якості струму уставки приймаємо найближче більше з ряду номінальних струмів розчеплювача.

Підсумки вибору вимикачів за першим варіантом представимо у вигляді таблиці:

Таблиця 2.11

Розташування вимикача на відгалуженні:	Тип захисного апарату	$I_{p,max}, A$	$I_{ном,а}, A$	$I_{ном,рас}, A$	$I_{откл,ном}, кА$	$Ц, грн$
1	2	3	4	5	6	7
ЭП1	АЕ2030	11,08	25	12,5	3	70
ЭП2	ППН 33 -100	19,19	100	100	3	46
ЭП3	АЕ2030 - 12,5	11,08	25	12,5	3	70
ЭП4	АЕ2030 - 8	6,49	25	8	3	70
ЭП5	АЕ2030 - 3,2	2,44	25	3,2	3	70
ЭП6	АЕ2030 - 6	5,77	25	6	3	70
ЭП7	АЕ2030 - 6	5,77	25	6	3	70
ЭП8	АЕ2030 - 16	12,6	25	16	3	70
ЭП9	АЕ2030 - 10	8,32	25	10	3	70
ЭП10	АЕ2030 - 16	14,4	25	16	3	70
ЭП11	АЕ2040 - 40	33,26	63	40	6	117
ЭП12	АЕ2040 - 80	62,7	63	80	6	117
ЭП13	АЕ2030 - 3,2	4,08	25	3,2	3	70
ЭП14	АЕ2030 - 16	14,29	25	16	3	70
ЭП15	АЕ2030 - 3,2	4,08	25	3,2	3	70
ЭП16	АЕ2030 - 16	14,53	25	16	3	70
ЭП17	АЕ2030 - 16	14,53	25	16	3	70
ЭП18	АЕ2030 - 16	14,53	25	16	3	70
ЭП19	АЕ2030 - 16	14,53	25	16	3	70
ЭП20	АЕ2030 - 6	14,53	25	6	3	70
ЭП21	АЕ2030 - 6	3,60	25	6	3	70
ЭП22	АЕ2030 - 6	4,98	25	6	3	70
ЭП23	АЕ2030 - 16	4,98	25	16	3	70
ЭП24	АЕ2030 - 16	14,53	25	16	3	70
ЭП25	АЕ2040 - 80	14,53	63	80	6	117
ЭП26	АЕ2030 - 5	62,70	25	5	3	70
ЭП27	АЕ2030 - 8	3,60	25	8	3	70
ЭП28	АЕ2030 - 3,2	5,76	25	3,2	3	70
ЭП29	АЕ2030 - 2	4,32	25	2	3	70
ЭП30	АЕ2030 - 3,2	0,86	25	3,2	3	70
ЭП31	АЕ2030 - 3,2	4,32	25	3,2	3	70

Умови для вибору вимикачів описані вище. Максимальний робочий струм $I_{p,max}$ розрахований на II рівні (таблиця 1.9). Підсумки вибору вимикачів для обох варіантів і ціни на них представимо у вигляді таблиці:

Таблиця 2.12

Розташування вимикача на відгалуженні:	Тип захисного апарату	$I_{p,max}, A$	$I_{ном,а}, A$	$I_{ном,рас}, A$	$I_{откл,ном}, кА$	$Ц, грн$
К СП1	А-3716	83,77	160	100	75	510
К СП2	А-3716	66,50	160	80	75	510
К СП3	А-3716	30,13	160	40	75	440
К СП4	А-3716	13,07	160	50	75	440
К СП5	А-3716	5,16	160	16	75	440
К ШРА1	А-3716	83,77	160	100	75	510
К ШРА2	А-3716	66,50	160	80	75	440
К ШРА3	А-3716	126,85	160	160	75	510

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності і напруги в цеховій розподільній мережі

Втрату напруги в кабельних лініях визначаємо за формулою, В:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cdot \cos \varphi + x_{y\partial} \cdot \sin \varphi), \quad (2.6)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії, А; $r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ – активний і реактивний питомі опори кабелів, Ом/км; l – довжина лінії, км; $\cos \varphi$ та $\sin \varphi$ відповідають коефіцієнту потужності в кінці лінії.

Для визначення втрат енергії в лінії необхідно знати втрати потужності. Втрати енергії впливають на наведені витрати варіанта. Втрати активної потужності в лінії визначимо як, Вт:

$$\Delta P = I_m^2 \cdot l \cdot r_{уд}, \quad (2.7)$$

втрати реактивної потужності визначимо за формулою:

$$\Delta Q = I_m^2 \cdot l \cdot x_{уд}. \quad (2.8)$$

Наведемо приклад для приймача № 4 першого варіанту.

Дано: $I_p = 6,486$ А; $P_{mI} = 2,135$ кВт; $Q_{mI} = 3,697$ кВАр; $\cos \varphi = 0,5$; $\sin \varphi = 0,87$; $r_{y\partial} = 0,0125$ Ом/м; $x_{y\partial} = 0,00007$ Ом/м; $l = 1,512$ м.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 6,486 \cdot 1,512 \cdot (0,0125 \cdot 0,5 + 0,00007 \cdot 0,87) = 0,138 \text{ В};$$

$$\Delta P = 6,486^2 \cdot 1,512 \cdot 0,00125 = 2,38 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q = 6,486^2 \cdot 1,512 \cdot 0,00007 = 0,01336 \text{ Вт}.$$

Розрахунок втрат напруги і потужності для інших електроприймачів визначається аналогічно. Результати розрахунків першого і другого варіантів зведемо в таблицю 2.13. Таблиці представлені нижче.

Таблиця 2.13

№ ЕП по генплану	Найменування ЕП	Im, А	cos(f)	sin(f)	Питома р. Ом/км	Питома х. Ом/км	Довжина проводу L1, м	Довжина проводу L2, м	Втрати напруги U1, В	Втрати напруги U2, В	Втрати P1, Вт	Втрати P2, Вт	Втрати Q1, Вар	Втрати Q2, Вар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Група - 1 ШРА - 1, СП - 1														
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	62,7	0,6	0,8	1,25	0,07	6,993	6,24	0,61	0,54	103	91,9	5,46	4,87
13	Токарний верстат №1	4,08	0,6	0,8	12,50	0,07	6,993	7,37	0,37	0,39	4,37	4,61	0,02	0,026
14	Радіально-свердлильний верстат	14,3	0,6	0,8	12,50	0,07	6,993	7,37	1,31	1,38	53,6	56,5	0,3	0,316
15	Токарний верстат №2	4,08	0,6	0,8	12,50	0,07	6,993	7,37	0,37	0,39	4,37	4,61	0,02	0,026
20	Універсальний заточувальний верстат №1	3,6	0,6	0,8	12,50	0,07	6,993	1,32	0,33	0,06	3,41	0,64	0,02	0,004
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	4,98	0,6	0,8	12,50	0,07	3,78	1,7	0,25	0,11	3,52	1,58	0,02	0,009
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	4,98	0,6	0,8	12,50	0,07	1,512	1,51	0,1	0,1	1,41	1,41	0,01	0,008
Група - 2 ШРА - 2, СП - 2														
16	Токарно-револьверний верстат №1	14,5	0,6	0,8	12,50	0,07	6,615	6,62	1,26	1,26	52,4	52,4	0,29	0,293
17	Токарно-револьверний верстат №2	14,5	0,6	0,8	12,50	0,07	10,58	6,62	2,01	1,26	83,8	52,4	0,47	0,293
18	Токарно-револьверний верстат №3	14,5	0,6	0,8	12,50	0,07	17,2	8,51	3,27	1,62	136	67,4	0,76	0,377
19	Токарно-револьверний верстат №4	14,5	0,6	0,8	12,50	0,07	20,03	7,37	3,81	1,4	159	58,4	0,89	0,327
23	Токарно-револьверний верстат №5	14,5	0,6	0,8	12,50	0,07	1,701	0,95	0,32	0,18	13,5	7,49	0,08	0,042
24	Токарно-револьверний верстат №6	14,5	0,6	0,8	12,50	0,07	7,938	0,95	1,51	0,18	62,9	7,49	0,35	0,042
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	62,7	0,6	0,8	1,25	0,07	17,77	1,32	1,55	0,12	262	19,5	13,9	1,033
Група - 3 ШРА - 3, СП - 3														
5	Прес ножиці	2,44	0,7	0,8	12,50	0,07	14,55	15,3	0,5	0,53	3,25	3,42	0,02	0,019
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	5,77	0,5	0,9	12,50	0,07	11,34	12,7	0,71	0,8	14,1	15,8	0,08	0,088
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	5,77	0,5	0,9	12,50	0,07	6,993	8,13	0,44	0,51	8,72	10,1	0,05	0,057
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	12,6	0,6	0,8	12,50	0,07	9,828	0,95	1,62	0,16	58,6	5,64	0,33	0,032
9	Прес кривошипний	8,32	0,7	0,8	12,50	0,07	5,103	2,08	0,6	0,24	13,2	5,39	0,07	0,03
10	Гільйотинні ножиці	14,4	0,5	0,9	12,50	0,07	9,639	3,02	1,52	0,48	75,1	23,6	0,42	0,132
11	Прес	33,3	0,7	0,8	3,13	0,07	15,69	10	1,88	1,2	163	104	3,53	2,251
Для 1 - го варіанту 1, 2, 3 верстати виділені в окрему групу СП - 4														
1	Молот пневматичний №1	11,1	0,7	0,8	12,50	0,07	12,66	13,8	1,99	2,17	58,4	63,6	0,33	0,356
3	Молот пневматичний №2	11,1	1	0,3	12,50	0,07	6,237	6,05	1,42	1,38	28,8	27,9	0,16	0,156
4	Абразивно-відрізний верстат	6,49	0,7	0,8	12,50	0,07	1,512	1,32	0,14	0,12	2,39	2,09	0,01	0,012
Група - 4 СП - 1, СП - 5														
26	Універсальний заточувальний верстат №2	3,6	0,6	0,8	12,50	0,07	6,615	6,62	0,31	0,31	3,22	3,22	0,02	0,018
27	Затяжний верстат	5,77	0,5	0,9	12,50	0,07	9,639	9,64	0,61	0,61	12	12	0,07	0,067
28	Точильно-шліфувальний верстат	4,32	0,5	0,9	12,50	0,07	9,828	9,83	0,46	0,46	6,89	6,89	0,04	0,039
29	Доводочний верстат для різців	0,86	0,5	0,9	12,50	0,07	2,268	2,27	0,02	0,02	0,06	0,06	0	0,004
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	4,32	0,5	0,9	12,50	0,07	0,945	0,95	0,04	0,04	0,66	0,66	0	0,004
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	4,32	0,5	0,9	12,50	0,07	7,938	7,94	0,38	0,38	5,57	5,57	0,03	0,031
Група - 5 Піч														
2	Піч нагрівальна (опору)	19,2	1	0,3	7,813	0,07	9,45	9,45	2,34	2,34	81,6	81,6	0,72	0,723

У таблицях 2.14 (1-й варіант) і 2.15 (2-й варіант) наведені результати розрахунків втрат напруги і потужності для кабелів і шинопроводів внутрішньоцеховий мережі.

Таблиця 2.14

СП	Ім, А	F, мм2	Довжина L, км	Питома r, Ом/км	Питома x, Ом/км	cos(φ)	Втрати напруги U1, В	Втрати P1, Вт	Втрати Q1, Вар
Кабель до СП1	83,8	35	0,005	0,89	0,065	0,6	0,450	99,041	7,255
Кабель до СП2	66,5	25	0,003	1,25	0,067	0,6	0,278	49,761	2,6646
Кабель до СП3	30,1	10	0,017	3,13	0,069	0,61	1,685	140,721	3,085
Кабель до СП4	35,8	10	0,028	3,13	0,068	0,86	4,728	336,439	7,289
Кабель до СП5	5,17	10	0,030	3,13	0,069	0,71	0,598	7,396	0,164

Таблиця 2.15

СП	Ім, А	F, мм2	Довжина L, км	Питома r, Ом/км	Питома x, Ом/км	cos(φ)	Втрати напруги U2, В	Втрати P2, Вт	Втрати Q2, Вар
ШРА 1	83,78	175	0,01	0,21	0,21	0,6	0,48380792	50,144269	50,144269
ШРА 2	66,51	175	0,02	0,21	0,21	0,6	0,62098815	51,0868611	51,0868611
ШРА 3	175,0	175	0,02	0,21	0,21	0,73	2,15941194	463,05	463,05
Кабель до СП1	6,3	10	0,01	3,13	0,068	0,71	0,28421463	4,29600747	0,09306871
Кабель до ШРА1	83,8	35	0	0,89	0,065	0,6	0,34143088	75,2022655	5,50841555
Кабель до ШРА2	66,5	25	0	1,25	0,066	0,6	0,37051483	66,3477791	3,51377838
Кабель до ШРА3	175,0	70	0	0,45	0,064	0,73	0,44738718	164,0625	23,4465

Розрахуємо падіння напруги до кожного електроприймача і визначимо падіння напруги в процентах від номінального.

Для визначення втрат напруги в процентах скористаємося формулою:

$$\Delta U_{\%} = \Delta U \cdot \frac{100}{380}, \quad (2.9)$$

Перший варіант

Приклад розрахунку наведемо для електроприймача №12.

Дані візьмемо з таблиці 2.5.

$$\Delta U_{12-СП1} = 0,61 \text{ В}; \quad \Delta U_{СП1-ТП} = 0,449 \text{ В};$$

$$\Delta U = \Delta U_{12-СП1} + \Delta U_{СП1-ТП} = 0,61 + 0,449 = 1,059 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\%} = \Delta U \cdot \frac{100}{380} = 1,059 \cdot \frac{100}{380} = 0,27 \text{ \%}.$$

Розрахунок для інших електроприймачів аналогічний. Результати розрахунку зведемо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16

№ ЕП по генплану	Найменування ЕП	Сумарні втрати U1,В	Сумарні втрати U1,%	Сумарні втрати U2,В	Сумарні втрати U2,%
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	1,06	0,28	1,37	0,36
13	Токарний верстат №1	0,82	0,22	1,22	0,32
14	Радіально-свердлильний верстат	1,76	0,46	2,20	0,58
15	Токарний верстат №2	0,82	0,22	1,22	0,32
20	Універсальний заточувальний верстат №1	0,78	0,21	0,89	0,23
21	Вертикально-свердлильний верстат №1	0,70	0,18	0,94	0,25
22	Вертикально-свердлильний верстат №2	0,55	0,14	0,92	0,24
16	Токарно-револьверний верстат №1	1,54	0,40	2,25	0,59
17	Токарно-револьверний верстат №2	2,29	0,60	2,25	0,59
18	Токарно-револьверний верстат №3	3,55	0,93	2,61	0,69
19	Токарно-револьверний верстат №4	4,09	1,08	2,39	0,63
23	Токарно-револьверний верстат №5	0,60	0,16	1,17	0,31
24	Токарно-револьверний верстат №6	1,79	0,47	1,17	0,31
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	1,83	0,48	1,11	0,29
5	Прес ножиці	2,19	0,58	3,14	0,83
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	2,40	0,63	3,40	0,90
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	2,13	0,56	3,12	0,82
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	3,31	0,87	2,76	0,73
9	Прес кривошипний	2,29	0,60	2,85	0,75
10	Гільйотинні ножиці	3,20	0,84	3,08	0,81
11	Прес	3,57	0,94	3,81	1,00
1	Молот пневматичний №1	4,73	1,24	2,61	0,69
3	Молот пневматичний №2	6,72	1,77	4,77	1,26
4	Абразивно-відрізний верстат	6,15	1,62	3,99	1,05
26	Універсальний заточувальний верстат №2	0,91	0,24	3,20	0,84
27	Затяжний верстат	1,20	0,32	3,50	0,92
28	Точильно-шліфувальний верстат	1,06	0,28	3,36	0,88
29	Доводочний верстат для різців	0,62	0,16	2,91	0,77
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	0,64	0,17	2,94	0,77
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	0,97	0,26	3,27	0,86
2	Піч нагрівальна (опору)	7,07	1,86	4,95	1,30

Розрахунок втрат напруги і потужності для кабелів з'єднують ЦТП і ВРУ цехів визначається аналогічно. Результати розрахунків першого і другого варіантів зведемо в таблицю 2.17 і 2.18 для 1-го і 2-го варіантів відповідно. Марка кабелів вказана в таблицях 2.7 і 2.8. Таблиці представлені нижче.

Таблиця 2.17 – Розрахунок кабелів (варіант 1)

Найменування цеху / ТП	Ім, А	F, мм ²	Довжина L, км	Питома г, Ом/км	Питома х, Ом/км	cos(φ)	Втрати напруги U ₂ , В	Втрати P ₂ , Вт	Втрати Q ₂ , Вар
Кабель до цеху 1(1 - 4) МЕДЬ	291,78	150	0,055	0,126	0,07	0,70	3,84	1769	984,4
Кабель до цеху 2(1 - 4) МЕДЬ	280,22	150	0,005	0,126	0,07	0,65	0,33	148,2	82,45
Кабель до цеху 3(1 - й/2 - й) МЕДЬ	268,06	95	0,034	0,199	0,07	0,65	2,87	1451	511,3
Кабель до цеху 4(1 - й/2 - й)	27,35	16	0,032	1,953	0,07	0,45	1,42	139,3	4,991
Кабель до цеху 5(1 - й/2 - й)	47,72	50	0,076	0,625	0,07	0,45	2,17	325,5	36,45
Кабель до цеху 6(1 - й/2 - й)	156,37	70	0,026	0,446	0,07	0,70	2,60	866,8	135,9
Кабель до цеху 7(1 - й/2 - й)	153,50	70	0,097	0,446	0,07	0,80	10,36	3074	482
Кабель до цеху 8(1 - й/2 - й)	194,98	120	0,083	0,260	0,07	0,80	6,98	2453	659,4
Кабель до цеху 9(1 - й/2 - й)	57,36	50	0,089	0,625	0,07	0,80	4,79	548,7	61,45
Кабель до цеху 10(1 - й/2 - й)	31,08	50	0,182	0,625	0,07	0,45	3,37	329,7	36,93
Кабель до цеху 11(1 - й/2 - й)	86,85	95	0,106	0,329	0,07	0,80	4,86	788,1	167,7
Кабель до автостоянки	174,88	120	0,021	0,260	0,07	0,60	1,36	505,9	136
Кабель до цеху 13(1 - й/2 - й) МЕДЬ	387,53	185	0,055	0,102	0,07	0,80	4,57	2530	1736
Кабель до цеху 14(1 - 4) МЕДЬ	257,27	150	0,005	0,126	0,07	0,80	0,32	124,9	69,5
Кабель до цеху 15(1 - й/2 - й)	29,33	16	0,019	1,953	0,07	0,45	0,91	96,06	3,443
Кабель до цеху 16(1 - й/2 - й)	35,03	25	0,049	1,250	0,07	0,45	1,85	224,1	12,55
Кабель до цеху 17(1 - й/2 - й)	91,94	95	0,136	0,329	0,07	0,60	5,47	1131	240,6
Кабель до цеху 18(1 - й/2 - й)	208,18	120	0,042	0,260	0,07	0,70	3,55	1434	385,5
Кабель до цеху 19(1 - 4) МЕДЬ	302,43	185	0,042	0,102	0,07	0,80	2,74	1185	813,4

Таблиця 2.18 – Розрахунок кабелів (варіант 2)

Найменування цеху / ТП	Ім, А	F, мм ²	Довжина L, км	Питома г, Ом/км	Питома х, Ом/км	cos(φ)	Втрати напруги U ₂ , В	Втрати P ₂ , Вт	Втрати Q ₂ , Вар
Кабель до цеху 1(1 - 4) МЕДЬ	291,78	150	0,005	0,126	0,07	0,70	0,35	160,6	89,39
Кабель до цеху 2(1 - 4) МЕДЬ	280,22	150	0,028	0,126	0,07	0,65	1,80	815,7	453,9
Кабель до цеху 3(1 - й/2 - й) МЕДЬ	268,06	95	0,017	0,199	0,07	0,65	1,43	725,3	255,6
Кабель до цеху 4(1 - й/2 - й)	27,35	16	0,023	1,953	0,07	0,45	1,04	102,1	3,66
Кабель до цеху 5(1 - й/2 - й)	47,72	50	0,091	0,625	0,07	0,45	2,59	388,7	43,54
Кабель до цеху 6(1 - й/2 - й)	156,37	70	0,066	0,446	0,07	0,70	6,44	2150	337,1
Кабель до цеху 7(1 - й/2 - й)	153,50	70	0,089	0,446	0,07	0,80	9,46	2807	440,1
Кабель до цеху 8(1 - й/2 - й)	194,98	120	0,064	0,260	0,07	0,80	5,37	1887	507,2
Кабель до цеху 9(1 - й/2 - й)	57,36	50	0,061	0,625	0,07	0,80	3,31	378,9	42,43
Кабель до цеху 10(1 - й/2 - й)	31,08	50	0,150	0,625	0,07	0,45	2,78	272,2	30,49
Кабель до цеху 11(1 - й/2 - й)	86,85	95	0,131	0,329	0,07	0,80	6,03	977,3	208
Кабель до автостоянки	174,88	120	0,005	0,260	0,07	0,60	0,32	119,5	32,11
Кабель до цеху 13(1 - й/2 - й) МЕДЬ	387,53	185	0,034	0,102	0,07	0,80	2,81	1557	1069
Кабель до цеху 14(1 - 4) МЕДЬ	257,27	150	0,005	0,126	0,07	0,80	0,32	124,9	69,5
Кабель до цеху 15(1 - й/2 - й)	29,33	16	0,038	1,953	0,07	0,45	1,82	192,1	6,886
Кабель до цеху 16(1 - й/2 - й)	35,03	25	0,059	1,250	0,07	0,45	2,25	272,8	15,28
Кабель до цеху 17(1 - й/2 - й)	91,94	95	0,127	0,329	0,07	0,60	5,13	1060	225,5
Кабель до цеху 18(1 - й/2 - й)	208,18	120	0,070	0,260	0,07	0,70	5,85	2366	636
Кабель до цеху 19(1 - 4) МЕДЬ	302,43	185	0,034	0,102	0,07	0,80	2,19	948,1	650,8
Кабель до КТП - 1 (1 - й/2 - й)	30,10	50	0,144	0,625	0,08	0,66	3,55	244,7	31,32
Кабель до КТП - 2 (1 - й/2 - й)	18,71	50	0,301	0,625	0,08	0,75	5,08	197,4	25,27
Кабель до КТП - 3 (1 - й/2 - й)	44,37	50	0,246	0,625	0,08	0,74	9,74	906,8	116,1
Провід ЛЕП (1 - й/2 - й)	7,58	70	5,500	0,420	0,44	0,71	43,94	398,1	418

2.3. Вибір обладнання на стороні ВН

Визначення втрат потужності і напруги в трансформаторах

Втрати активної потужності в трансформаторах визначимо за формулою, кВт:

$$\Delta P = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot P_K \cdot \frac{S^2}{S_{НОМ.т}^2}; \quad (2.10)$$

де n – число трансформаторів; P_{xx} та P_K – потужності холостого ходу і короткого замикання трансформаторів, кВт; $S_{НОМ.т}$ – номінальна потужність трансформаторів, кВА.

