

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Факультет інженерії**

**Кафедра електричної інженерії**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту (роботи)  
освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_ спеціаліст \_\_\_\_\_

галузі знань 14 електрична інженерія \_\_\_\_\_

спеціальності 141 електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_

Електропостачання ремонтно-механічного цеху  
верстатобудівного заводу з встановленою потужністю до 4,8МВА

Виконав: студент групи ЕСЕ-163с

\_\_\_\_\_  
Говоров М.А.  
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник

\_\_\_\_\_  
ст.викл. Голубєва С.М.  
(прізвище, та ініціали) (підпис)

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
доц. Жидков А.Б.  
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище, та ініціали) (підпис)

Сєвєродонецьк – 2018 р.

## РЕФЕРАТ

Записка пояснення містить: 101 стор. тексту, 11 рис., 32 табл.,  
11 бібл. найм.

ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ, ЦЕХОВА ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА,  
ЗНИЖУВАЛЬНА ПІДСТАНЦІЯ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ЦЕНТР  
ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, СИЛОВИЙ КАБЕЛЬ, СИЛОВІ ПУНКТИ,  
АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ, АВАРІЙНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ЗАПОБІЖНИК

У дипломному проєкті виконано розрахунок електропостачання цехової електричної мережі. Розроблені й прораховані два варіанти схем електропостачання верстатобудівного заводу, та ремонтно-механічного цеху.

Розраховані і обрані джерела живлення, комутаційно-захисна апаратура, кабельні лінії. Зроблено оцінку якості напруги в цеховій мережі.

Розраховані струми короткого замикання.

Виконано розрахунок електричного освітлення приміщень.

Виконані економічні розрахунки з метою визначення оптимального варіанта схеми, параметрів електромережі і її елементів.

## ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ. ВИБІР НАПРУГИ І ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	14
2.1. Розрахунок першого рівня електричних навантажень	14
2.2. Визначення центру електричних навантажень і вибір розташування цехової трансформаторної підстанції	16
2.3. Вибір перерізів кабельних ліній для електроприймачів першого рівня	19
2.4. Розрахунок другого рівня електричних навантажень	22
2.5. Розрахунок електричних навантажень напругою нижче 1000 В	25
РОЗДІЛ 3. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ З УРАХУВАННЯМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЦЕН, ВИБІР МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ТП	32
3.1. Розрахунок центру електричних навантажень підприємства, побудова картограми електричних навантажень	32
3.2. Вибір варіантів схем електропостачання на ВН	34
3.3. Вибір раціональної напруги і визначення перерізів проводів	42
3.4. Вибір трансформаторів на ГПП	43
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ВАРІАНТУ СХЕМ НА НИЗЬКІЙ СТОРОНІ НАПРУГИ	44
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	51
5.1. Розрахунок струмів КЗ на стороні ВН	53
5.2. Розрахунок струмів КЗ на стороні НН	54
РОЗДІЛ 6. ПЕРЕВІРКА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ НН І ВН	57
6.1. Перевірка устаткування 10 кВ	57

6.2. Перевірка устаткування 0,4 кВ	60
<b>РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ</b>	<b>62</b>
7.1. Світлотехнічний розрахунок освітлення ремонтно-механічного цеху	62
7.2. Електротехнічний розрахунок освітлення ремонтно-механічного цеху	67
7.3. Розрахунок освітлювального навантаження для інших цехів	72
<b>РОЗДІЛ 8. РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЕННЯ І МОЛНІЕЗАЩИТЫ</b>	<b>74</b>
<b>РОЗДІЛ 9. АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАПРУГИ ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ І РОЗРАХУНОК ВІДХИЛЕНЬ НАПРУГИ ДЛЯ ХАРАКТЕРНИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ</b>	<b>78</b>
9.1. Аналіз якості напруги для найпотужнішого електроприймача	79
9.2. Аналіз якості напруги для самого видаленого електроприймача	85
<b>РОЗДІЛ 10. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>92</b>
10.1. Техніко-економічне порівняння варіантів внутрішньоцехового електропостачання	92
10.2. Техніко-економічне порівняння варіантів внутрішньоцехового електропостачання	96
<b>Висновок</b>	<b>99</b>
<b>Список літератури</b>	<b>101</b>

## ВСТУП

Енергетичною програмою України передбачається подальший розвиток енергозберігаючої політики. Це диктує необхідність вдосконалення промислової електроенергетики: створення економічних і надійних систем електропостачання, автоматизованого електроприводу і систем управління.

Економія енергетичних ресурсів повинна здійснюватися шляхом переходу на енергозберігаючі технології виробництва; вдосконалення енергетичного устаткування; реконструкцію застарілого устаткування; скорочення усіх видів енергетичних втрат і підвищення рівня використання вторинних ресурсів; поліпшення структури виробництва; перетворення і використання енергетичних ресурсів.

Сучасна енергетика характеризується наростаючою централізацією виробництва і розподілу електроенергії.

Розвиток і ускладнення структури систем електропостачання, зростаючі вимоги до економічності і надійності їх роботи у поєднанні із структурою, що змінюється, і характером споживачів електроенергії, широке впровадження облаштувань управління розподілом і споживанням електроенергії на базі сучасної обчислювальної техніки ставлять проблему підготовки висококваліфікованих інженерів.

Найважливішим етапом в розвитку творчої діяльності майбутніх фахівців є дипломне проектування, в ході якого розвиваються навички самостійного рішення інженерних завдань і практичного застосування теоретичних знань. У області електропостачання споживачів ці завдання передбачають підвищення рівня проектно-конструкторських розробок, впровадження і раціональну експлуатацію високонадійного електроустаткування, зниження невиробничих витрат електроенергії при її передачі, розподілі і споживанні. При проектуванні систем електропостачання істотно проявляється взаємний вплив багатьох чинників, таких як якість електроенергії, вибір силових

трансформаторів, компенсація реактивної потужності та ін. Це стимулює студентів на розробку різноманітних технічних рішень, з яких оптимальні можуть бути отримані тільки в процесі творчої роботи.

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

## РАЗДЕЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

### ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ И ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Рассматривается станкостроительный завод (табл. 1.1, рис. 1.1.) в состав которого входит ремонтно-механический цех (№4), который выполняет функции вспомогательного производства.

Таблица 1.1

	Название цеха	Р, кВт	Ки	Кс	cosφ
1	2	3	4	5	6
1	Заводуправление	350	0,5	0,6	0,7
2	Столовая	350	0,5	0,6	0,9
3	Механосборочный цех	1400	0,35	0,45	0,75
4	Ремонтно-механический цех	332,88	0,3	0,4	0,7
5	Термический цех	2100	0,6	0,65	0,75
6	Склад	250	0,4	0,5	0,8