Втрати напруги в трансформаторах визначимо за формулою, %:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_p \cdot \cos \varphi - U_a \cdot \sin \varphi); \quad (2.11)$$

де $\alpha = U_0/U_{НОМ}$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню вторинного напруги трансформатора при короткому замиканні, до номінальної напруги мережі; $\beta = S/S_{НОМ}$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів; U_a и U_p – активна і реактивна складові напруги к.з.– U_K , %;

$$U_a = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{НОМ}}; \quad (2.12)$$

$$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}. \quad (2.13)$$

Перший варіант.

Для трансформатора ТМ-1000/10/0,4. Проведемо розрахунок втрат напруги: $S = 1000$ кВА; $\cos \varphi = 0,661$; $\sin \varphi = 0,75$.

$$U_a = \frac{12200}{10 \cdot 1000} = 1,22 \%;$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36 \%;$$

$$\Delta U_{Т1} = \frac{913,99}{2000} \cdot (1,22 \cdot 0,661 + 5,36 \cdot 0,75) +$$

$$\left(\frac{913,99}{2000} \right)^2 \cdot \frac{1}{200} \cdot (5,36 \cdot 0,661 - 1,22 \cdot 0,75) = 2,21 \%;$$

$$\Delta P = 2 \cdot 2,45 + \frac{1}{2} \cdot 12,2 \cdot \frac{913,99^2}{1000^2} = 9,99 \text{ кВт.}$$

Для всіх інших трансформаторів розрахунок аналогічний.

Розрахунок втрат для всіх трансформаторів зведемо в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19

Найменування ТП	Найменування тр-ра	Розрахункове навантаженн, кВт	Номинальна мощ-ть тр-ра S, кВА	Номинальна напруга U, кВ	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	I_{xx} , %	U_k , %	ΔP , кВт	U_a КЗ, %	U_p КЗ, %	ΔU , %
ЦТП - 1	ТМ-1000/10/0,4	913,99	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5	10,00	1,22	5,36	2,21
ЦТП - 2	ТМ-630/10/0,4	615,84	630	10	1,31	7,6	2	5,5	6,25	1,21	5,37	2,18
ЦТП - 3	ТМ-1000/10/0,4	1137,09	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5	12,79	1,22	5,36	2,57
ГПП	ТМН-2500/110/11	2743,60	2500	110	6,5	22	1,5	10,5	26,25	0,88	10,46	4,38

Розрахунок кабельних і повітряних ліній

Вибір проведемо для кабелю 5. Вибираємо кабель ААБЛ–10–3*50 перетином 50 мм², що має тривало допустимий струм 140 А.

Визначимо втрати напруги в кабелі:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{кл}} &= \sqrt{3} \cdot I_{\text{кл}} \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 30,1 \cdot 0,144 \cdot (0,625 \cdot 0,661 + 0,08 \cdot 0,75) = 3,55 \text{ В} \end{aligned}$$

Визначимо втрати потужності в кабелі:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{кл}} &= 3 \cdot I_{\text{кл}}^2 \cdot l \cdot r_{\text{уд}} = 3 \cdot 30,1^2 \cdot 0,144 \cdot 0,625 = 244,7 \text{ Вт}; \\ \Delta Q_{\text{кл}} &= 3 \cdot I_{\text{кл}}^2 \cdot l \cdot x_{\text{уд}} = 3 \cdot 30,1^2 \cdot 0,144 \cdot 0,08 = 31,32 \text{ Вар}. \end{aligned}$$

Для повітряної лінії W1,2 виберемо дріт АС-70/11 загальним перетином 70 мм², перетином сталевий жили 11 мм², що мають тривало допустимий струм 265А.

Вибір перетинів, а також втрати потужності для двох варіантів зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20

Найменування цеху / ТП	Im, А	F, мм2	Довжина L, км	Питоме r, Ом/км	Питоме x, Ом/км	cosφ	Втрати напруги U2, В	Втрати P2, Вт	Втрати Q2, Вар
Варіант 1									
Кабель до КТП - 1 (1 - й/2 - й)	30,10	50	0,057	0,625	0,08	0,66	1,41	97,15	12,44
Кабель до КТП - 2 (1 - й/2 - й)	18,71	50	0,095	0,625	0,08	0,75	1,61	62,57	8,009
Кабель до КТП - 3 (1 - й/2 - й)	44,37	50	0,091	0,625	0,08	0,74	3,61	336,2	43,03
Провод ЛЭП (1 - й/2 - й)	7,58	70	0,216	0,420	0,441	0,71	1,73	15,63	16,41
Варіант 2									
Кабель до КТП - 1 (1 - й/2 - й)	30,10	50	0,144	0,625	0,08	0,66	3,55	244,7	31,32

Кабель до КТП - 2 (1 - й/2 - й)	18,71	50	0,301	0,625	0,08	0,75	5,08	197,4	25,27
Кабель до КТП - 3 (1 - й/2 - й)	44,37	50	0,246	0,625	0,08	0,74	9,74	906,8	116,1
Провод ЛЭП (1 - й/2 - й)	7,58	70	5,500	0,420	0,441	0,71	43,94	398,1	418

Вибір вимикачів на 10-110 кВ

Для ЦТП - 1

$I_p = 30,1$ А. З урахуванням перевантаження $2I_p = 2 \cdot 30,1 = 60,2$ А

Вибираємо вимикач навантаження ВНР-10/400-10зУЗ.

Його основні характеристики:

- номінальний струм, А 400
- струм відключення, А 800
- номінальна напруга, кВ 10

Вибір всіх вимикачів зведемо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21

Позиційне позначення	Найменування	Іроб, А	Іном, А	Івідкл, А	Uном, кВ
ЦТП -1	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	60,2	400	800	10
	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	60,2	400	800	10
ЦТП-2	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	37,4	400	800	10
	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	37,4	400	800	10
ЦТП-3	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	88,8	400	800	10
	ВНР-10/400-10зУЗ(в/в)	88,8	400	800	10
ГПП	ВВТЭ-М-10-20/630У2(в/в)	186,4	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2(в/в)	186,4	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2(в/с)	93,2	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	60,2	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	60,2	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	37,4	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	37,4	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	88,8	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	88,8	630	10000	10
	ВВТЭ-М-10-20/630У2 (в/отх.л)	88,8	630	10000	10
ЛЕП	МКП-110Б-630-20У1	15,2	630	20000	110
	МКП-110Б-630-20У1	15,2	630	20000	110

Вибір запобіжників на 10 кВ

Для ЦТП - 1

$I_p = 30,1$ А. З урахуванням перевантаження $2I_p = 2 \cdot 30,1 = 60,2$ А

Вибираємо запобіжник ПКТ103-10-12,5УЗ.

Його основні характеристики:

- номінальний струм плавкої вставки, А 100

- струм відключення, А 12500
- номінальна напруга, кВ 10

Вибір всіх запобіжників зведемо в таблицю 2.22.

Таблиця 2.22

№ підстанції	Іроб, А	Івс.ном, А	Івідкл, А	Типовиконання
1	60,2	100	12500	ПКТ103-10-12,5УЗ
	60,2	100	12500	ПКТ103-10-12,5УЗ
2	37,4	80	12500	ПКТ103-10-12,5УЗ
	37,4	80	12500	ПКТ103-10-12,5УЗ
3	88,8	100	12500	ПКТ103-10-12,5УЗ
	88,8	100	12500	ПКТ103-10-12,5УЗ

Вибір обмежувача перенапруги (ОПН) на 10 кВ

$U_p = 10$ кВ. Вибираємо обмежувачів перенапруги (ОПН) серії VariGAP стандартний клас (UNG). Його основні характеристики:

- клас робочої напруги, кВ 15
- максимальна напруга системи, кВ 12,7
- мінімальна напруга перекриття, кВ 25,4
- рівень захисту на фронті імпульсу, кВ 43
- комутаційний імпульс, кВ 28,8

Вибір роз'єднувачів, відокремлювачів і короткозамикачів на 110 кВ

$I_p = 7,58$ А. З урахуванням перевантаження $2I_p = 2 \cdot 7,58 = 15,2$ А
Вибираємо роз'єднувач РНД(З)-110(Б)(У)/1000У1(ХЛ) [3].

Його основні характеристики:

- номінальний струм, А 1000
- номінальна напруга, кВ 110

Вибір всіх запобіжників зведемо в таблицю 2.23.

Таблиця 2.23

Найменування	Іраб, А	Іном, А	Уном, кВ	Типовиконання
Роз'єднувач	15,2	1000	110	РНД(З)-110(Б)(У)/1000У1(ХЛ).
Відокремлювач	15,2	1000	110	ОД-110/1000У1
Короткозамикач	88,8	-	110	КЗ-110У1

2.4. Вибір варіанту схеми системи електропостачання цеху

Метою техніко-економічних розрахунків є визначення оптимального варіанта схеми, параметрів електромережі та її елементів.

Критерієм економічності є мінімум наведених витрат, грн:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + I_i; \quad (2.14)$$

де K – одноразові капітальні вкладення:

$$K = K_{уд.КЛ} \cdot l_{КЛ} + K_{уд.СП} \cdot n_{СП} + K_{уд.ШП} \cdot l_{ШП} + K_{уд.АВ} \cdot n_{АВ} + K_{уд.ПР} \cdot n_{ПР}, \quad (2.15)$$

де $K_{уд.}$ - ціна одного метра кабельної лінії (КЛ), шинопровода (ШП) або ціна одного вимикача, запобіжника, силового пункту і т.д., грн/м (грн/од); l - довжина кабельної лінії, шинопровода, м; n - кількість вимикачів, запобіжників і т.д.; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, (1/рік); $E_n = 0,12$; B - річні витрати виробництва, грн / рік.

Щорічні витрати визначаються за формулою:

$$B = B_{кл} + B_{a.op} + B_n; \quad (2.16)$$

де $B_{кл}$ и $B_{a.op}$ – витрати на поточний ремонт та амортизацію для кабельних ліній та іншого електроустаткування відповідно; B_n – вартість втрат електроенергії, грн.

Витрати для кабельних ліній визначаються за формулою:

$$B_{кл} = \frac{O_a + O_o + O_p}{100} \cdot K_{кл}; \quad (2.17)$$

де O_a - відрахування на амортизацію; O_o - відрахування на обслуговування; O_p - відрахування на ремонт.

Для решти електрообладнання формула аналогічна.

Вартість втрат електроенергії визначається за формулою:

$$B_n = \beta \cdot \Delta W_{рік}; \quad (2.18)$$

де $\beta = 1,49$ – вартість одного кіловата на годину втрат е/е, грн/кВт · рік.

Витрати на амортизацію, обслуговування та ремонт, грн/рік.

$$B_{aop} = \frac{a \cdot K}{100}, \quad (2.19)$$

де a – загальні норми відрахувань від капіталовкладень для електроустановки.

Втрати електроенергії в електроустановці в рік, кВт ч;

$$\Delta W_{рік} = \Delta P_{max} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{нб}}{10000}\right)^2 \cdot 8760, \quad (2.20)$$

де $T_{нб}$ - час найбільшого навантаження, год; $T_{нб} = 4000$ рік; ΔP_{max} - максимальні втрати, кВт.

Виконаємо техніко-економічне порівняння для варіантів розподільчої мережі низької сторони. Сведём в таблиці 2.24 и 2.25 стоимості елементів електрических сетей для первого и второго вариантов соответственно.

Таблица 2.24

Найменування	Ціна Куд за од. або за метр, грн	Кількість n, од. або довжина l, м	Капіталовкладення К, грн
1	2	3	4
<i>Дрім</i>			
АПВ - 2,5	2,20	212,43	467,35
АПВ - 4	3,00	9,45	28,35
АПВ - 10	7,10	15,68	111,33
АПВ - 25	21,71	24,75	537,32
<i>Кабелі</i>			
АВВГ 4x10	45,85	74,15	3399,78
АВВГ 4x25	74,66	3	223,98
АВВГ 4x35	133,74	5,26	703,47
<i>Силові пункти</i>			
ПР-11-3078-21-013	19 485,44	3	58456,32
ПР-11-3060-21-013	14 830,76	1	14830,76
<i>Вимикачі автоматичні</i>			
A3716 - 100A	1950	1	1950,00
A3716 - 16...80A	1675	4	6700,00
Разом по кабелях/дротах			5 471,58
Разом з іншого електроустановки			81 937,08
Разом у частині, що розрізняється			87 408,66

Таблица 2.25

Найменування	Ціна Куд за од. або за метр, грн	Кількість n, од. або довжина l, м	Капіталовкладення К, грн
1	2	3	4
<i>Дрім</i>			
АПВ - 2,5	2,20	158,19	348,02
АПВ - 4	3,00	9,45	28,35
АПВ - 10	7,10	10,01	71,07
АПВ - 25	21,71	7,56	164,13
<i>Кабелі</i>			

Найменування	Ціна Куд за од. або за метр, грн	Кількість п, од. або довжина l, м	Капіталовкладення К, грн
АВВГ 4х10	45,85	11,529	528,60
АВВГ 4х25	74,66	4	298,64
АВВГ 4х35	133,74	4	534,96
АВВГ 4х70	245,55	4	982,20
Шинопроводи			
ШРА - 1			
ШРА73УЗ - 250			
Секція вводная У2030	3600,08	1	7200,16
Секція прямая У2020	2500,06	1	5000,12
Секція с 4-мя ответвлениями У2022	4600,73	2	18402,92
Заглушка торцовая У2028	502,02	1	1004,04
ШРА - 2			
ШРА73УЗ - 250			
Секція вводная У2030	3600,08	1	7200,16
Секція с 4-мя ответвлениями У2022	4600,73	3	27604,38
Секція прямая У2020	2500,06	1	5000,12
Заглушка торцовая У2028	502,02	1	1004,04
ШРА - 3			
ШРА73УЗ - 250			
Секція вводная У2030	3600,08	1	7200,16
Секція с 4-мя ответвлениями У2022	4600,73	3	27604,38
Секція прямая У2020	2500,06	1	5000,12
Заглушка торцовая У2028	502,02	1	1004,04
Вимикачі автоматичні			
A3716 – 100...160А	1950	2	1950,00
A3716 - 80А	1675	1	6700,00
Итого по кабелям/проводам			2955,97
Итого по остальному электрооборудованию			113224,64
Итого			116180,61

Перший варіант.

Витрати на амортизацію, обслуговування та ремонт, грн/рік:

$$B_{\text{аоп1}} = \frac{4,3 \cdot 87\,408,66}{100} = 3758,57.$$

Визначимо сумарні втрати енергії в рік, кВт·рік:

$$\Delta W_{\text{рік1}} = \Delta P_{\Sigma 1} \cdot \tau = 11,8 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 28382,4.$$

Витрати викликані втратами електроенергії, грн:

$$B_{\text{н1}} = \beta \cdot \Delta W_{\text{рік1}} = 6,5 \cdot 28382,4 = 184485,60$$

Витрати для кабельних ліній, грн:

$$B_{\text{кл1}} = \frac{10 + 0,6 + 4}{100} \cdot 5471,58 = 798,85$$

Повні витрати, грн/рік:

$$B_1 = B_{кл1} + B_{аоп1} + B_{н1} = 798,32 + 3758,57 + 184485,60 = 189042,49$$

Тоді повні наведені витрати дорівнюватимуть, грн/рік:

$$З_{црс1} = B_1 + E_n \cdot K_1 = 189042,49 + 0,12 \cdot 87\,408,66 = 199531,52$$

Другий варіант.

Витрати на амортизацію, обслуговування та ремонт, грн/рік:

$$B_{аоп2} = \frac{4,3 \cdot 116180,61}{100} = 4995,76.$$

Визначимо сумарні втрати енергії в рік, кВт·год:

$$\Delta W_{год2} = \Delta P_{\Sigma 2} \cdot \tau = 10,85 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 26116,27.$$

Витрати викликані втратами електроенергії, грн:

$$B_{н2} = \beta \cdot \Delta W_{рік2} = 6,5 \cdot 26116,27 = 169755,75.$$

Витрати для кабельних ліній, грн:

$$B_{кл2} = \frac{10 + 0,6 + 4}{100} \cdot 2955,97 = 431,57.$$

Повні витрати, грн/рік:

$$B_2 = B_{кл2} + B_{аоп2} + B_{н2} = 431,57 + 4995,76 + 169755,75 = 175183,08.$$

Тоді повні наведені витрати дорівнюватимуть, :

$$З_{црс2} = B_2 + E_n \cdot K_2 = 175183,08 + 0,12 \cdot 116180,61 = 189124,75 \text{ грн/год.}$$

Определим разность, %:

$$\Delta Z = \frac{44855,7 - 45617,9}{44855,7} \cdot 100\% = -1,7.$$

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що другий варіант схеми мережі (із застосуванням шинопроводів) більш економічний, ніж перший (із застосуванням силових пунктів), йому і віддамо перевагу.

2.5. Розрахунок струмів короткого замикання і перевірка основного обладнання мережі

Розрахунок струмів короткого замикання

Основною причиною порушення нормального режиму роботи системи електропостачання є виникнення в мережі або в елементах електрообладнання короткого замикання, внаслідок пошкодження ізоляції або неправильних дій обслуговуючого персоналу. Для зменшення негативного впливу, обумовленого виходом з ладу електрообладнання при протіканні струмів КЗ, а також для швидкого відновлення нормального режиму роботи системи електропостачання необхідно правильно визначати струми КЗ і по ним вибирати електрообладнання, захисну апаратуру.

Розрахунок струмів КЗ може бути виконаний в відносних одиницях і в іменованих одиницях.

Розрахунок струмів КЗ високого боку (110-10 кВ).

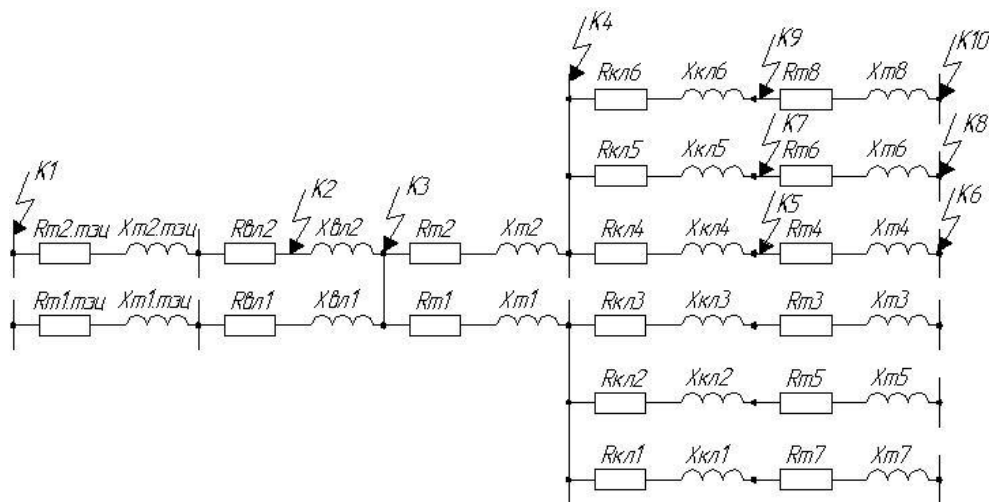


Рисунок 2.1 – Схема заміння

Розрахунок будемо вести в іменування одиницях. Розрахуємо опір елементів системи електропостачання.

Опори трансформатора, Ом:

$$r_{T1-2} = \frac{\Delta P_K \cdot U_H^2}{S_{ном}^2} = \frac{170 \cdot 115^2}{40000^2} = 1,405;$$

$$X_{T1-2} = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_H} \right)^2} \cdot \frac{U_H^2}{100 \cdot S_H} = \sqrt{10,5^2 - \left(\frac{170}{10 \cdot 40000} \right)^2} \cdot \frac{115^2}{100 \cdot 40000} = 34,715.$$

Опір ЛЕП, Ом:

$$r_{БЛ1-2} = r_{уд} \cdot l = 0,42 \cdot 5,5 = 2,31 ;$$

$$x_{БЛ1-2} = x_{уд} \cdot l = 0,441 \cdot 5,5 = 2,42 .$$

Опір в точці К1:

$$r_{PE3} = \frac{r_{T1} \cdot (r_{T2} + r_{БЛ1} + r_{БЛ2})}{r_{T1} + r_{T2} + r_{БЛ1} + r_{БЛ2}} = \frac{1,405 \cdot (1,405 + 2,31 + 2,31)}{1,405 + 1,405 + 2,31 + 2,31} = 1,14 ;$$

$$x_{PE3} = \frac{x_{T1} \cdot (x_{T2} + x_{БЛ1} + x_{БЛ2})}{x_{T1} + x_{T2} + x_{БЛ1} + x_{БЛ2}} = \frac{34,715 \cdot (34,715 + 2,42 + 2,42)}{34,715 + 34,715 + 2,42 + 2,42} = 18,49.$$

Струм КЗ в точці К1, А:

$$I_{K3} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{PE3}^2 + x_{PE3}^2}} = \frac{115000}{1,73 \cdot \sqrt{1,14^2 + 18,49^2}} = 3588 .$$

Розрахуємо ударні струми в точках КЗ, А:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{K3} , \quad (2.21)$$

де $K_{уд}$ - ударний коефіцієнт, визначається за графіком.

$$K_{уд} = 1,89 \quad i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,89 \cdot 3588 = 9590 .$$

Розрахунок опорів всіх елементів системи електропостачання і точок КЗ зведемо в таблицю 2.26.

Таблиця 2.26 – Розрахунок опорів всіх елементів системи електропостачання і точок КЗ

Точка КЗ	Найменування	r, Ом	x, Ом	r в точці КЗ, Ом	x в точці КЗ, Ом	Струм КЗ, А	x/г	ky	Iуд, А
1 и 1'	Трансформатор ТЕЦ ВН	1,4052	34,7156	1,1394	18,4914	3588,06	24,71	1,890	9590,40
2 и 2'	Середина ЛЕП	1,1550	1,2128	1,6780	18,5508	3568,79	1,05	1,060	5349,85
3 и 3'	Кінець ЛЕП	2,3100	2,4255	1,8576	18,5706	3561,76	1,05	1,060	5339,32
	Трансформатор ГПП ВН	46,5520	555,4500	48,4096	574,0206	115,39	11,93	1,750	285,59
4 и 4'	Трансформатор ГПП НН	0,3520	4,2000	0,4001	4,7440	1214,15	11,93	1,750	3004,87
5 и 5'	Кінець КЛ1	0,0900	0,0115	0,4901	4,7555	1209,11	0,13	1,000	1709,93
7 и 7'	Кінець КЛ2	0,1879	0,0241	0,5880	4,7680	1203,20	0,13	1,000	1701,58
9 и 9'	Кінець КЛ3	0,1535	0,0197	0,5536	4,7636	1205,32	0,13	1,000	1704,58
	Трансформатор ЦТП1 ВН	1,2200	5,5000	1,7101	10,2555	555,96	4,51	1,430	1124,33
6 и 6'	Трансформатор ЦТП1 НН	0,0020	0,0088	0,0027	0,0164	13898,95	4,51	1,430	28108,21
	Трансформатор ЦТП2 ВН	1,9148	8,7302	2,5029	13,4982	421,05	4,56	1,430	851,51
8 и 8'	Трансформатор ЦТП2 НН	0,0031	0,0140	0,0040	0,0216	10526,36	4,56	1,430	21287,72
	Трансформатор ЦТП3 ВН	1,2200	5,5000	1,7736	10,2636	554,96	4,51	1,430	1122,32
10 и 10'	Трансформатор ЦТП3 НН	0,0020	0,0088	0,0028	0,0164	13874,07	4,51	1,430	28057,88

Розрахунок струмів КЗ в схемі внутрішньоцехового електропостачання

Розрахунок струмів КЗ боку на 0,4 кВ проводиться аналогічно стороні 110 - 10 кВ, за винятком тієї обставини, що на шинах трансформаторної підстанції враховується активну додатковий опір $R_{доб}$, мОм. Чим далі знаходиться шина, тим більше значення додаткового опору.

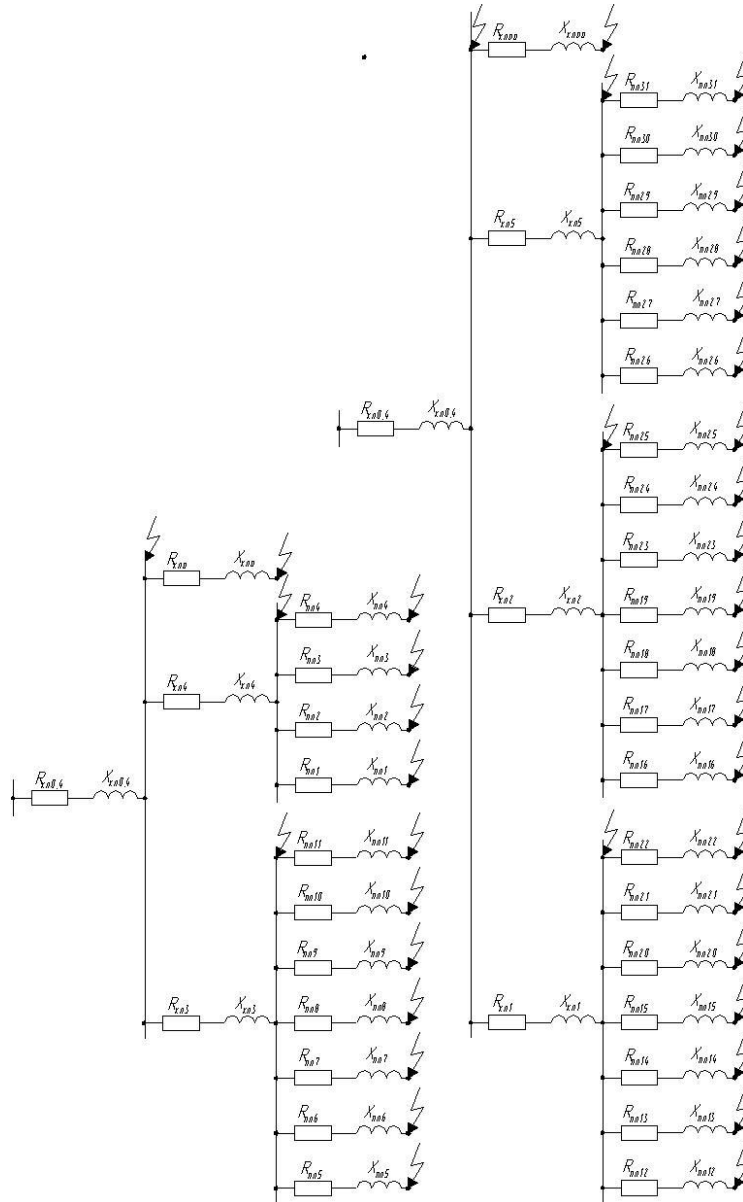


Рисунок 2.2 – Схема заміщення

Розрахуємо струм КЗ на шинах ЦТП:

$$Z_{\Sigma 4} = \sqrt{(r_{\Sigma 0.4} + r_{доб})^2 + x_{\Sigma 0.4}^2} = \sqrt{(0,004 + 0,015)^2 + 0,0216^2} = 0,028768 \text{ Ом.}$$

$$I_{к4}^3 = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,028768} = 8037 \text{ А,}$$

$$K_{уд} = 1,05, \quad i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 8037 = 11934 \text{ А} .$$

Для розрахунків однофазного короткого замикання скористаємося такою формулою:

$$I_{кз}^{(1)} \geq \frac{U_{\Phi}}{Z_T/3 + Z_{\Pi}}, \quad (2.22)$$

де U_{Φ} – фазна напруга мережі 220 В; $Z_T/3$ – опір трансформатора струму однофазного замикання на корпус в нашому випадку 0,358 Ом; Z_{Π} – повний опір петлі фазний нульовий дріт.

Розрахунки за схемою внутризаводського електропостачання представлені в таблиці 2.27.

Перевірка основного обладнання мережі

1. Перевірка вимикача Q1,2

а) по номінальній напрузі:

$$U_{ном} \geq U_{уст}, \quad (2.23)$$

$$U_{ном} = U_{уст} = 110 \text{ кВ};$$

б) по номінальному тривалому струму:

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \quad (2.24)$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{ав} = 7,58 \text{ А};$$

в) на динамічну стійкість:

$$I_{nc} \geq I_{кз}^3, \quad (2.25)$$

$$i_{nc} \geq i_{уд}, \quad (2.26)$$

де I_{nc} – граничний наскрізний струм, $I_{кз}^3$ – максимальний струм трифазного КЗ, i_{nc} – амплітудне значення граничного наскрізного струму, $i_{уд}$ – ударний струм.

$$I_{nc} = 52 \text{ кА} > I_{кз}^3 = I_{кз1}^3 = 3,58 \text{ кА},$$

$$i_{nc} = 52 \text{ кА} > i_{уд} = 9,59 \text{ кА};$$

г) по допустимому току термічної стійкості:

$$I_t^2 \cdot t \geq I_{\infty}^2 \cdot t_{np}, \quad (2.27)$$

де I_{∞} - граничний струм термічної стійкості,

$$I_t^2 \cdot t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq I_{\infty}^2 \cdot t_{np} = 3,58^2 \cdot 2,2 = 28,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

д) по відключаючій здібності вимикача:

$$I_{кз} < I_{отк}, \quad 3,58 \text{ кА} < 20 \text{ кА}. \quad (2.28)$$

Таблиця 2.27 – Розрахунки за схемою внутризаводського електропостачання

№ ЕП по генплану	Найменування ЕП	Довжина кабеля / дроту, м	Rуд, Ом/км	Худ, Ом/км	Rдоб, Ом	Сумарний опір		Ток КЗ, кА	Та	Куд	Ударний струм, кА	R фаза-нуль кабелів / дротів, Ом	Z фаза-нуль кабелів / дротів, Ом	Струм КЗ, А	х/г	Ку	Ударний струм, кА
						R, Ом	X, Ом										
Трифазне замикання												Однофазне замикання					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	СП - 1	5,27	0,893	0,07	0,020	0,025	0,0133	7,814	0,540	1	11,049	0,009	0,04087	552	0,97	1,00	780
12	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №1	6,99	1,250	0,07	0,030	0,039	0,0145	5,306	0,373	1	7,502	0,017	0,04962	540	0,89	1,00	763
13	Токарний верстат №1	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551
14	Радіально-свердильний верстат	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551
15	Токарний верстат №2	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551
20	Універсальний заточувальний верстат №1	6,99	12,500	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551
21	Вертикально-свердильний верстат №1	3,78	12,500	0,07	0,030	0,077	0,0143	2,793	0,185	1	3,949	0,095	0,12621	454	0,44	1,00	642
22	Вертикально-свердильний верстат №2	1,51	12,500	0,07	0,030	0,049	0,0141	4,311	0,288	1	6,096	0,038	0,06951	515	0,68	1,00	728
СП - 2																	
	СП - 2	3	0,62	0,08	0,020	0,022	0,0132	8,583	0,606	1	12,137	0,004	0,03566	559	1,04	1,05	830
16	Токарно-револьверний верстат №1	6,62	12,5	0,07	0,030	0,113	0,0145	1,931	0,128	1	2,731	0,165	0,19709	396	0,31	1,00	560
17	Токарно-револьверний верстат №2	10,6	12,5	0,07	0,030	0,162	0,0147	1,346	0,091	1	1,904	0,265	0,29634	336	0,22	1,00	475
18	Токарно-револьверний верстат №3	17,2	12,5	0,07	0,030	0,245	0,0152	0,894	0,062	1	1,264	0,430	0,46176	268	0,16	1,00	379
19	Токарно-револьверний верстат №4	20	12,5	0,07	0,030	0,280	0,0154	0,781	0,055	1	1,105	0,501	0,53266	247	0,14	1,00	349
23	Токарно-револьверний верстат №5	1,7	12,5	0,07	0,030	0,051	0,0141	4,126	0,275	1	5,835	0,043	0,07423	509	0,65	1,00	720
24	Токарно-револьверний верстат №6	7,94	12,5	0,07	0,030	0,129	0,0146	1,687	0,113	1	2,386	0,198	0,23018	374	0,27	1,00	529
25	Токарний 8-ми шпindelний напівавтомат №2	17,8	1,25	0,07	0,030	0,052	0,0152	4,035	0,291	1	5,706	0,044	0,07725	505	0,72	1,00	715
СП - 3																	
	СП - 3	16,5	0,206	0,07	0,020	0,023	0,0142	8,011	0,608	1	11,327	0,007	0,04057	552	1,11	1,05	820
5	Прес ножиці	14,6	12,5	0,07	0,030	0,212	0,0150	1,033	0,071	1	1,460	0,364	0,39559	292	0,18	1,00	413
6	Обдирно-шліфувальний верстат №1	11,3	12,5	0,07	0,030	0,172	0,0148	1,273	0,086	1	1,800	0,284	0,31525	327	0,21	1,00	462
7	Обдирно-шліфувальний верстат №2	6,99	12,5	0,07	0,030	0,117	0,0145	1,855	0,123	1	2,622	0,175	0,20655	390	0,3	1,00	551
8	Фрезерно-відрізний напівавтомат	9,83	12,5	0,07	0,030	0,153	0,0147	1,429	0,096	1	2,020	0,246	0,27744	346	0,24	1,00	490
9	Прес кривошипний	5,1	12,5	0,07	0,030	0,094	0,0144	2,312	0,153	1	3,270	0,128	0,15929	425	0,37	1,00	601
10	Гільйотинні ножиці	9,64	12,5	0,07	0,030	0,150	0,0147	1,451	0,098	1	2,052	0,241	0,27271	349	0,24	1,00	493
11	Прес	15,7	3,125	0,07	0,030	0,079	0,0151	2,727	0,191	1	3,856	0,098	0,13024	451	0,47	1,00	637
СП - 4																	
	СП - 4	28,1	0,206	0,07	0,020	0,026	0,0151	7,346	0,585	1	10,388	0,012	0,04757	542	1,13	1,05	805
1	Молот пневматичний №1	12,7	12,5	0,07	0,030	0,188	0,0149	1,162	0,079	1	1,643	0,317	0,34833	311	0,2	1,00	440
3	Молот пневматичний №2	6,24	12,5	0,07	0,030	0,108	0,0144	2,014	0,134	1	2,848	0,156	0,18764	403	0,32	1,00	570
4	Абразивно-відрізний верстат	1,51	12,5	0,07	0,030	0,049	0,0141	4,311	0,288	1	6,096	0,038	0,06951	515	0,68	1,00	728

№ ЕП по генплану	Найменування ЕП	Довжина кабеля / дроту, м	Rуд, Ом/км	Худ, Ом/км	Rдобр, Ом	Сумарний опір		Ток КЗ, кА	Та	Куд	Ударний струм, кА	R фаза-нуль кабелів / дротів, Ом	Z фаза-нуль кабелів / дротів, Ом	Струм КЗ, А	x/r	Ку	Ударний струм, кА
						R, Ом	X, Ом										
2	Піч нагрівальна (опору)	9,45	7,813	0,07	0,030	0,104	0,0147	2,092	0,141	1	2,959	0,148	0,17946	409	0,35	1,00	579
СП - 5																	
	СП - 5	29,6	0,326	0,08	0,020	0,030	0,0153	6,577	0,516	1	9,300	0,019	0,055	533	1,03	1,05	791
26	Універсальний заточувальний верстат №2	6,62	12,5	0,07	0,030	0,113	0,0145	1,931	0,128	1	2,731	0,165	0,19709	396	0,31	1,00	560
27	Затяжний верстат	9,64	12,5	0,07	0,030	0,150	0,0147	1,451	0,098	1	2,052	0,241	0,27271	349	0,24	1,00	493
28	Точильно-шліфувальний верстат	9,83	12,5	0,07	0,030	0,153	0,0147	1,429	0,096	1	2,020	0,246	0,27744	346	0,24	1,00	490
29	Доводочний верстат для різців	2,27	12,5	0,07	0,030	0,058	0,0142	3,654	0,243	1	5,167	0,057	0,08841	493	0,57	1,00	697
30	Напівавтомат для заточування свердел №1	0,95	12,5	0,07	0,030	0,042	0,0141	4,973	0,336	1	7,032	0,024	0,05534	532	0,78	1,00	753
31	Напівавтомат для заточування свердел №2	7,94	12,5	0,07	0,030	0,129	0,0146	1,687	0,113	1	2,386	0,198	0,23018	374	0,27	1,00	529

Таблиця 2.28 – Результати перевірки обладнання 110-10 кВ

Позиційне позначення	Найменування	Вид перевірки										
		по напрузі		по струму		на динамічну стійкість			по допустимому струму термічної стійкості		по відключаючій здатності	
		Uном, кВ	Uуст, кВ	Iном, А	Iраб, А	Iпс, кА	I ⁽³⁾ _{кЗ} , А	iуд, А	t _t ² · t	t _∞ ² · t _{пр}	Iоткл, кА	I ⁽³⁾ _{кЗ} , кА
Q1,2	МКП-110Б-630-20У1	110	110	630	7,58	52	3588,06	9590,40	1200	28,32	20,00	3,59
W1,2	АС - 70/11	110	110	265	7,58	-	-	-	70	0,03	-	-
Q3,4	ВВТЭ-М-10-20/630	10	10	630	93,19	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q5	ВВТЭ-М-10-20/630	10	10	630	186,38	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q6,11	ВВТЭ-М-10-20/630	10	10	630	44,37	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q7,10	ВВТЭ-М-10-20/630	10	10	630	18,71	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
Q8,9	ВВТЭ-М-10-20/630	10	10	630	30,10	80	1214,15	3004,87	3969	3,24	31,50	1,21
W3,4	ААБл 3*50	10	10	170	44,37	-	1214,15	-	50	0,03	-	-
W5,6	ААБл 3*50	10	10	170	18,71	-	1214,15	-	50	0,03	-	-
W7,8	ААБл 3*50	10	10	170	30,10	-	1214,15	-	50	0,03	-	-
Q12,13	ВНР-10/400-10зУЗ	10	10	400	30,10	25	1209,11	1709,93	100	3,22	0,80	1,21
Q14,15	ВНР-10/400-10зУЗ	10	10	400	18,71	25	1203,20	1701,58	100	3,18	0,80	1,20
Q16,17	ВНР-10/400-10зУЗ	10	10	400	44,37	25	1205,32	1704,58	100	3,20	0,80	1,21
FU1,2	ПКТ103-10-12,5УЗ	10	10	100	30,10	-	-	-	-	-	12,50	1,21
FU3,4	ПКТ103-10-12,5УЗ	10	10	50	18,71	-	-	-	-	-	12,50	1,20
FU5,6	ПКТ103-10-12,5УЗ	10	10	100	44,37	-	-	-	-	-	12,50	1,21

2. Перевірка перетинів дроту ЛЕП високої напруги по термічній стійкості струмів КЗ здійснюється за умовою:

$$F_{кл} \geq F_{min} = \frac{\sqrt{2} \cdot B_K}{C}, \text{ мм}^2, \quad (2.29)$$

де C – функція, значення якої залежать від виду провідника і номінальної напруги, для розглянутого кабелю $C = 100$.

$$B_K = (I_{кз}^3)^2 \cdot (t_{o,v} + T_{a,c}), \quad (2.30)$$

де $t_{o,v}$ – час відключення ділянки мережі, яке складається з часу відключення вимикача і часу дії релейного захисту, $T_{a,c} = 0,01$ с - постійна часу мережі.

$$B_K = 3,59^2 \cdot (0,12 + 0,1 + 0,01) = 2,964 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2,964}{100} = 0,03 \text{ мм}^2, F_{кл} = 70 \text{ мм}^2, \text{ тобто умови виконуються.}$$

Результати перевірки всього обладнання 110-10 кВ зведемо в таблицю 2.28.

Перевірка обладнання на 0,4 кВ

На напругу 0,4 кВ захист виконується на автоматичних вимикачах, вбудованих в відгалужувальні коробки шинопровода.

Умови вибору автоматів:

а) по напрузі:

$$U_{ном} \geq U_{сети}, \quad (2.31)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга автомата, $U_{сети} = 380$ В;

б) по струму:

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \quad (2.32)$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм автомата, $I_{раб}$ – робочий струм відгалуження;

в) по відключаючої здібності:

$$I_{откл} \geq I_{кз}. \quad (2.33)$$

Вибір обладнання представлений в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 – Вибір СП

Розташування вимикача на відгалуженні	Тип вимикача	$I_{p,max}, A$	$I_{ном,a}, A$	$I_{відкл,ном}, kA$	$I_{кз(3)}, kA$	$I_{кз(1)}, A$
К СП1	A-3716 100A	83,78	100	75	4,388	614,52
К СП2	A-3716 80A	66,51	80	75	4,388	614,52
К СП3	A-3716 40A	30,13	40	75	4,388	614,52
К СП4	A-3716 50A	35,76	50	75	4,388	614,52
К СП5	A-3726 16A	5,16	16	75	4,388	614,52

РОЗДІЛ 3. РЕЛІЙНИЙ ЗАХИСТ І АВТОМАТИКА

3.1. Вибір запобіжника FU2 і його плавкої вставки

Вибір запобіжника і його плавкою вставки зробимо для ЦТП - 1. Струм захищеного трансформатора, приведений до високої сторони і відповідний його номінальній потужності:

$$I_{\text{тр.ном}} = \frac{S_{\text{Т1}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,803 \text{ А.}$$

В аварійних режимах допускається перевантаження масляних трансформаторів до 40% понад номінального струму загальною тривалістю не більше 6 годин на добу протягом 5-ти діб. Ця умова визначає нижчу межу вибору номінального струму плавкої вставки, тобто

$$I_{\text{пл.вст.ном}} \geq 1,4 \cdot I_{\text{тр.ном}}.$$

Для запобігання спрацьовування запобіжника в нормальному режимі і при кидках струму намагнічування трансформатора плавку вставку запобіжника вибирають з номінальним струмом:

$$I_{\text{пл.вст}} = (1,5 \div 2) \cdot I_{\text{тр.ном}} = (1,5 \div 2) \cdot 57,803 = (86,71 \div 115,61) \text{ А.}$$

Вибираємо з шкали стандартних номінальних струмів плавких вставок для запобіжників серії ПКТ величину, що входить в даний діапазон і далі погоджуємо обрану плавку вставку по селективності з захистами суміжних ділянок:

$$I_{\text{пл.вст.ном}} = 100 \text{ А.}$$

Відповідно до струмом в точці K_5 , $I_{K_5} = 1,257 \text{ кА}$ і напругою $U = 10 \text{ кВ}$ вибираємо запобіжник при умовах, що струм відключення більше даного струму к.з., а напруга дорівнює номінальній:

ПКТ-103-10-12,5УЗ,

при $I_{\text{зб.відкл}} > I_{K_4}$ або $12,5 \text{ кА} > 1,257 \text{ кА}$ та $U_{\text{зб.ном}} = U = 10 \text{ кВ}$.

Дані розрахунків вставок для всіх запобіжників зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані розрахунків вставок для всіх запобіжників

№ підстанції	Тр-тр	Іном.тр, А	Діапазон струмів плавкої вставки, А		Івс.ном, А	Типовиконання	Ікз, А
1	ТМ 1000/10/0,4	57,80	86,71	115,61	100	ПКТ103-10-12,5УЗ	1209
	ТМ 1000/10/0,4	57,80	86,71	115,61	100	ПКТ103-10-12,5УЗ	1209
2	ТМ 630/10/0,4	36,42	54,62	72,83	50	ПКТ103-10-12,5УЗ	1203
	ТМ 630/10/0,4	36,42	54,62	72,83	50	ПКТ103-10-12,5УЗ	1203
3	ТМ 1000/10/0,4	57,80	86,71	115,61	100	ПКТ103-10-12,5УЗ	1205
	ТМ 1000/10/0,4	57,80	86,71	115,61	100	ПКТ103-10-12,5УЗ	1205

3.2. Розрахунок двоступеневої захисту від короткого замикання і замикання на землю кабельної лінії

Розрахуємо захист для КЛІ W - 6

3.2.1. Двоступінчастий захист від короткого замикання

Перший ступінь: СВ.

$$I'_{спр} = K_3 \times I_{кз зовн max}, \quad (3.1)$$

де коефіцієнт запасу $K_3 = 1,3$.

Струм короткого замикання зовнішній максимальний, наведений до сторони ВН

$$I_{кз зовн max} = I_{к6}^{(3)} = 0,556 \text{ кА};$$

$$I'_{спр} = 1,3 \times 0,556 = 0,723 \text{ кА}.$$

Другий ступінь: МСЗ.

$$I''_{спр} = \frac{K_3 \cdot K_{СЗ}}{K_B} \cdot I_{роб max}, \quad (3.2)$$

де $K_3 = 1,3$; $K_B = 0,8$; $K_{СЗ} = 2$;

$I_{роб max} = I_{W6}$, с урахуванням перевантаження лінії:

$$I_{роб max} = I_{W6} \cdot 2 = 30,01 \cdot 2 = 60,02 \text{ А},$$

$$I''_{спр} = \frac{1,3 \cdot 2}{0,8} \cdot 60,02 = 195,06 \text{ А}.$$

де K_n - коефіцієнт перевантаження, $K_n = 10 \dots 20$ при наявності струмового відсічення, тоді

$$I_{1ном.ТС} = \frac{I_{max}}{10 \div 20} = \frac{1214}{10 \div 20} = 121,4 \dots 60,7 \text{ А},$$

Таким чином номінальний струм трансформатора струму повинен бути не менше 61 А. Приймаємо трансформатор струму ТПЛК-10, на номінальний струм 100 А. Параметри ТС наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри трансформатора струму ТПЛК-10

Номінальний струм первинної обмотки, А.	100
Номінальний струм вторинної обмотки, А.	5
Номінальна напруга, кВ.	10
Варіанти виконання вторинних обмоток	0,5/10Р
Клас точності	0,5/10Р
Номінальне навантаження, В·А, в класі 0,5	10

Перевіримо трансформатор струму на допустиму похибку

$$m_{розр} = \frac{1,1 \cdot I_{сп.з}^I}{I_{ТС.ном}} = \frac{1,1 \cdot 723}{100} = 7,95 < 10 - \text{похибка в межах допустимої.}$$

Перевірку всіх трансформаторів струму зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати перевірки трансформаторів струму

КЛ	$I_{сп.з}^I$, А	Тип ТС	$I_{ТС.ном}$, А	$m_{розр}$	$m_{доп}$
W3	721,50	ТПЛК -10	100	7,94	10Р
W4	547,30	ТПЛК -10	100	6,02	10Р
W5	722,80	ТПЛК -10	100	7,95	10Р
W6	722,80	ТПЛК -10	100	7,95	10Р
W7	547,30	ТПЛК -10	100	6,02	10Р
W8	721,50	ТПЛК -10	100	9,74	10Р

Обмотки ТС з'єднуємо за схемою «неповна зірка», $K_{cx} = 1$.

Струми спрацьовування реле:

$$I_{сп.р}^I = \frac{I_{сп.з}^I \cdot K_{cx}}{n_m} = \frac{723 \cdot 1}{100 / 5} = 36,15 \text{ А.}$$

Виставляємо $I_{сп.р}^I = 36 \text{ А}$ для реле РТ40/100.

$$I_{сп.р}^{II} = \frac{I_{сп.з}^{II} \cdot K_{cx}}{n_m} = \frac{195,06 \cdot 1}{100 / 5} = 9,75 \text{ А.}$$

Виставляємо $I_{сп.р}^{II} = 10 \text{ А}$ для реле РТ40/20.

Коефіцієнт чутливості максимального струмового захисту (МСЗ):

$$K_q = \frac{I_{кзмин}}{I_{спр.з}^{II}}; \quad (3.3)$$

$$K_q = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot I_{к5}^{(3)}}{I_{спр.з}^{II}} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot 1209}{195,06} = 5,36 > 1,5 - \text{для основного};$$

$$K_q = \frac{1/3 \cdot I_{к6}^{(3)}}{I_{спр.з}^{II}} = \frac{1/3 \cdot 556}{195,06} = 0,95 < 1,2 - \text{для резервного}.$$

Таким чином режим далекого резервування неможливий.

Розрахунки для всіх КЛ зведемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунки для всіх КЛ

КЛ	$I_{кз зовн max}, A$	$I_{спр.з}^I, A$	$I_{роб.max}, A$	$I_{спр.з}^{II}, A$	$I_{ном.ТС}, A; I_{max}(K4) = 1214 A$			$I_{спр.п}^I, A$	$I_{спр.п}^{II}, A$	K_q	
					Кп=10	Кп=20	Стандарт			осн.	рез.
W3	555	721,50	88,75	288,42	121,42	60,71	100	36,075	14,42	3,61	0,64
W4	421	547,30	37,43	121,64	121,42	60,71	100	27,365	6,08	8,56	1,15
W5	556	722,80	60,21	195,67	121,42	60,71	100	36,14	9,78	5,35	0,95
W6	556	722,80	60,21	195,67	121,42	60,71	100	36,14	9,78	5,35	0,95
W7	421	547,30	37,43	121,64	121,42	60,71	100	27,365	6,08	8,56	1,15
W8	555	721,50	88,75	288,42	121,42	60,71	100	36,075	14,42	3,61	0,64

Час спрацювання МСЗ з урахуванням максимального часу спрацювання зовнішніх захистів:

$$t_{спр.з}^{II} = t_{зовн.max} + \Delta t, \quad (3.4)$$

де $t_{зовн.max} = 0,4 c$ - максимальний час перегорання плавкої вставки запобіжника;

$\Delta t = 0,5 c$ – час що враховує селективність роботи захистів;

$$t_{спр.з}^{II} = 0,4 + 0,5 = 0,9 c.$$

3.2.2. Захист від замикання на землю

Розрахуємо захист для КЛ W - 6

Захист не повинна спрацювати при пошкодженнях на інших приєднаннях мережі, коли по захищованій лінії проходить струм, обумовлений ємністю даної лінії. Проте захист повинен надійно спрацювати (коефіцієнт чутливості для КЛ $K_q = 1,25$) при ушкодженнях на приєднанні, що захищається. В останньому випадку через трансформатор струму нульової

послідовності проходить ємнісний струм всій мережі, за винятком струму обумовленого ємністю даної лінії.

Таким чином необхідно визначити ємнісний струм мережі, крім лінії W5 і ємнісний струм лінії W5.

Визначимо ємнісний струм лінії W6.

$$I_{C,kl} = I_{Co,kl} \cdot L; \quad (3.5)$$

Для ліній W5 приймаємо перетин 50 мм². Для даного кабелю питомий ємнісний струм:

$$I_{Co,kl} = 0,80 \text{ A/км}; \quad I_{C,kl3} = 0,8 \cdot 0,144 = 0,72 \text{ A}.$$

Дані розрахунків ємнісних струмів для всіх ліній зведемо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Дані розрахунків ємнісних струмів

КЛ	Питомий ємнісний струм I_{Co} , А/км	Довжина лінії L , км	Ємнісний струм лінії I_C , А
W3	0,8	0,246	0,1968
W4	0,8	0,301	0,2408
W5	0,8	0,144	0,1152
W6	0,8	0,144	0,1152
W7	0,8	0,301	0,2408
W8	0,8	0,246	0,1968

Тоді сумарний ємнісний струм кабельних ліній, без урахування захищеної лінії:

$$\Sigma I_{C,kl} = I_{C,kl7} + I_{C,kl8} = 0,197 + 0,241 = 0,438 \text{ A}.$$

Коефіцієнт кидка ємнісного струму $K_{кид} = 4$.

Визначимо струм спрацьовування захисту:

$$I_{Cп.з} = K_{кид} \cdot I_{C,kl6} = 4 \cdot 0,115 = 0,461 \text{ A}.$$

Перевіримо по чутливості:

$$K_{\chi} = \frac{3 \cdot \Sigma I_{C,kl}}{I_{Cп.з}} = \frac{3 \cdot 0,438}{0,461} = 2,85 > 1,25.$$

Висновок: цей захист придатний до використання.

Розрахунок захистів від замикання на землю для всіх КЛ зведемо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок захистів від замикання на землю

КЛ	Сумарний ємнісний струм без урахування захищеної лінії $I_{C,kl}$, А	Струм спрацьовування захисту $I_{Cп.з}$, А	K_{χ}
W3	0,356	0,787	1,357
W4	0,312	0,963	0,972

W5	0,438	0,461	2,849
W6	0,438	0,461	2,849
W7	0,312	0,963	0,972
W8	0,356	0,787	1,357

Прийmemo реле РТЗ-51 і трансформатор струму нульової послідовності ТЗЛМ-1УЗ.

3.3. Розрахунок захистів ГПП і ВЛ

Розрахуємо захист для Т – 1,2.

Двоступінчастий захист від короткого замикання.

Перший ступінь: СВ (струмове відсічення).

$$I^I_{спр} = K_3 \times I_{кз зовн тах},$$

де коефіцієнт запасу $K_3 = 1,2 \dots 2,0$.

Струм короткого замикання зовнішній максимальний, наведений до сторони ВН

$$I_{кз зовн тах} = I_{к4}^{(3)} = 1,214 \text{ кА};$$

$$I^I_{спр} = 1,3 \times 1,214 = 1,578 \text{ кА}.$$

Другий ступінь: МСЗ.

$$I^{II}_{спр} = \frac{K_3 \cdot K_{сз}}{K_B} \cdot I_{роб тах},$$

де $K_3 = 1,3$; $K_B = 0,8$; $K_{сз} = 2$;

$$I_{роб тах} = I_{Т1,2}, \text{ с урахуванням перевантаження:}$$

$$I_{роб тах} = I_{Т1,2} \cdot 2 = 7,579 \cdot 2 = 15,16 \text{ А}.$$

$$I^{II}_{спр} = \frac{1,3 \cdot 2}{0,8} \cdot 15,16 = 49,27 \text{ А}.$$

де $K_{пер}$ - коефіцієнт перевантаження, $K_{пер} = 10 \dots 20$ при наявності струмового відсічення, тоді

$$I_{ном.ТС} = \frac{I_{max}}{10 \div 20} = \frac{3562}{10 \div 20} = 356,2 \dots 178,1 \text{ А}.$$

Таким чином номінальний струм трансформатора струму повинен бути не менше 178 А. Приймаємо трансформатор струму ТФМ-110-11-У1, на номінальний струм 300 А. Параметри ТС наведені в таблиці 3.7.

Перевіримо трансформатор струму на допустиму похибку:

$$m_{розр} = \frac{1,1 \cdot I_{спр.з}^I}{I_{ТС.ном}} = \frac{1,1 \cdot 1578}{300} = 5,79 < 10 \text{ – похибка в межах допустимої.}$$

Таблиця 3.7 – Параметри трансформатора струму ТФМ-110-11-У1

Номинальний струм первинної обмотки, А.	300
Номинальний струм вторинної обмотки, А.	5
Номинальна напруга, кВ.	110
Варіанти виконання вторинних обмоток	0,5/10Р
Номинальне навантаження, В·А, в класі 0,5	30

Обмотки ТС з'єднуємо за схемою «неповна зірка», $K_{cx} = 1$.

Струми спрацювання реле:

$$I_{спр.р}^I = \frac{I_{спр.з}^I \cdot K_{cx}}{n_m} = \frac{1578 \cdot 1}{300 / 5} = 26,3 \text{ А.}$$

Виставляємо $I_{спр.р}^I = 26 \text{ А}$ для реле РТ40/100.

$$I_{спр.р}^{II} = \frac{I_{спр.з}^{II} \cdot K_{cx}}{n_m} = \frac{49,27 \cdot 1}{300 / 5} = 0,82 \text{ А.}$$

Виставляємо $I_{спр.р}^{II} = 0,8 \text{ А}$ для реле РТ40/2.

Коефіцієнт чутливості МСЗ:

$$K_{\psi} = \frac{I_{кз.мін}}{I_{спр.з}^{II}};$$

$$K_{\psi} = \frac{\sqrt{3} / 2 \cdot I_{к3}^{(3)}}{I_{спр.з}^{II}} = \frac{\sqrt{3} / 2 \cdot 3562}{49,27} = 62,6 > 1,5 \text{ – для основного;}$$

$$K_{\psi} = \frac{1 / 3 \cdot I_{к5}^{(3)}}{I_{спр.з}^{II}} = \frac{1 / 3 \cdot 1209}{49,27} = 8,17 > 1,2 \text{ – для резервного.}$$

Час спрацювання МСЗ з урахуванням максимального часу спрацювання зовнішніх захистів:

$$t_{спр.з}^{II} = t_{зовн.мах} + \Delta t,$$

де $t_{зовн.мах} = 0,9 \text{ с}$ - час спрацювання захисту кабельної лінії; $\Delta t = 0,5 \text{ с}$ - час

що враховує селективність роботи захистів; $t_{спр.з}^{II} = 0,9 + 0,5 = 1,4 \text{ с}$.

Розрахуємо захист для ВЛ W – 1,2

Двоступінчастий захист від короткого замикання.

Перший ступінь: СВ.

$$I^I_{спр} = K_{відс} \times I_{кз зовн max},$$

де коефіцієнт запасу $K_3 = 1,2 \dots 2,0$.

Струм короткого замикання зовнішній максимальний, наведений до сторони ВН.

$$I_{кз зовн max} = I_{к4}^{(3)} = 1,209 \text{ кА};$$

$$I^I_{спр} = 1,3 \times 1,209 = 1,572 \text{ кА}.$$

Другий ступінь: МСЗ.

$$I^II_{спр} = \frac{K_3 \cdot K_{СЗ}}{K_B} \cdot I_{роб max},$$

де $K_3 = 1,3$; $K_B = 0,8$; $K_{СЗ} = 2$;

$I_{роб max} = I_{W1,2}$, с урахуванням перевантаження лінії:

$$I_{роб max} = I_{W1,2} \cdot 2 = 7,579 \cdot 2 = 15,16 \text{ А},$$

$$I^II_{спр} = \frac{1,3 \cdot 2}{0,8} \cdot 15,6 = 49,27 \text{ А}.$$

$$I_{ном.ТС} = \frac{I_{max}}{10 \div 20} = \frac{3588}{10 \div 20} = 358,8 \dots 179,4 \text{ А},$$

де $K_{пер}$ - коефіцієнт перевантаження

Таким чином номінальний струм трансформатора струму повинен бути не менше 178 А. Приймаємо трансформатор струму ТФМ-110-11-У1, на номінальний струм 300 А. Параметри ТС наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Параметри трансформатора струму ТФМ-110-11-У1

Номінальний струм первинної обмотки, А.	300
Номінальний струм вторинної обмотки, А.	5
Номінальна напруга, кВ.	110
Варіанти виконання вторинних обмоток	0,5/10Р
Номінальне навантаження, В·А, в класі 0,5	30

Обмотки ТС з'єднуємо за схемою «неповна зірка», $K_{cx} = 1$.

Струми спрацьовування реле:

$$I_{спр.р}^I = \frac{I_{спр.з}^I \cdot K_{сх}}{n_m} = \frac{1572 \cdot 1}{300/5} = 26,2 \text{ А}.$$

Виставляємо $I_{спр.р}^I = 26 \text{ А}$ для реле РТ40/100.

$$I_{спр.р}^{II} = \frac{I_{спр.з}^{II} \cdot K_{сх}}{n_m} = \frac{49,27 \cdot 1}{300/5} = 0,82 \text{ А}.$$

Виставляємо $I_{спр.р}^{II} = 0,8 \text{ А}$ для реле РТ40/2.

Коефіцієнт чутливості МСЗ:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз\text{ мін}}}{I_{спр.з}^{II}};$$

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot I_{к3}^{(3)}}{I_{спр.з}^{II}} = \frac{\sqrt{3}/2 \cdot 3562}{49,27} = 62,6 > 1,5 \text{ – для основного};$$

$$K_{ч} = \frac{1/3 \cdot I_{к5}^{(3)}}{I_{спр.з}^{II}} = \frac{1/3 \cdot 1209}{49,27} = 8,17 > 1,2 \text{ – для резервного}.$$

Таким чином режим далекого резервування можливий.

Час спрацювання МСЗ з урахуванням максимального часу спрацювання зовнішніх захистів:

$$t_{спр.з}^{II} = t_{зовн.мак} + \Delta t,$$

де $t_{зовн.мак} = 1,4 \text{ с}$ - час спрацювання захисту трансформатора; $\Delta t = 0,5 \text{ с}$ - час що враховує селективність роботи захистів; $t_{спр.з}^{II} = 1,4 + 0,5 = 1,9 \text{ с}$.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЦЕХОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

4.1. Розрахунок системи компенсації реактивної потужності в цеховій електричній мережі

Одним з основних питань, що вирішуються при проектуванні і експлуатації систем електропостачання промислових підприємств, є питання про компенсації реактивної потужності.

Передача значної кількості реактивної потужності з енергосистеми до споживачів нерациональна з наступних причин: виникають додаткові втрати активної потужності і енергії в усіх елементах системи електропостачання, обумовлені завантаженням їх реактивною потужністю, і додаткові втрати напруги в живильних мережах.

Компенсація реактивної потужності з одночасним поліпшенням якості електроенергії безпосередньо в мережах промислових підприємств є одним з основних напрямків скорочення втрат електроенергії та підвищення ефективності електроустановок підприємства.

Рівняння балансу реактивної потужності записується у вигляді:

$$Q_{дж} + Q_{кп} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{рез} \quad (4.1)$$

де $Q_{дж}$ - потужність джерела живлення, $Q_{кп}$ - потужність компенсуючих пристроїв, $Q_{\Sigma H}$ - реактивна потужність навантаження, ΔQ_{Σ} - сумарні втрати реактивної потужності по цеху, $Q_{рез}$ - потужність резерву.

Т.к. всю мощность нагрузки скомпенсируем непосредственно в цехах, в расчетах примем $Q_{\Sigma H} = 0$.

$$Q_{дж} = P_{PM} \cdot tg(\varphi), \quad (4.2)$$

де P_{PM} - активна потужність навантаження, $tg(\varphi) = tg(\arccos(0,85))$ - тангенс, що задається енергосистемою.

$$Q_{дж} = 2606,42 \cdot 0,29 = 755,86 \text{ кВАр}.$$

$Q_{рез}$ - потужність резерву, становить 6% від потужності джерела.

$$Q_{рез} = 0,06 \cdot 755,86 = 45,35 \text{ кВАр}.$$

ΔQ_{Σ} - сумарні втрати у мережах підприємства.

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_{кл} + \Delta Q_{тр} \quad (4.3)$$

де $\Delta Q_{кл}$ – втрати потужності у кабельних лініях з'єднуючих ГПП з ЦТП та ЦТП з ВРП цеху, $\Delta Q_{тр}$ – втрати реактивної потужності у трансформаторі.

Дані про втрати візьмемо з табл. 2.18. Розрахуємо втрати по всьому підприємству і зведемо їх у таблицю.

Таблиця 4.1 – Втрати по всьому заводу

Найменування цеху /ТП	Втрати Q_2 , ВАр	Кількість кабелів	Повні втрати Q, ВАр
1	2	3	4
Кабель до цеху 1(1 - 4) МЕДЬ	89,39	4	357,58
Кабель до цеху 2(1 - 4) МЕДЬ	453,9	4	1815,7
Кабель до цеху 3(1 - й/2 - й) МЕДЬ	255,6	2	511,27
Кабель до цеху 4(1 - й/2 - й)	3,66	2	7,3206
Кабель до цеху 5(1 - й/2 - й)	43,54	2	87,08
Кабель до цеху 6(1 - й/2 - й)	337,1	2	674,16
Кабель до цеху 7(1 - й/2 - й)	440,1	2	880,19
Кабель до цеху 8(1 - й/2 - й)	507,2	2	1014,4
Кабель до цеху 9(1 - й/2 - й)	42,43	2	84,866
Кабель до цеху 10(1 - й/2 - й)	30,49	2	60,981
Кабель до цеху 11(1 - й/2 - й)	208	2	415,93
Кабель до автостоянки	32,11	1	32,111
Кабель до цеху 13(1 - й/2 - й) МЕДЬ	1069	2	2137
Кабель до цеху 14(1 - 4) МЕДЬ	69,5	4	278
Кабель до цеху 15(1 - й/2 - й)	6,886	2	13,771
Кабель до цеху 16(1 - й/2 - й)	15,28	2	30,554
Кабель до цеху 17(1 - й/2 - й)	225,5	2	451,07
Кабель до цеху 18(1 - й/2 - й)	636	2	1272
Кабель до цеху 19(1 - 4) МЕДЬ	650,8	4	2603
Кабель до КТП - 1 (1 - й/2 - й)	31,32	2	62,637
Кабель до КТП - 2 (1 - й/2 - й)	25,27	2	50,544
Кабель до КТП - 3 (1 - й/2 - й)	116,1	2	232,15
Сумарні втрати Q, ВАр			13072

Для ЦТП – 1 трансформатор 3:

$$\Delta Q_{тр} = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} S_{НОМ} + \frac{1}{n} \cdot \frac{u_K}{100} \cdot \frac{(S_H)^2}{S_{НОМ}} = 2 \cdot \frac{1,4}{100} 1000 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(913,99)^2}{1000} = 50,972 \text{ кВАр}.$$

Розрахунок втрат для всіх трансформаторів зведемо у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Втрати для всіх трансформаторів

Найменування ТП	Навантаження, кВт	Номінальна потужність тр-ра S, кВА	$U_{НОМ.ВН}$, кВ	I_{XX} , %	U_K , %	Втрати активної потужності у трансформаторі P, кВт	ΔQ , кВАр
ЦТП - 1	913,99	1000	10	1,4	5,5	10,00	50,97
ЦТП - 2	615,83	630	10	2	5,5	6,25	41,75
ЦТП - 3	1137,09	1000	10	1,4	5,5	12,79	63,56
ГПП	2743,60	2500	110	1,5	10,5	26,25	233,07
Сумарні втрати Q, кВАр							389,36

$$\Delta Q_{\Sigma} = 13,072 + 389,36 = 402,43 \text{ кВАр}.$$

Втрати реактивної потужності у кабелях, що живлять окремі електроприймачі, не враховуються, оскільки дуже малі і не роблять помітного впливу на сумарні втрати.

$$Q_{КП} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{рез} - Q_{ДЖ} = 0 + 402,43 + 45,35 - 755,86 = -308,078 \text{ кВАр}.$$

Оскільки потужність компенсуючих пристроїв вийшла негативна, то установка компенсуючих пристроїв в розподільній мережі 10 кВ не потрібно.

Користуючись даними про навантаження підприємства з пункту 2.3 виберемо тип і кількість комплектних конденсаторних установок (ККУ).

Таблиця 4.3 – Вибір типу і кількості ККУ

№	Найменування вузлів живлення і груп цехів	Qм,кВАр	Типовиконання КУ	Кількість батарей	Сумарна номінальна потужність, кВАр
1	2	3	4	5	6
I	ЦТП - 1				
	Корпус виробництва бетонних конструкцій	740,856	УКЛ (П) Н-0,38-432-108УЗ	2	864
	Корпус керамзитобетонних конструкцій	819,246	УКЛ (П) Н-0,38-432-108УЗ	2	864
	Бетоно-змішувальний цех	409,623	УКЛ (П) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Склад цементу	65,505	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Склад арматурної сталі	104,809	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Автоматизований склад з прийомними пристроями	199,694	УКН-0,38-108УЗ	2	216
	Майданчик для зберігання готової продукції	24,756	УКН-0,38-75УЗ	1	75
II	ЦТП - 2				
	Механічний цех	139,676	УКН-0,38-75УЗ	2	150

№	Найменування вузлів живлення і груп цехів	Qм,кВАр	Типовиконання КУ	Кількість батарей	Сумарна номінальна потужність, кВАр
	Адміністративний корпус	159,801	УКЛ (П) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Корпус керамзитових труб №1	363,842	УКЛ (П) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Корпус бетонних труб	485,122	УКЛ (П) Н-0,38-300-150УЗ	2	600
	Склад керамзиту	65,505	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Склад готових труб	65,505	УКН-0,38-75УЗ	2	150
III	ЦТП - 3				
	Склад метизів і труб	52,404	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Гараж на 25 автомобілів	74,269	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Стоянка автомашин	-	-	-	-
	Деревообробний цех	132,034	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Котельня	258,460	УКН-0,38-150УЗ	2	300
	Компресорна	594,151	УКЛ (П) Н-0,38-300-150УЗ	2	600

4.2. Аналіз якості напруги цехової мережі і розрахунок відхилення напруги для характерних електроприймачів

Якість напруги залежить від втрат напруги в окремих елементах мережі живлення. Відхилення напруги згідно з ПУЕ не повинні виходити за межі:

1. $(-2,5 \pm 5)\% U_{ном}$ - для освітлення;
2. $(-5 \pm 10)\% U_{ном}$ - на затисках двигунів;
3. $(-5 \pm 5)\% U_{ном}$ - на затисках інших приймачів.

Відхилення напруги визначаються на кожній ділянці електричної мережі за формулою:

$$V = \left[\frac{(U - \Delta U_{діл}) - U_{ном}}{U_{ном}} \right] \cdot 100 \% \quad (4.4)$$

Відхилення напруги будемо розраховувати в максимальному, мінімальному і післяаварійний режимах, для найпотужнішого токарного 8-ми шпindelного напівавтомата (№25) і самого віддаленого очильно-шліфувального верстата (№28) споживача від шин ЦТП.

Максимальний: $U = U_{ном} \cdot 1,05 = 10,5 \text{ кВ}$.

Мінімальний: $U = U_{ном} \cdot 1,00 = 10,0 \text{ кВ}$.

Післяаварійний: $U = U_{ном} \cdot 1,10 = 11,0 \text{ кВ}$.

1. Розрахунок для найбільш потужного електроприймача (№25)

Режим максимального навантаження

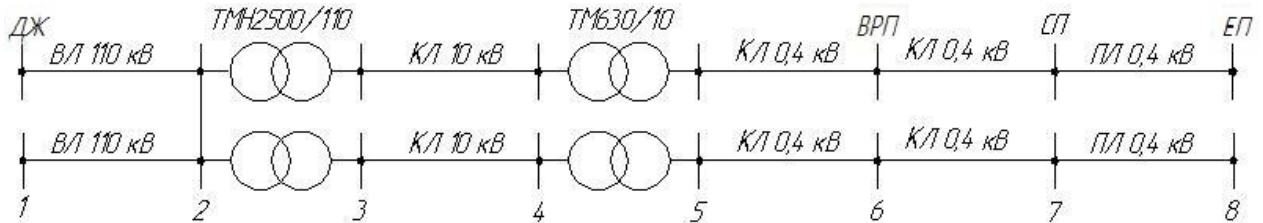


Рисунок 4.1 – Схема заміщення

Втрати в ЛЕП 110 кВ і трансформаторі визначені в пункті 2.3.

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{ВЛ} = 115500 - 43,94 = 115456,06 \text{ В};$$

$$V = \left[\frac{115456,06 - 110000}{110000} \right] \cdot 100\% = 4,96\% .$$

Визначаємо втрати в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \frac{\Delta U_{T\%}}{100} \cdot U_{НВ} = \frac{4,38}{100} \cdot 110000 = 4813 \text{ В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_T = 115456,06 - 4813 = 110642,78 \text{ В};$$

$$V = \left[\frac{110642,78 - 110000}{110000} \right] \cdot 100\% = 0,58\% .$$

Наведемо напругу U_3 до сторони 10 кВ.

$$U'_3 = U_3 \cdot K_{mp} = 110642,78 \cdot \frac{10}{110} = 10058 \text{ В} .$$

Втрати в кабелі (визначені в пункті 2.2):

$$\Delta U'_{КЛ6} = 5,08 \text{ В};$$

$$U_4 = U'_3 - \Delta U'_{КЛ6} = 10058 - 5,08 = 10053 \text{ В};$$

$$V = \left[\frac{10053 - 10000}{10000} \right] \cdot 100\% = 0,53\% .$$

Визначаємо втрати в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \frac{\Delta U_{T\%}}{100} \cdot U_{BH} = \frac{2,18}{100} \cdot 10000 = 218 \text{ В};$$

$$U_5 = U_4 - \Delta U_T = 10053 - 218 = 9835 \text{ В};$$

$$V = \left[\frac{9835 - 10000}{10000} \right] \cdot 100\% = -1,65\%.$$

Наведемо напругу U_5 до сторони 0,4 кВ.

$$U'_5 = U_5 \cdot K_{mp} = 9835 \cdot \frac{0,4}{10} = 393,4 \text{ В}.$$

Втрати в кабелі до цеху 7 (визначені в пункті 2.2):

$$\Delta U'_{кл} = 9,46 \text{ В}.$$

$$U_6 = U'_5 - \Delta U'_{кл} = 393,4 - 9,46 = 383,94 \text{ В}.$$

$$V = \left[\frac{383,94 - 400}{400} \right] \cdot 100\% = -4,01\%.$$

Втрати в кабелі до цеху СП5 (визначені в пункті 2.2):

$$\Delta U'_{кл} = 0,65 \text{ В}.$$

$$U_7 = U_6 - \Delta U'_{кл} = 383,94 - 0,65 = 383,58 \text{ В}.$$

$$V = \left[\frac{383,58 - 400}{400} \right] \cdot 100\% = -4,01\%.$$

Втрати в провіді (визначені в пункті 2.2)

$$\Delta U_{np} = 0,546 \text{ В}.$$

$$U_8 = U_7 - \Delta U_{np} = 383,58 - 0,465 = 383,46 \text{ В}.$$

$$V = \left[\frac{383,46 - 400}{400} \right] \cdot 100\% = -4,13\%$$

Розрахунки для двох типів ЕП зведемо в таблицю 4.4.

Режим мінімального навантаження

За річним графіком обчислюємо співвідношення потужностей між мінімальним і максимальним режимом:

$$\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,3. \quad (4.5)$$

Так як струми, а значить і втрати напруги пропорційні потужності, то для будь-яких величин в мінімальному режимі справедливі умови:

$$I_{min} = 0,3 \cdot I_{max}, \quad (4.6)$$

$$\Delta U_{min} = 0,3 \cdot \Delta U_{max}, \quad (4.7)$$

Втрати в живильній повітряній лінії 110 кВ,

$$\Delta U_{ПЛ(min)} = 0,3 \cdot \Delta U_{ПЛ} = 0,3 \cdot 43,94 = 13,18 \text{ В.}$$

Розрахунки для двох типів ЕП зведемо в таблицю 4.5.

Післяаварійний режим з урахуванням дії максимального навантаження

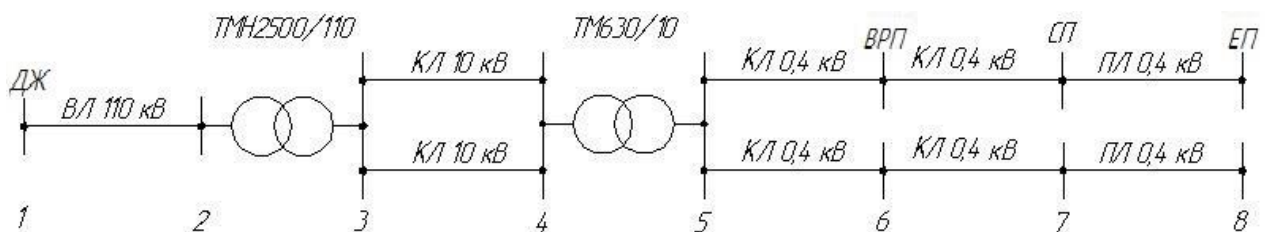


Рисунок 4.2

За післяаварійний режим прийmemo: 1) вихід з устрою однієї ВЛ; 2) вихід з устрою одного трансформатора ГПП; 3) Вихід з устрою одного трансформатора ЦТП.

Розрахунки для двох типів ЕП зведемо в таблицю 4.6.

Стандартом нормуються відхилення напруги на виводах приймачів електричної енергії. Нормально допустимі і гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги дорівнюють відповідно ± 5 і $\pm 10\%$ від номінального значення напруги і в точках загального приєднання споживачів електричної енергії повинні бути встановлені в договорах енергопостачання для годин мінімуму і максимуму навантажень в енергосистемі з урахуванням необхідності виконання норм стандарту на висновках приймачів електричної енергії відповідно до нормативних документів. Відхилення напруги відповідає нормативним значенням.

Таблиця 4.4

Тип ЕП	ДЖ	ЛЕП 110 кВ, в %		Тр-тр ТМ 2500/110			КЛ10кВ		Тр-тр ТМ 630/10			КЛ		КЛ		ПЛ	
	U1	U2	V2	U3	V3	U3'	U4	V4	U5	V5	U5'	U6	V6	U7	V7	U8	V8
Найбільш потужний ЕП	115500	115456,06	4,96	110642,78	0,58	10058,43	10053,36	0,53	9835,03	-1,65	393,40	383,94	-4,02	383,58	-4,10	381,93	-4,52
Найбільш видалений ЕП	115500	115456,06	4,96	110642,78	0,58	10058,43	10053,36	0,53	9835,03	-1,65	393,40	383,94	-4,02	383,29	-4,18	382,75	-4,31



Рисунок 4.3

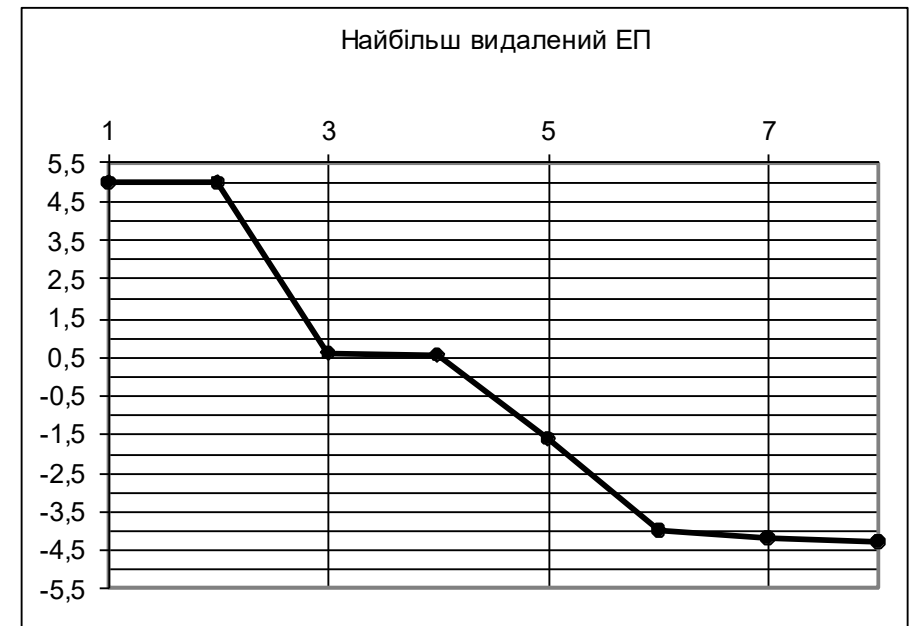


Рисунок 4.4

Таблиця 4.5

Тип ЕП	ДЖ	ЛЕП 110 кВ		Тр-тр ТМ 2500/110			КЛ		Тр-тр ТМ 630/10			КЛ		КЛ		ПЛ	
	U1	U2	V2	U3	V3	U3'	U4	V4	U5	V5	U5'	U6	V6	U7	V7	U8	V8
Найбільш потужний ЕП	110000	109986,82	-0,01	108542,83	-1,32	9867,53	9862,45	-1,38	9796,95	-2,03	391,88	389,04	-2,74	388,93	-2,77	388,44	-2,89
Найбільш видалений ЕП	110000	109986,82	-0,01	108542,83	-1,32	9867,53	9862,45	-1,38	9796,95	-2,03	391,88	389,04	-2,74	388,39	-2,90	388,23	-2,94



Рисунок 4.5

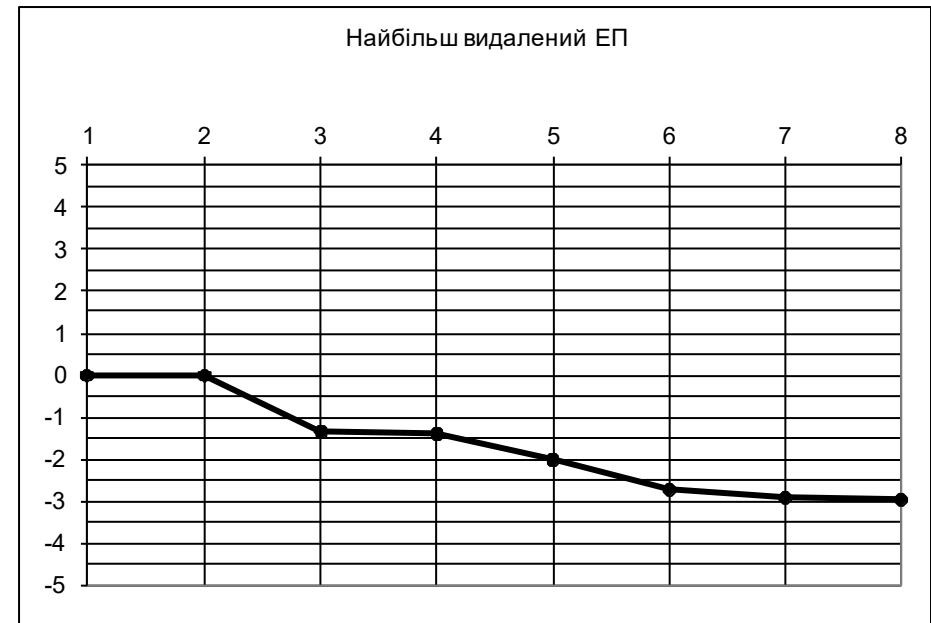


Рисунок 4.6

Таблиця 4.6

Режим	ДЖ	ЛЕП 110 кВ		Тр-тр ТМ 2500/110			КЛ		Тр-тр ТМ 630/10			КЛ		КЛ		ПЛ	
	U1	U2	V2	U3	V3	U3'	U4	V4	U5	V5	U5'	U6	V6	U7	V7	U8	V8
Найбільш потужний ЕП	115500	115412,11	4,92	107651,25	-2,14	9786,48	9781,40	-2,19	9563,08	-4,37	382,52	379,22	-5,20	378,86	-5,29	378,86	-5,29
Найбільш видалений ЕП	115500	115412,11	4,92	107651,25	-2,14	9786,48	9781,40	-2,19	9563,08	-4,37	382,52	379,22	-5,20	378,57	-5,36	378,52	-5,37



Рисунок 4.7

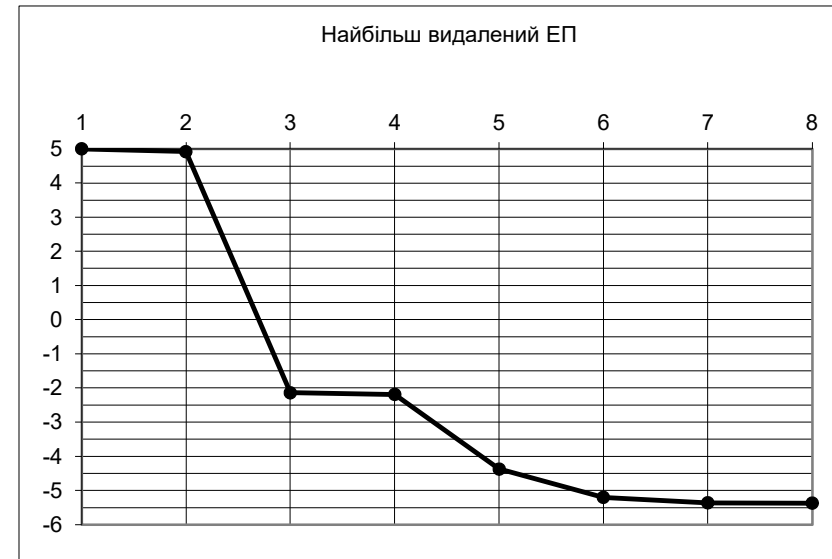


Рисунок 4.8

РОЗДІЛ 5. СТІЙКІСТЬ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ І ВУЗЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ

5.1. Режими електричної системи

Сукупність процесів, що існують в електричній системі і визначають її стан у будь-який момент часу або в деякому інтервалі часу, називається режимом системи. Режим – це стан системи, обумовлений значеннями потужності, напруг, струмів, частоти й інших фізичних змінних величин, що характеризують процес перетворення, передачі і розподілу енергії. Режим електричної системи може бути сталим або перехідним (несталим). У сталому режимі роботи системи параметри режиму непостійні, вони безупинно змінюються, однак ці зміни досить малі. Перехідний режим системи характеризується швидкою зміною в часі його параметрів. Окремий випадок перехідного режиму режим хитань, коли періодично змінюються параметри.

З погляду параметрів режиму системи розрізняють:

1. Нормальні сталі режими, стосовно до яких проектується електрична система і визначаються основні техніко-економічні характеристики.

2. Нормальні перехідні режими, під час яких система переходить від одного робочого стану до іншого.

3. Аварійні сталі і перехідні режими, для яких визначаються технічні характеристики, зв'язані з необхідністю ліквідації аварії і з'ясування умов подальшої роботи системи.

4. Післяаварійні сталі режими викликають у загальному випадку зміну нормальної схеми системи, наприклад відключення якогонебудь елемента системи або ряду елементів. У цьому режимі система може працювати з погіршеними техніко-економічними характеристиками в порівнянні з нормальним режимом.

У будь-яких перехідних процесах відбуваються закономірні післяаварійні зміни параметрів режиму системи, викликані якиминебудь причинами, названими впливами, що збурюють.

Нормальні перехідні процеси виникають при звичайних експлуатаційних операціях: включенні і відключенні трансформаторів і ліній електропередач, включенні і відключенні окремих генераторів і навантажень. При нормальній експлуатації системи завжди діють малі впливи, що збурюють, які викликають малі збурювання режиму, наприклад зміни навантаження.

Аварійні перехідні процеси виникають унаслідок різких і істотних змін режиму системи: при коротких замиканнях у системі і наступному їхньому відключенні, при зміні схеми з'єднання системи.

Під час перехідного режиму система переходить від одного сталого режиму до іншого або після збурювання повертається до вихідного сталого режиму. Перехідні і сталі режими електричних систем повинні задовольняти рядові основних вимог. У нормальному робочому режимі системи (вихідний режим) повинні бути забезпечені:

- якість - постачання споживачів енергією, що відповідає за своїми показниками встановленим нормативам;
- надійність - постачання споживачів енергією без перерви і без зниження її якості, стійке збереження режиму (стійкість);
- економічність – надійне постачання споживачів енергією необхідної якості при мінімальних витратах засобів на її виробництво і передачу.

Перехідні режими електричних систем практично завжди повинні закінчуватися деяким бажаним сталим режимом. Важливо знати, чи буде цей режим здійснений при параметрах, прийнятих у розрахунку, а якщо здійснимо, то чи буде він стійкий і досить надійний для того, щоб система могла довгостроково працювати без порушень її стійкості. Оцінюючи якість перехідного режиму в цілому, необхідно, щоб зміни параметрів режиму, що відбуваються, не могли істотно знизити якість енергопостачання споживачів.

Умови, що повинні бути виконані при розрахунках перехідних процесів наступні:

- здійсненність режиму, що повинний наступити після загасання перехідних процесів;
- стійкість переходу від режиму до режиму і стійкість режиму.

- задовільна якість перехідного процесу.
- економічність заходів, що забезпечують дотримання вимог до перехідного процесу.

5.2. Стійкість режиму електричної системи

Стійкість режиму електричної системи – це здатність системи при раптових випадкових збурювання її режиму (малих і значних) зберігати нормальне значення параметрів у її вузлових точках. Систему розглядають як єдине ціле – синхронні генератори системи і вузли навантаження, вплив яких на стійкість може бути значним.

Розрізняють статичну і динамічну стійкість системи. Статична стійкість – здатність системи відновлювати вихідний режим після малого його збурювання або режим, досить близький до вихідного. Щоб судити про статичну стійкість системи, необхідно досліджувати характер перехідного процесу при малому збурюванні.

Розглянемо найпростішу нерегульовану систему (рис. 5.1), у якій генератор Γ працює через трансформатор $T1$ і лінію L на шини незмінною за значенням і фазою напруги при будь-яких режимах роботи електропередачі. Перехідні процеси в обмотках збудження генератора не розглядаються.

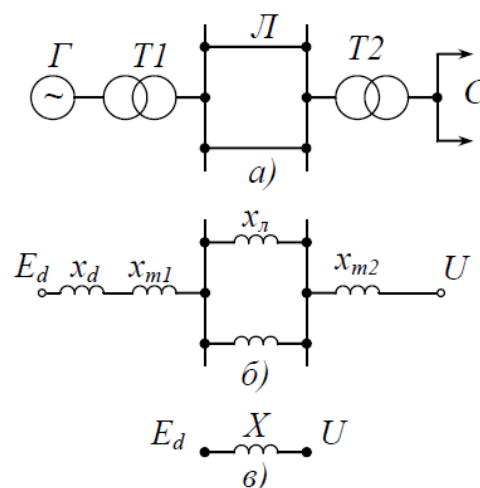


Рисунок 5.1 – Схеми електропередачі:

а – принципова; б – заміщення; в – еквівалентна

Перехідний процес у системі досліджується за допомогою кутової характеристики

$$P = f(\delta),$$

де P – електромагнітна потужність генератора; δ – кут зсуву по фазі між синхронною ЕРС генератора E_d і напругою U на шинах прийомної системи.

Кутову характеристику можна одержати, замінивши у відомій формулі внутрішньої потужності генератора

$$P = \sqrt{3}E_d I \cos\varphi$$

добуток $\sqrt{3}I \cos\varphi$ через напругу прийомної системи U і кут δ .

З векторної діаграми (рис. 12.2) маємо

$$\sqrt{3}I_q x = U \sin\delta, \quad I_q = I \cos\varphi.$$

Тоді

$$\sqrt{3}I \cos\varphi = \frac{U}{x} \sin\delta.$$

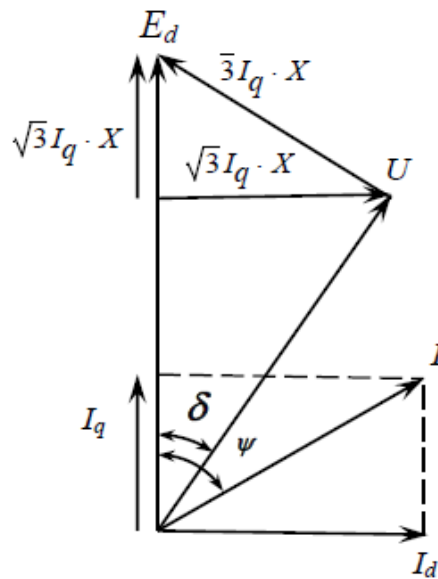


Рисунок 5.2 – Векторна діаграма системи

Підставляючи це вираження в приведену вище формулу потужності, одержимо

$$P = \frac{E_d U}{x} \sin \delta. \quad (5.1)$$

З формули (5.1) випливає, що для передачі потужності через індуктивний опір необхідно, щоб ЕРС генератора випереджала напругу прийомних шин. Залежність потужності від кута має синусоїдальний характер (рис. 5.3).

Найбільша потужність, що може бути передана при незмінній напрузі на шинах, називається ідеальною межею потужності:

$$P_{z.m} = \frac{E_d U}{x}. \quad (5.2)$$

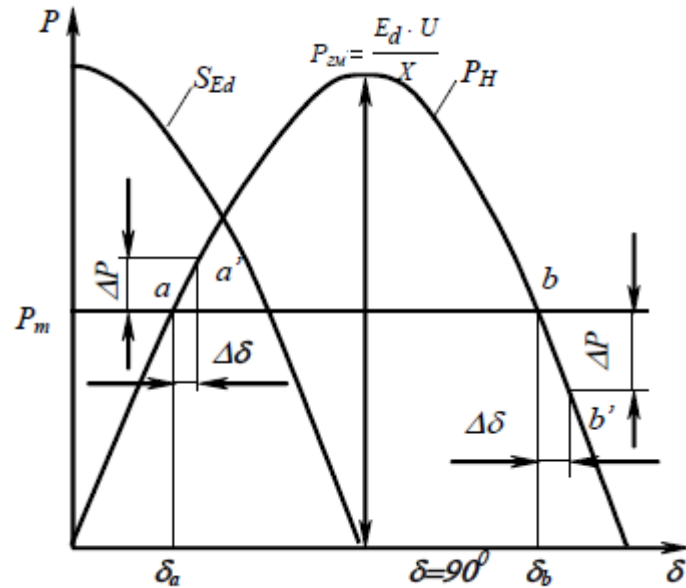


Рисунок 5.3 – Кутова характеристика потужності

У сталому режимі повинна підтримуватися рівновага між потужністю первинного двигуна і генератора, що можливо, коли потужність турбіни P_m менше граничної $P_{z.m}$. У системі сталий режим зовсім не означає незмінності всіх його параметрів. Електрична система має величезну кількість навантажень, що безупинно змінюються, причому ці зміни відбуваються стохастично. У зв'язку з цим на генераторах системи з'являються деякі додаткові, досить малі, моменти ΔM . Ці моменти зменшують або збільшують моменти, що діють на валах генераторів, і зміщають ротори останніх на деякі невеликі кути $\Delta \delta$. При цьому зміни швидкості $\Delta \omega = f(\Delta P)$ щодо синхронної досить малі.

З рис. 5.3 випливає, що кожному значенню потужності турбіни P_T відповідають дві точки рівноваги на кутовій характеристиці потужності генератора при значеннях кутів δ_a і δ_b . Покажемо, що стійкий режим роботи можливий лише в точці a , а в точці b – режим несталий.

Припустимо, що електромагнітний момент генератора одержує малі зміни внаслідок зміни ЕРС E , напруги U , опору x відповідно до малих відхилень ротора від положення рівноваги, а обертаючий момент турбіни залишається при цьому незмінним. Якщо при невеликому збурюванні кут генератора δ_a збільшився на $\Delta\delta$, то робоча точка на кутовій характеристиці перейде з a в a' , і потужність генератора збільшиться на ΔP . Видно, що позитивному збільшенню кута відповідає позитивне збільшення потужності. У результаті зміни потужності генератора рівновагу моментів турбіни і генератора буде порушено і на валі машини виникне гальмуючий момент, тому що потужність генератора стала більше потужності турбіни. Під впливом гальмуючого моменту ротор генератора сповільнює обертання, кут δ зменшується, і знову відновлюється вихідний режим роботи (точка a).

Тому такий режим повинен бути визнаний стійким. Подібна картина явищ спостерігається при зменшенні кута δ .

Розглянемо процеси в точках b і b' , де позитивне збільшення кута $\Delta\delta$ відповідає негативним змінам потужності генератора ΔP . Зміна потужності викликає появу моменту, що прискорює, під впливом якого кут δ зростає. Потужність генератора падає, що приводить до подальшого збільшення кута. У такій системі, називаною статично несталою, у даному випадку досить малі збурювання приводять до прогресивної зміни параметрів її режиму. Ці зміни на початку процесу звичайно відбуваються дуже повільно. Практично вони виявляються у виді мимовільної зміни (сповзання або плинності) параметрів нормального режиму системи.

З викладеного випливає прямий критерій статичної стійкості найпростішої нерегульованої системи. Статична стійкість системи забезпечується, якщо збільшення кута і потужності генератора мають той самий знак:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \delta} > 0 \quad \text{або} \quad \frac{\Delta P}{\Delta \delta} < 0.$$

Прямий критерій критичного (по сповзанням або плинності) режиму найпростішої системи

$$\frac{\Delta P}{\Delta \delta} = 0.$$

Похідну $\frac{\Delta P}{\Delta \delta}$ називають синхронізуючою потужністю. Позитивний знак синхронізуючої потужності є умовою статичної стійкості. Для нерегульованої системи синхронізуюча потужність

$$S_{E_d} = \frac{\Delta P}{\Delta \delta} = \frac{E_d U}{x} \cos \delta.$$

Якщо потужність прийомної системи порівнянна з потужністю електропередачі, то напруга на її шинах буде мінятися при зміні режиму роботи. Найбільша передана потужність у цьому випадку – дійсна межа потужності. При збільшенні переданої потужності напруга на генераторі і на прийомних шинах буде знижуватися, що небажано або навіть неприпустимо з погляду якості енергії у споживачів. Тому дійсна межа потужності завжди менше ідеальної. Під впливом зниження напруги деформується залежність $P = f(\delta)$.

На значення дійсної межі потужності істотний вплив роблять характеристики навантаження прийомних шин – статичні характеристики $P_n = f(U)$ і $Q_n = f(U)$ (рис. 5.4). Характер кривої $P = f(\delta)$ залежить в основному від регулюючого ефекту навантаження, що полягає в зміні активної і реактивної потужностей навантаження при зміні напруги на її шинах. Чим більше регулюючий ефект, тим сприятливіше впливає навантаження на стійкість системи.

На зміну напруги при зростанні переданої потужності найбільше помітно впливає регулюючий ефект по реактивній потужності. У схемах з переважним реактивним опором збільшення реактивної потужності навантаження (участок ab), обумовлене зростанням ковзання асинхронних двигунів при дефіциті реактивної потужності в системі, приводить до лавиноподібного зниження напруги. Це явище, як правило, супроводжується перекиданням двигунів. Таке порушення стійкості вузла навантаження може слугувати причиною порушення стійкості режиму електричної системи.

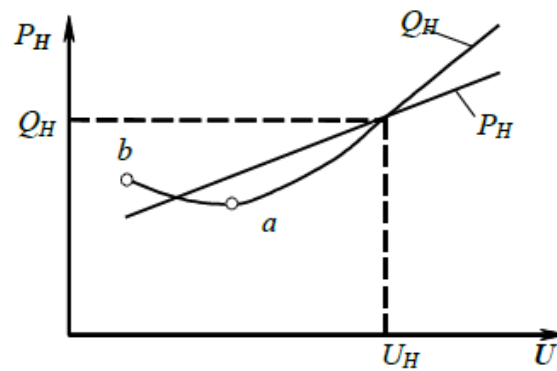


Рисунок 5.4 – Статичні характеристики навантаження

Автоматичне регулювання збудження (АРЗ) генераторів, приєднаних до електричної системи, значно поліпшує статичні властивості системи. За допомогою регулювання збудження підвищується межа переданої потужності за рахунок керування величиною ЕРС генераторів і усунення факторів, здатних викликати саморозгойдування системи поблизу межі стійкості. АРЗ поліпшує якість режиму системи за рахунок підтримки напруги на початку кола передачі і забезпечення якомога більш швидкого загасання малих коливань, що виникають у нормальному режимі.

У результаті, при збільшенні переданої потужності, а виходить, і збільшенні кута, ЕРС генераторів зростає і спостерігається перехід з однієї характеристики на іншу (рис. 5.5). При цьому межа потужності, обумовлена точкою З, буде значно більше, ніж у нерегульованого генератора, і зрушений у зону, де синхронізуюча потужність S_{E_d} негативна. Область при $\delta > 90^\circ$ ($S_{E_d} < 0$) називається зоною штучної стійкості. Стійкість режиму системи в цій зоні можлива тільки при автоматичному регулюванні збудження.

Динамічна стійкість – здатність системи відновлювати після великого збурювання вихідне або практично близьке до вихідного (припустимого до умов експлуатації системи) стану. Великі збурювання режиму, що з'являються в електричних системах, найчастіше викликаються відключеннями потужних навантажень або генераторів, що несуть навантаження, трансформаторів і ліній електропередачі. До ще великих порушень режиму приводять КЗ, при яких зміни потужності на окремих ділянках системи можуть бути порівнянні зі значенням сумарної потужності всієї системи. При таких великих

збурюваннях, зв'язаних з наступними відключеннями окремих елементів системи або деяких її частин, розрізняють два види стійкості системи: динамічну синхронну стійкість і результуючу динамічну стійкість.

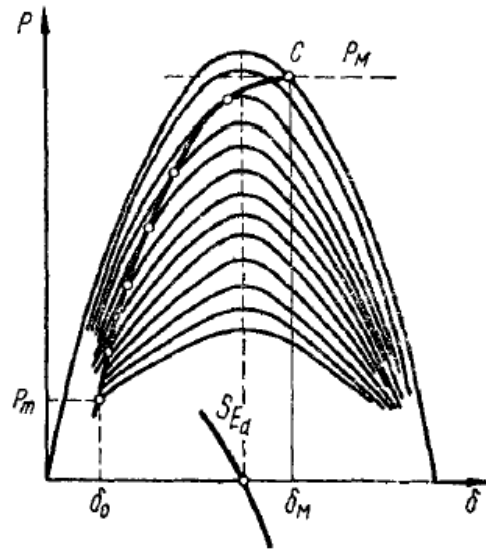


Рисунок 5.5 – Характеристики системи при регулюванні збудження

Динамічна синхронна стійкість – це здатність системи продовжувати після відключення аварії нормальну роботу при збереженні синхронізму у всіх не відключених синхронних генераторів і компенсаторів. Результуюча динамічна стійкість – це здатність системи відновлювати нормальну синхронну роботу після короткочасного і безпечного для системи асинхронного режиму частини її генераторів, які автоматично ресинхронізуються.

У першому випадку при великих збурюваннях режиму зміни швидкості залишаються малими. В другому випадку одночасно відбуваються великі зміни режиму і швидкості.

Розглянемо перехідний процес, викликаний КЗ одного з кіл лінії електропередачі (рис. 5.6, а) з наступним відключенням ушкодженого кола. Задача вирішується за допомогою характеристик потужності для нормального, аварійного (КЗ) і післяаварійного (відключення кола) режимів.

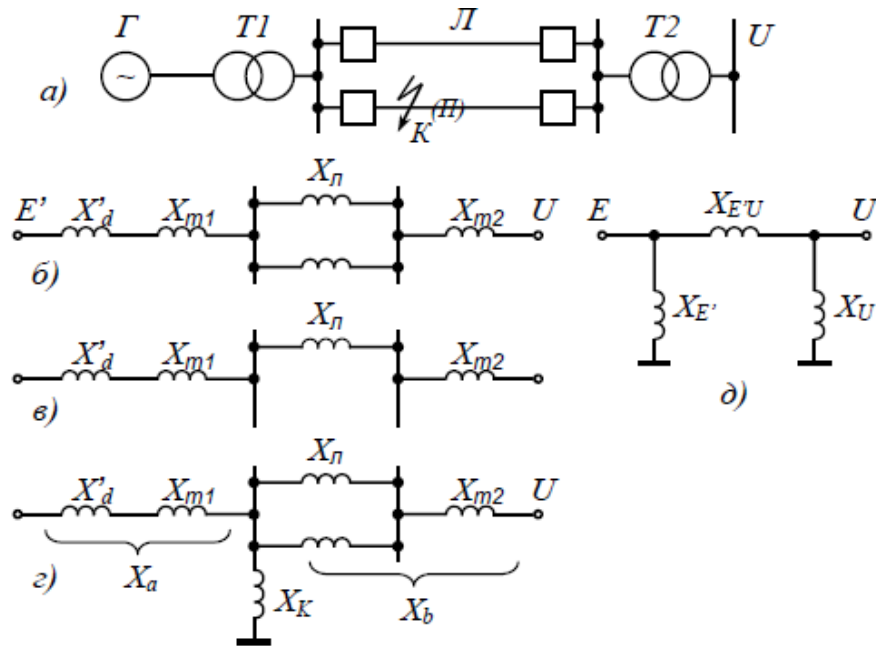


Рисунок 5.6 – Схема електропередачі (а) і схеми заміщення для нормального (б), післяаварійного (в), аварійного (г, д) режимів

Схеми заміщення для режимів роботи показані на рис. 5.6, б-д.

Характеристики потужності, що відповідають першим двом режимам, будуть:

$$P_I = \frac{E'U}{x_I} \sin \delta, \quad (5.4)$$

де $x_I = x'_d + x_{T1} + \frac{x_n}{2} + x_{T2}$; E' – деяка фіктивна ЕРС генератора, що приблизно дорівнює подовжній перехідній ЕРС E'_d і незмінна протягом перехідного процесу;

$$P_{III} = \frac{E'U}{x_{III}} \sin \delta, \quad (5.5)$$

де $x_{III} = x'_d + x_{T1} + x_n + x_{T2}$.

Значення опору кола КЗ (рис. 5.6, г) залежить від виду замикання і дорівнює:

при трифазному КЗ $x_K^{(3)} = 0$;

при двофазному КЗ $x_K^{(2)} = x_2$;

при однофазному КЗ $x_K^{(1)} = x_0 + x_2$;

при двофазному КЗ на землю $x_K^{(1,1)} = x_0 \parallel x_2$.

Опір між точками накладання ЕРС генератора і напругою прийомних шин, через який в період аварії передається весь потік активної потужності генератора, визначається за формулою

$$x_{E',U}^{(n)} = x_a + x_b + \frac{x_a x_b}{x_K^{(n)}} = x_{II}^{(n)}. \quad (5.6)$$

Тоді характеристика потужності генератора в аварійному режимі

$$P_{II}^n = \frac{E'U}{x_{II}^n} \sin \delta. \quad (5.7)$$

Характеристики потужності для різних режимів при несиметричному КЗ показані на рис. 5.7. Нормальному режиму відповідає кут δ_0 . У момент КЗ різка зміна режиму приводить до швидкої (при спрощеному аналізі) і значної зміни потужності, що віддається генератором і одержуваної споживачами або переданої по окремих елементах системи. Відбувається перехід із точки а характеристики нормального режиму в точку б характеристики аварійного режиму. У результаті на валу генератора виникає надлишковий момент, що прискорює, обумовлений різницею потужності турбіни P_m і електромагнітною потужністю генератора. Під впливом цього моменту швидкість ротора і кут δ починають збільшуватися. Цьому стану відповідає рух робочої точки по характеристиці аварійного режиму з точки б у напрямку до точки с.

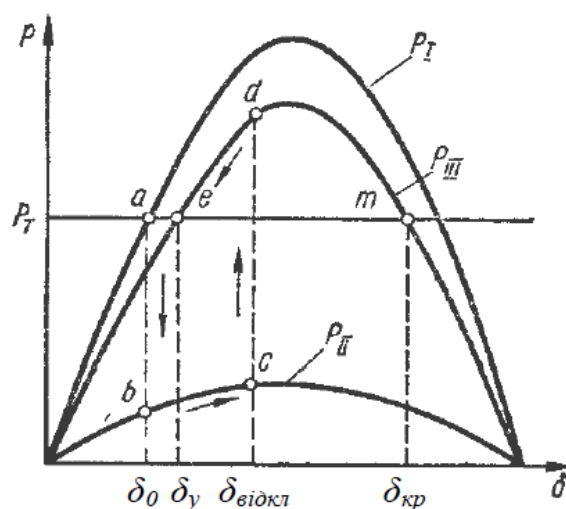


Рисунок 5.7 – Характеристики потужності

Якщо при значенні кута $\delta_{\text{відкл.}}$ відбудеться відключення ушкодженого кола лінії електропередачі, то в цей момент спостерігається перехід із точки з у точку d характеристики післяаварійного режиму.

У цьому випадку під впливом надлишкового гальмуючого моменту, коли навантаження генератора перевищує потужність турбіни, ротор гальмується, а кут зміниться від значення $\delta_{\text{відкл.}}$ до $\delta_{\text{в}}$ і по інерції буде ще продовжувати зменшуватися. Після декількох коливань у системі настає новий сталий режим з кутом $\delta_{\text{у}}$ (точка e). Таким чином, система може бути визнана динамічно стійкою.

Якщо запасена ротором генератора енергія прискорення буде переважати над енергією гальмування, то при переході точки т (кут $\delta_{\text{кр}}$) надлишковий момент стає прискорюючим, унаслідок чого генератор вийде із синхронізму. Так порушується динамічна синхронна стійкість.

Відключення однієї з ліній передачі супроводжується процесами, що протікають фізично аналогічно. При цьому розглядають дві характеристики потужності відповідно до параметрів схеми.

Регулювання збудження генераторів забезпечує значне покращення динамічних властивостей системи:

- підвищення межі динамічної стійкості (полегшення входження машини в синхронізм).
- більш швидке і повне гасіння великих коливань, що виникають після ліквідації асинхронного ходу частини системи.

5.3. Стійкість вузлів навантаження

нормальних режимах при малих збуреннях виникає необхідність перевірки статичної стійкості навантаження синхронних двигунів, синхронних компенсаторів і великих груп асинхронних двигунів.

У навантаженнях, при підключенні їх до мережі, зміні умов їхньої роботи або порушеннях режиму системи (зміна напруги, частоти, параметрів мереж) виникають перехідні процеси. Ці процеси визначають надійність усієї системи електропостачання.

Стійкість асинхронного двигуна

Розглянемо перехідний процес і критерії стійкості на прикладі агрегату, що складає з асинхронного двигуна і приводного механізму.

Рівняння руху цього агрегату для малих відхилень має вигляд

$$T_j \frac{ds}{dt} = - \left(\frac{dP_\delta}{ds} - \frac{dm_c}{ds} \right) s, \quad (5.8)$$

де T_j – механічна постійна інерції агрегату; s – відносне ковзання ротора двигуна; m_c – відносний статичний момент механізму.

Рівняння (5.8) отримано за умови, що відносний електромагнітний момент двигуна m_δ при постійній частоті, що підведений до двигуна напруги дорівнює (у відносних одиницях) потужності P_δ , переданої зі статора на ротор.

Тоді критерій стійкості асинхронного двигуна

$$\left| \frac{dP_\delta}{ds} - \frac{dm_c}{ds} \right| > 0.$$

Якщо момент опору механізму прийнятий незалежним від ковзання, тобто $\frac{dm_c}{ds} = 0$, то критерій стійкості

$$\frac{dP_\delta}{ds} > 0.$$

Виходячи зі спрощеної схеми заміщення асинхронного двигуна, потужність двигуна при незмінності підведеної напруги

$$P_\delta = \frac{U_\delta^2 R_\delta s}{x_\delta^2 s^2 + R_\delta^2}. \quad (5.9)$$

Відомо, що стала робота двигуна досягається лише на висхідній частині характеристики $P = f(s)$ (рис. 5.8). Дорівнюючи похідну $\frac{dP}{ds}$ нулеві і вирішуючи відносно неї s , одержимо значення ковзання, що відповідає максимальному значенню потужності двигуна.

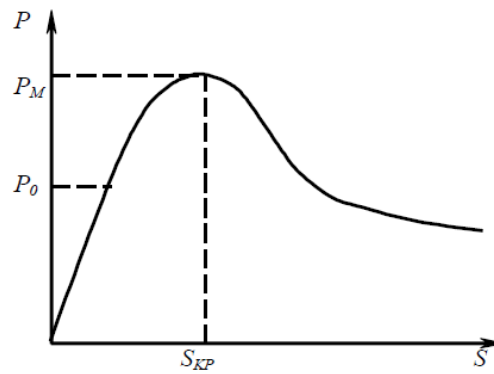


Рисунок 5.8 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

Це значення ковзання називається критичним:

$$s_{кр} = \frac{R_{\delta}}{x_{\delta}}. \quad (5.10)$$

Підставляючи значення $s_{кр}$ у рівність (5.10), одержимо найбільше значення потужності двигуна, що відповідає перекидаючому (критичному) моменту:

$$P_{\delta.м} = \frac{U_{\delta}^2}{2x_{\delta}}. \quad (5.11)$$

Перекидаючий момент, як видно, залежить від другого ступеня зміни напруги і різко зменшується при його зниженні. Напруга, при якій перекидаючий момент дорівнює навантаженню двигуна, називається критичною:

$$U_{кр} = \sqrt{2P_{\delta}x_{\delta}}. \quad (5.12)$$

Якщо напруга на затискачах двигуна стане менше критичного $U_{кр}$, то наступить момент гальмування двигуна. Величина критичного напруження служить показником ступеня стійкості двигуна. Чим вище значення критичного напруження, тим менш стійкий двигун. При живленні двигуна від шин незмінної напруги значення максимальної потужності приблизно вдвічі перевищує номінальну потужність двигуна, що забезпечує достатній запас стійкості.

Критичне напруження і запас стійкості двигуна залежать:

- від коефіцієнта завантаження двигуна $n_3 = P_{\delta} / P_n$

$$U_{кр} = \sqrt{2n_3 P_n x_{\delta}}; \quad (5.13)$$

- від електричної віддаленості двигуна від точки системи, напругу в якій можна вважати незмінною (рис. 5.9, а)

$$U_{c.кр} = \sqrt{2P_o(x_\delta + x_e)}; \quad (5.14)$$

- від поперечної ємнісної компенсації (включення ємності на виводах двигуна):

$$U_{e.кр} = \sqrt{2P_o(x_\delta + x_e)}. \quad (5.15)$$

В останньому випадку (рис. 5.9, б, в) еквівалентний опір і еквівалентна розрахункова напруга зовнішньої мережі відповідно рівні:

$$x_e = \frac{x_B x_K}{x_K - x_B}; \quad U_e = U_c \frac{x_K}{x_K - x_B},$$

де $x_K = \frac{U_\delta^2}{Q_K}$ – опір конденсаторів (Q_K – потужність конденсаторної установки).

З рівнянь (5.13) і (5.14) випливає, що збільшення завантаження двигуна й електричної віддаленості від шин незмінної напруги приводить до зниження стійкості асинхронного двигуна. З ростом ступеня поперечної ємнісної компенсації (зменшується x_K) зменшується критичне значення напруги. При деякому значенні ємності, коли $x_K < x_B$, можна досягти умови $U_{e.кр} < U_{c.кр}$ і забезпечити в такий спосіб стійкість двигуна при всіх можливих зниженнях напруги в мережі. Однак це вимагає застосування могутніх пристроїв, що компенсують. Тому при виборі засобів компенсації реактивної потужності віддалених вузлів навантаження важлива перевірка стійкості.

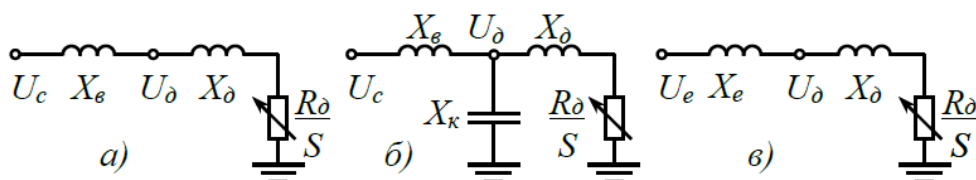


Рисунок 5.9 – Схеми заміщення до аналізу стійкості асинхронного двигуна

Коефіцієнт запасу стійкості визначають, виходячи з напруги системи у вихідному режимі:

$$U_{c.o} = \sqrt{\left(U_{\delta} + \frac{Q_o x_B}{U_{\delta}}\right)^2 + \left(\frac{P_o x_B}{U_{\delta}}\right)^2}, \quad (5.16)$$

де

$$Q_o = \frac{P_o}{\frac{R_{\delta}}{s}} x_{\delta}.$$

Перевірка порушення стійкості двигунів виконується за результатами порівняння напруги $U_{c.o}$ з напругою $U_{c.кр}$.

При повній компенсації реактивної потужності статичними конденсаторами напруга на затискачах двигуна, при якому відбудеться їхнє перекидання, дорівнює

$$U_{\delta.кр} = \sqrt{\left(U_{c.кр} + \frac{P_o x_B}{U_{c.кр}}\right)^2 + \left(\frac{P_o x_B}{U_{c.кр}}\right)^2}, \quad (5.17)$$

Стійкість синхронного двигуна

Синхронний двигун може випасти із синхронізму і загальмуватися, якщо гальмовий момент на його валові перевищить максимальний електромагнітний момент. Критерій стійкості синхронного двигуна дорівнює $\frac{dP_{\delta}}{ds} > 0$ (де δ – кут між векторами E U_{δ} синхронної машини). Максимальне значення потужності двигуна

$$P_{\delta.m} = \frac{EU_{\delta}}{x_{\delta}}. \quad (5.18)$$

При зниженні напруги мережі потужність падає, а коли навантаження $P_o = P_{\delta.m}$, настає порушення стійкості і двигун випадає із синхронізму, чому відповідає критична напруга

$$U_{кр} = \frac{P_o x_{\delta}}{E}. \quad (5.19)$$

Отже, збільшення завантаження двигуна ($P_o = n_3 P_n$) і зовнішнього опору ($x_{\Sigma} = x_{\delta} + x_3$) приводить до зниження стійкості, а збільшення ЕРС – до підвищення стійкості синхронного двигуна. Тому для підвищення стійкості

двигуна бажано зменшити його $\cos\phi$, припускаючи, що двигуни працюють з випереджальним $\cos\phi$.

Стійкість вузлів навантаження

Для вузлів навантаження, що містять асинхронні і синхронні двигуни, а також інші види електроприймачів, застосовують критерій стійкості, отриманий на основі статичних характеристик навантаження.

Широке застосування одержав критерій стійкості $\frac{dE_e}{dU} > 0$, що визначає стійкість вузла навантаження при малих відхиленнях ЕРС E_e еквівалентного генератора, що заміщає електричну систему, і напруга U на затискачах споживача.

Аналізувати стійкість вузлів навантаження за цим критерієм можна для тих вузлів навантаження, для яких статичні навантаження електроприймачів відомі. Для наближеної оцінки стійкості можна користуватися типовими характеристиками подібних по своєму складу електроприймачів (див. рис. 5.4).

При дослідженні стійкості за критерієм $\frac{dE_e}{dU} > 0$ задаються різними значеннями напруги на затискачах навантаження (U_n і менше) і визначають по статичним характеристикам відповідні значення активної P_n і реактивної Q_n потужностей навантаження, а по них – ЕРС і напруга системи і будують залежність $E_e = f(U)$.

Мінімум характеристики $E_e = f(U)$ дає критичні значення ЕРС системи $E_{кр}$ і напруги навантаження $U_{кр}$, при яких відбувається перекидання асинхронних двигунів (рис. 5.10). У залежності від значення зовнішнього опору x_z критичне напруження може знаходитися ліворуч або праворуч від точки O' . Отже, критичне напруження збільшується з ростом зовнішнього опору.

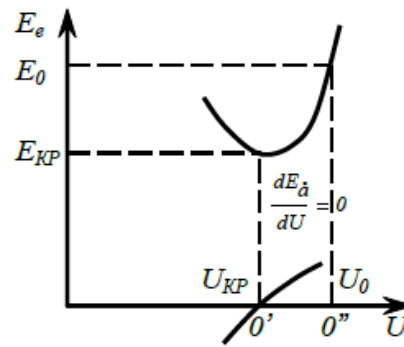


Рисунок 5.10 – Залежність ЕРС системи від напруги навантаження

Запас стійкості вузла навантаження може бути визначений як перевищення фактичного значення напруги над його критичним значенням, тобто значенням, при якому $\frac{dE_e}{dU} = 0$. Запас стійкості навантаження по вихідному і критичному значенням ЕРС еквівалентного генератора характеризує припустиму ступінь зниження напруги і виражається коефіцієнтом

$$K_3 = \frac{E_{e.o} - E_{e.kp}}{E_{e.o}} \cdot 100\%.$$

Значення коефіцієнта запасу вважається достатнім, якщо в нормальному режимі $K_3 \geq 20\%$, а в післяаварійному режимі $K_3 \geq 10\%$.

Включення в навантаження конденсаторів, що поліпшують $\cos\varphi$ і забезпечують підтримку напруги при зміні режиму, може різко погіршити стійкість (рис. 5.11).

У цьому випадку в складі потужності навантаження з'являється негативна складова $\frac{U_K^2}{x_K}$ і сумарна крива $\sum Q_n = f(U)$ виявляється положистою. У свою чергу ЕРС еквівалентного генератора при включенні конденсаторів знижується, що приводить до деформації характеристики $\sum Q_2$. У результаті запас стійкості навантаження при включенні конденсаторів зменшується.

Підвищити стійкість у цьому випадку можна, застосовуючи одночасно з поліпшенням $\cos\varphi$ статичними конденсаторами регулювання збудження на генераторах і збільшуючи в складі навантаження кількість синхронних

двигунів з регулюванням збудження. Завдяки цьому характеристики навантаження стають більш сприятливими у відношенні стійкості.

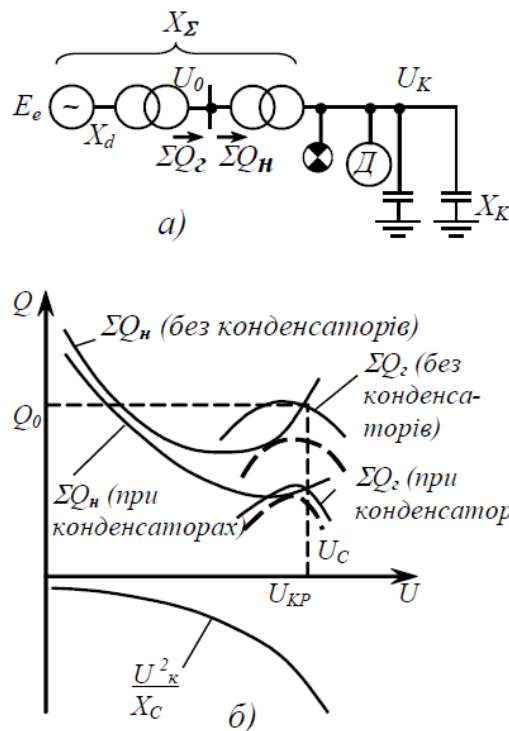


Рисунок 5.11 – Стійкість вузла навантаження:

а – схема системи; б – вплив конденсаторів на стійкість навантаження

При зменшенні опору зв'язку між джерелом (генератором) і двигунами, а також застосуванні регуляторів збудження, що забезпечують незмінність напруги на виході джерела, значення критичного напруження $U_{кр}$ буде зменшуватися, прагнучи до значення критичного напруження, визначеному безпосередньо на затисках двигуна.

5.4. Пуск і самозапуск двигунів

На режими вузлів навантажень електричних систем істотний вплив має пуск двигунів (рис. 5.12). Одночасний пуск значної кількості двигунів, порівнянних по сумарній потужності з потужністю іншої системи, може вплинути на її режим.

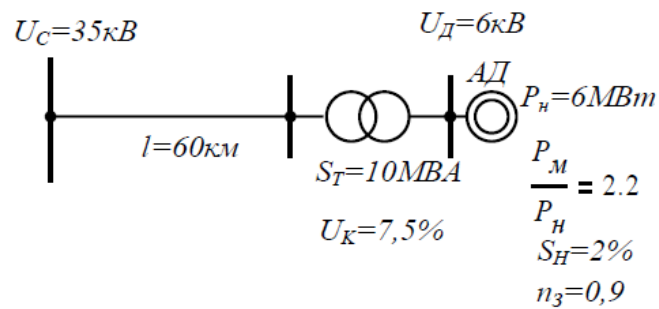


Рисунок 5.12 – Схема живлення вузла навантаження

Пуск двигунів у хід або пусковий режим електропривода, що входить до складу комплексного навантаження, –це процес переходу двигунів і відповідно робочих механізмів з нерухомого стану в стан обертання з нормальною швидкістю. Пуск двигунів відноситься до числа нормальних перехідних процесів. Протікання цих процесів залежить від схеми пуску двигуна. Існуючі способи пуску двигунів, що знижують напругу, що підводяться до двигуна, в основному зводяться до наступних (які викладені стосовно до синхронних двигунів) трьох: автотрансформаторний, реакторний і прямий пуск.

У системах, у яких потужності окремих навантажень порівнянні з потужністю системи, стійкість може порушитися при нормальних (з погляду експлуатації) режимах. Найбільш небезпечний у цьому випадку прямий пуск короткозамкнених асинхронних двигунів, що звичайно складають основну частину навантаження. Великий пусковий струм цих двигунів викликає різке зниження напруги в системі, що приводить до збільшення ковзання інших працюючих двигунів. Співвідношення завантаження двигунів і зниження напруги в мережі звичайно бувають такими, що реактивна потужність, споживана двигунами, зростає. Це викликає подальше зниження напруги і може привести до перекидання працюючих двигунів.

Самозапуск двигунів –це процес відновлення нормальної роботи двигунів після її короткочасного порушення, викликаного зникненням живлення (відключенням джерела напруги) або КЗ, що приводить до тимчасового зниження або зникнення напруги на шинах навантаження. Практичне завдання самозапуску полягає в тому, щоб не допустити масового відключення двигунів і забезпечити безперебійну роботу споживачів. Без автоматично здійснюваного

самозапуску можливо масове відключення двигунів і відповідне порушення виробничого процесу.

Самозапуск на відміну від пуску двигунів характерний тим, що:

- одночасно включається ціла група двигунів;
- у момент відновлення напруги (живлення) і початку самозапуску частина двигунів (або всі двигуни) обертається з деякою швидкістю;
- самозапуск, як правило, відбувається під навантаженням.

Самозапуск можна вважати забезпеченим, якщо при зниженій напрузі надлишковий момент двигунів достатній для доведення механізмів до номінальної швидкості і якщо за цей час нагрівання обмоток двигунів не досягне небезпечних значень.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Технологічні процеси на цементному заводі передбачають використання небезпечних та шкідливих виробничих факторів: електричної, теплової, механічної енергії, хімічних речовин. Технічні рішення в проекті прийняті з урахуванням вимог охорони праці [13].

6.1. Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Заходи з охорони праці

6.1.1. Повітря робочої зони

Роботи, що виконуються в приміщенні цеху за важкістю відносяться до категорії середньої важкості Пб. Параметри санітарних норм мікроклімату для приміщень категорії середньої важкості наведено в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху випалу.

Період року	Категорія робіт	Оптимальна температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Пб	17-19	40-60	0,2
Теплий	Пб	20-22	40-60	0,3

Метою забезпечення нормативних рівнів параметрів мікроклімату передбачено наступні заходи: механізація і автоматизація важких робіт; дистанційне управління процесами й апаратами; раціональне розміщення устаткування, агрегатів, наявність теплоізоляції устаткування, агрегатів, комунікації й інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

Проектом передбачено, що температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), зовнішніх поверхонь технологічного устаткування, огорожуючих конструкцій не повинна перевищувати більш ніж на 2 °C оптимальну температуру робочої зони в теплий період року і розраховується за формулою:

$$t_n = t_{omn} + 2^0 C,$$

де, t_n - температура зовнішніх поверхонь, t_{omn} - температура робочої зони в теплий період року.

В таблиці 6.2 наведено коротку санітарну характеристику виробничих приміщень цеху випалу клінкеру.

Таблиця 6.2 – Санітарна характеристика виробничих приміщень

1.	Назва виробничої дільниці	Санітарна характеристика
2.	Шкідливі речовини, що виділяються	CO, SO ₂
3.	Група шкідливої речовини, характеристика шкідливого впливу	Подразнюючі (вважають шляхи дихання, очі, шкіру, слизові оболонки), задушливі (викликають токсичний набряк легень)
4.	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³	5
5.	Клас небезпечності шкідливої речовини	II
6.	Засоби індивідуального захисту	Комплект спецодягу, респіратори, каски рукавиці, захисні окуляри
7.	Засоби долікарняної допомоги	Винесення потерпілого із зони отруєння та доступ свіжого повітря
8.	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Автоматичні стаціонарні газоаналізатори і сигналізатори
9.	Клас виробництва згідно з ДСП 173-96	I
10.	Санітарна група виробничого процесу згідно з ДБН в.2.2-28-2010	B

Для усунення шкідливого впливу пилу та хімічних речовин, що виділяються при випалу клінкеру, передбачено використання вентиляції припливно-витяжного типу. витяжна вентиляція сприяє видаленню перегрітого та забрудненого повітря з місця його утворення, припливна - оновлення повітря. передбачені витяжні зонти над оглядовими отворами печі і на ділянках з інтенсивним виділенням пилу: завантаження вугілля та сировини з конвеєра в бункер.

Для нормалізації температури повітря робочої зони передбачено теплоізоляцію обертової печі. У робочих зонах, де під час роботи працівники можуть піддаватися впливу інтенсивного інфрачервоного випромінювання (випал, сушка), передбачені душові, екрани та відповідні пристрої для захисту від теплових випромінювань. Контроль за вибухонебезпечністю газів, які відходять з обертових печей та сушильних установок, здійснюється автоматичними газоаналізаторами.

6.1.2. Виробниче освітлення

Згідно ДБН В.2.5-28:2018, у цеху випалу клінкеру виконуються роботи III а розряду зорових умов.

У приміщенні цеху передбачено використання природного, штучного, суміщеного та локалізованого освітлення. Природне освітлення являє собою комбіновану систему поєднання верхнього й бокового освітлення.

Штучне освітлення представлено системою, за якої, світильники розміщують у верхній зоні приміщення.

Джерелами штучного освітлення є:

- газорозрядні (люмінесцентні) лампи;
- вакуумні лампи розжарювання НВ

Проектом передбачені за функціональним призначенням наступні системи освітлення: робоча, аварійна, евакуаційна, ремонтна, охоронна. Для виконання ремонтних робіт передбачені переносні електричні світильники, при відключенні робочого освітлення передбачається система аварійного освітлення.

У вибухонебезпечних зонах проектом передбачене використання захищених від пилу люмінесцентних світильників. Контроль освітленості здійснюється люксометром Ю-116 не менше 1 разу на рік, а також після ремонту освітлювальних установок та заміни ламп.

6.1.3. Захист від виробничого шуму та вібрацій

Основними джерелами шуму та вібрації в цеху випалу клінкеру є вентилятори колосникових холодильників, вентилятори загального дуття та охолодження приводів решіток, рукавних фільтрів, пластинчаті конвеєри для транспортування клінкеру, електродвигуни та електроприводи обладнання, які обертаються з великою швидкістю.

У виробничих приміщеннях, згідно ДСН 3.3.6.036-99, допустимий рівень шуму становить 80 дБА. Допустимий рівень вібрації в приміщенні для 1-го ступеня шкідливості - до 3 дБ, для 2-ої ступені шкідливості - до 3,1 дБ, для 3-ї ступені шкідливості - більше 3,1 дБ. Дане виробництво належить до 3-го ступеня шкідливості за вібрацією. Для вимірювання шуму та вібрації використовується прилад ВШВ-003.

Для захисту від шуму робочі місця працівників, які обслуговують шумне устаткування, розміщені у звукоізованих приміщеннях або відокремлені звукоізованими перегородками чи екранами. Передбачено встановлення вентиляторів в вентиляторних камерах.

Для обладнання передбачено плаваючі фундаменти, а також віброізоляційні м'які вставки між нагнітаючими патрубками та трубами.

В якості індивідуальних засобів захисту від шуму передбачено м'які протишумові вкладки. Для захисту рук застосовують рукавиці з спеціальними віброзахисними вставками.

Для захисту від вібрацій, що передаються через ноги, передбачено взуття з гумовою підошвою.

6.1.5. Електробезпека

В проекті передбачено живлення від трифазної лінії чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю.

Можливі ураження електричним струмом в результаті дотику до відкритих струмопровідних елементів обладнання, що опинилися під напругою при порушенні ізоляції.

Для змінного струму із частотою 50 Гц гранично допустимі значення напруги дотику й струму, що проходить через тіло людини:

– при аварійному режимі: $U_{\text{дот}} = 36\text{В}$, $I_{\text{л}} = 6\text{мА}$;

– при нормальному режимі роботи електричного обладнання: $U_{\text{дот}} = 2\text{В}$, $I_{\text{л}} = 0,3\text{мА}$.

Знайдемо розрахункове значення струму і порівняємо його з гранично допустимим за формулою:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_0} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 110\text{мА},$$

$R_{\text{л}} = 1...4\text{кОм}$ - опір тіла людини; $R_0 = 4\text{Ом}$ - опір нейтралі заземлення;

$U_{\phi} = 220\text{В}$ - фазова напруга, В.

Напруга дотику розраховується за формулою:

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} = 0,11 \cdot 2004 = 220 \text{ В}.$$

Порівняння розрахункового значення $I_{\text{л}}$ та $U_{\text{дот}}$, з гранично допустимими значеннями, показує, що при порушенні правил безпеки можливі електричні травми з тяжкими наслідками.

Таблиця 6.5 – Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом

Ділянка	Категорія приміщення по електробезпеці.
Виробничий цех	Особливо небезпечне приміщення
Побутові приміщення	Приміщення без підвищеної небезпеки

Для забезпечення електробезпеки проектом передбачено наступні технічні заходи: занулення електроустаткування і захисне відключення, мала напруга, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, знаки безпеки, огорожувальні пристрої, блокування, попереджувальна сигналізація, попереджувальні плакати. також використовується подвійна ізоляція.

У виробничих приміщеннях передбачено періодичну перевірку обраних типів проводів, освітлювальної арматури, пускачів електродвигунів та іншого електроустаткування. Для забезпечення індивідуального захисту використовують діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, ізолюючі підставки, гумові килимки, тимчасові огороження, захисні окуляри.

6.1.6. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Виробництво цементу відноситься до небезпечних виробництв, оскільки процес відбувається при високих температурах і електричній напрузі.

Джерелом небезпеки на цементному заводі обертова піч, що працює при температурі 1450 °С. Загрозу для працюючих становлять мазутопроводи і газопроводи. У ході технологічного процесу, крім пилу, виділяються шкідливі оксиди вуглецю і сірки. Виробничі ділянки, розташовані на висоті до 10 м, небезпечні тим, що не виключають можливості падіння з висоти.

Рухомі частини устаткування будуть вмонтовані в корпусі, що виключає необхідність обгороджувати устаткування. відкриті рухомі частини устаткування, які розташовані на висоті до 2,5 м від рівня підлоги, або доступні

випадковому дотику, а також відкриті отвори повітроводів і патрубків систем вентиляції, будуть огорожені й захищені захисними кожухами та сітками.

До робочих місць буде вільний прохід, ширина для основних проходів - 2,5 м, для проходів між обладнанням - 1,2 м, для проходів між стінами виробничих будівель і обладнання - 1 м.

6.2. Пожежна безпека

На цементному заводі можливими джерелами пожежі є викид палива, зворотний удар полум'я з печі, нагріті стінки обладнання, перенавантаження електроустаткування, іскри від тертя деталей машин, виникнення електричної дуги при обриві ланцюгів високої напруги, перегрів електроустаткування.

Для запобігання прямих ударів блискавки споруди захищено стрижньовими блискавковідводами. Електричне обладнання закритого типу, яке встановлюють на заводі, має пило- та вологонепроникне виконання.

На заводі випалу клінкеру проектом передбачені наступні заходи пожежної безпеки: розділення споруди протипожежними перекриттями на відсіки, між спорудами існують протипожежні розриви 10 м, передбачені запасні виходи, протипожежний водопровід, пожежні крани, ємності з піском і пожежні щити, вогнегасники; захист ізоляції від теплового, механічного впливу, змонтована автоматична пожежна сигналізація. для попередження розповсюдження полум'я трубопроводи забезпечені вогнеперепонами.

Всі електроустановки оснащено плавкими запобіжниками від струмів короткого замикання. реалізовані вимоги запобігання утворення пожежо- і вибухонебезпечного середовища за рахунок автоматичного контролю повітря у виробничому приміщенні та герметизації апаратів: передбачено контрольні заміри вмісту CO, запобіжні противибухові клапани, забезпечено механізм вдування вуглекислого газу при перевищенні вмісту кисню в електрофільтрі.

Передбачені відключення вентиляційних установок на випадок виникнення пожежі.

Встановлюється охоронно - пожежна сигналізація автоматичного типу.

Для захисту електроустаткування від загоряння використовують регулярне технічне обслуговування, фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи було вдосконалено електропостачання цементного заводу, а також механічного цеху, який входить до складу даного підприємства. В процесі проектування були враховані основні характеристики приймачів електричної енергії. Розроблено і прораховані два варіанти електропостачання цеху (базовий і розроблений) і два варіанти для всього підприємства, з яких в кожному випадку був обраний найбільш відповідний і вигідний варіант, з урахуванням всіх технічних і економічних особливостей даного підприємства.

Для електропостачання підприємства розглянуто наступні варіанти: 1) з глибоким введенням та розташуванням головної понижувачої підстанції (ГПП) у ЦЕН; 2) ГПП та ЛЕП розташовуються за територією заводу.

Розраховані ЦЕН центри електричних навантажень цеху та всього підприємства. Для електропостачання заводу вигідніше варіант з розташуванням ГПП та ЛЕП за територією заводу, так як у глибокого введення є і свої недоліки. Що й відповідає плану заводу.

ЦЕН цеху опинилися приблизно в центрі цеху. Однак, за технологічним циклом та через розташування електроприймачів центральна підстанція (ЦТП) там розташовуватися не може. Тому ЦТП 2 перемістили від ЦЕН у бік джерела живлення на десять метрів та винесли за межі цеху №14.

У бакалаврській роботі мною було прораховано два варіанти схем електропостачання цеху (базова та розроблена). Варіант №1 – схема, виконана на виконана на силових пунктах, варіант №2 - схема, шинопроводах.

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що другий варіант схеми мережі (із застосуванням шинопроводів) більш економічний, ніж перший (із застосуванням силових пунктів), йому і віддамо перевагу.

На підстанції встановлен один трансформатор з розподільним пристроєм 0,4 кВ. На високій стороні ЦТП встановлено вимикачі навантаження з запобіжниками. Цехова трансформаторна підстанція живиться по двох кабельних лініях десять кіловольт від ГПП (ТМН-2500/110/11), кабельні лінії

прокладені в траншеях. ГПП винесено за межі підприємства. На високій стороні трансформаторів ГПП встановлено короткозамикачі і відокремлювачі, що дозволило відмовитися від вимикачів на стороні ВН. Розподільний пристрій на стороні НН скомпоновано з шаф КРУ2-10-20У3. В якості ввідних, міжсекційного і вимикачів ліній, що відходять, вибрані вакуумні вимикачі. Для захисту від перенапруження встановлені ОПН. Для зменшення стрибків напруги при виключенні вимикачі доповнюються РС - ланцюжками.

Внутрішньоцехове електропостачання виконано за схемою: кабелі (АВВГ) - вступні розподільні пристрої (ВРП з рубильником на введенні), кабелі - силові пункти (серії ПР-11 без вимикачів на вводі) - дроти (АПВ) - електроприймачі.

Кабелі в основному застосовують в радіальних мережах для живлення потужних зосереджених навантажень або вузлів навантажень. У разі прокладання кабелів всередині будівель їх розташовують відкритим способом по стінах, колонах, фермам і перекриттях, в трубах, прокладених в підлозі і перекриттях, каналах і блоках.

Найбільш поширеною в виробничих приміщеннях є прокладка кабелів в спеціальних каналах, якщо в одному напрямку прокладають велика кількість кабелів. В цьому випадку в підлозі цеху споруджують канал із залізобетону або цегли, який перекривають залізобетонними плитами або сталевими рифленими листами. Кабелі всередині каналу укладають на типові збірні конструкції, встановлені на бічних стінах. Переваги такої прокладки кабелів полягає в захисті їх від механічних пошкоджень, зручність огляду і ревізії в процесі експлуатації.

Перевірено необхідність компенсації реактивної потужності. Також враховані були струми короткого замикання в характерних точках системи, проаналізовано якість напруги цехової мережі і розраховані відхилення напруги для характерних електроприймачів. Розраховані і відбудовані уставки реле захисту: кабельних ліній розподільчої мережі підприємства; трансформаторів ГПП; повітряної лінії.

У спецчастині було проведено дослідження стійкість режиму електричної системи і вузлів навантаження.

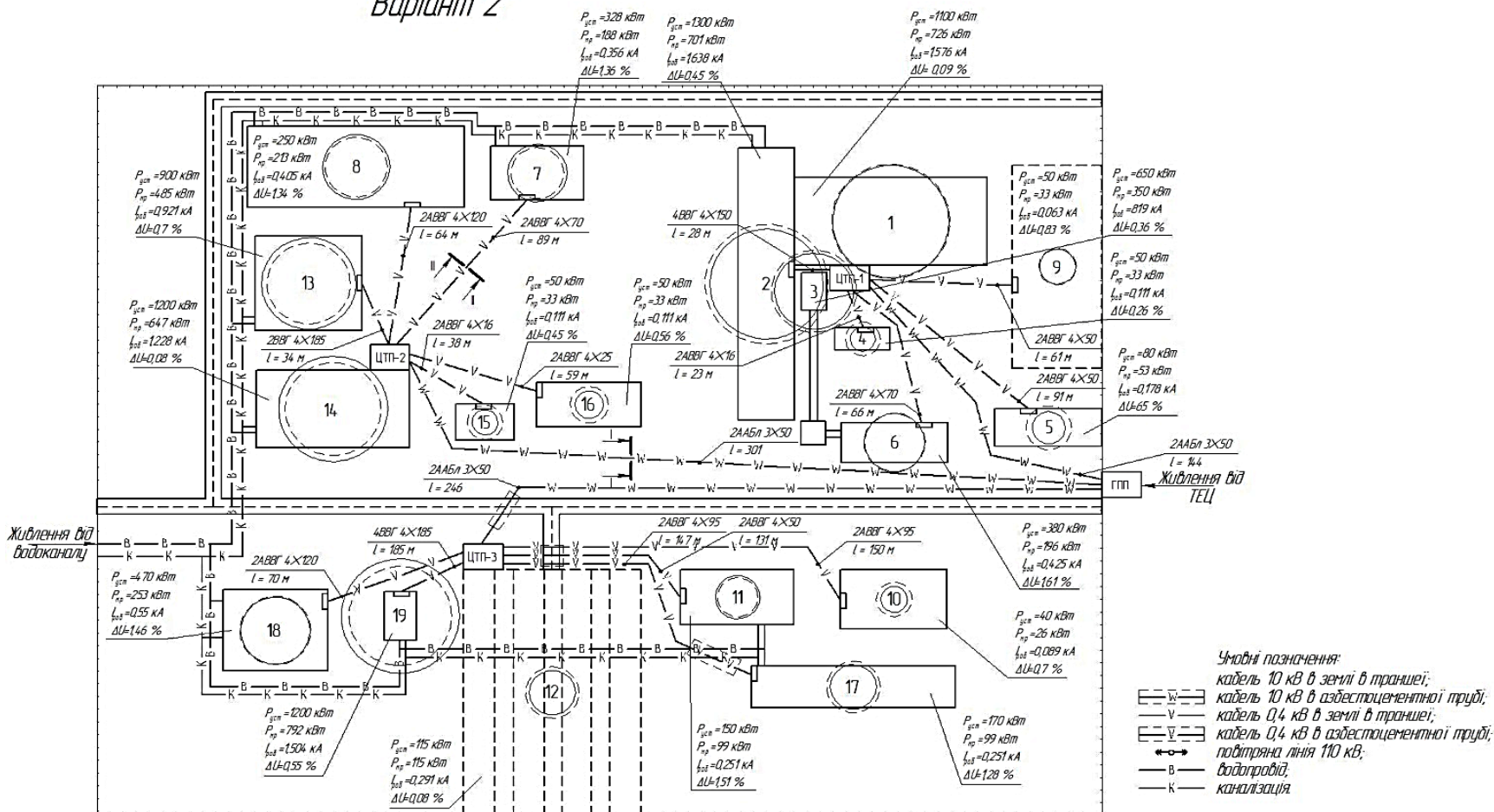
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво: Форт, 2017. 760 с.
2. Винославский В.Н. Переходные процессы в системах электроснабжения / В.Н. Винославский, Г.Г. Пивняк, Л.И. Несен, А.Я. Рыбалко, В.В. Прокопенко - Киев: Вища школа головное издательство, 1989.
3. Закон України про охорону праці (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, №49, ст. 668).
4. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. Киев: Техника, 1981. 465с.
5. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: Навчальний посібник з грифом МОН України. Вінниця: ВНТУ, 2005. 154 с.
6. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
7. Эксплуатация электрических систем (отдельные вопросы): учеб. пособ./ под ред. В.И. Гуль. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 200 с.
8. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту: навч. посіб. Харків: Вид-во «Точка», 2012. 340 с.
9. Павленко Т.П., Милых В.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособ. Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. 269 с.
10. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання пром. підприємств: підручник. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
11. Козирський В.В., Волошин С.М. Основи електропостачання: підручник. К.: Компринт, 2021. 497с.
12. PANSINI, Anthony J. Electrical distribution engineering. River Publishers, 2020.
13. НПАОП 26.5-1.02-14 «Правила охорони праці у цементній промисловості». Розробник: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України.

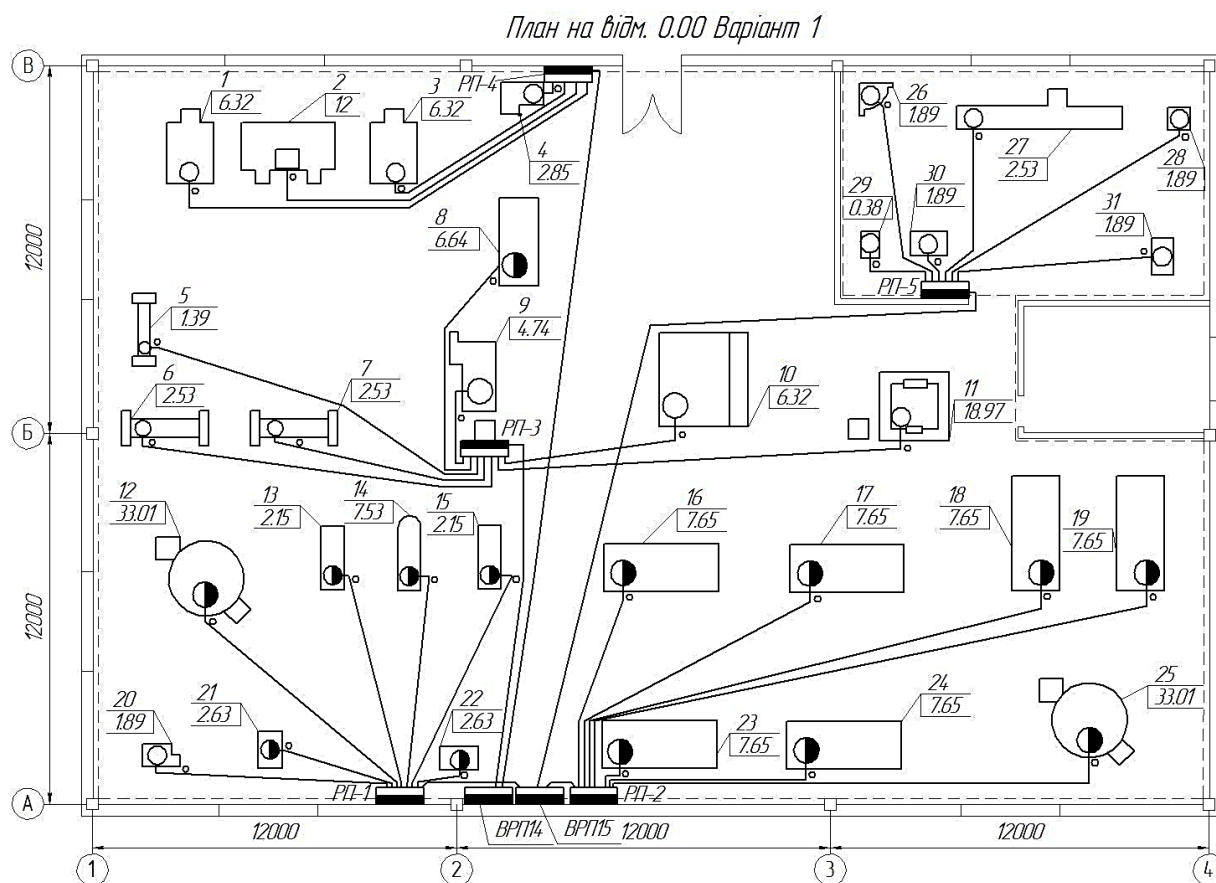
14. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. 540 с.
15. Жежеленко І.В., Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Саєнко Ю.Л. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання: підруч. Д.: НГУ, 2009.
16. Зорін В.В., Штогрин Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи: навч. посіб. Ніжин: ТОВ «Вид. «Аспект-Поліграф», 2011.
17. Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.И. Перехідні процеси в системах електропостачання. Д.: Вид. НГА України, 2000.
18. Винославский В.Н., Праховник А.В., Клеппель Ф., Бутц У. Проектирование систем электроснабжения: учеб. пособ. для вузов. К.: Вища школа. Гол. изд-во, 1981.
19. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. К.: Наук. думка, 1985.
20. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. К.: НТУУ «КПІ», 2012.

Додаток Б
ПЛАН ЗАВОДУ З РОЗВЕДЕННЯМ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ
варіант №2 (з розташуванням ГПП і ЛЕП за територією підприємства)

Варіант 2



Додаток С
СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ
варіант №1 (схема, виконана на силових пунктах)



Додаток Д
СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ
варіант №2 (схема, виконана на шинопроводах)

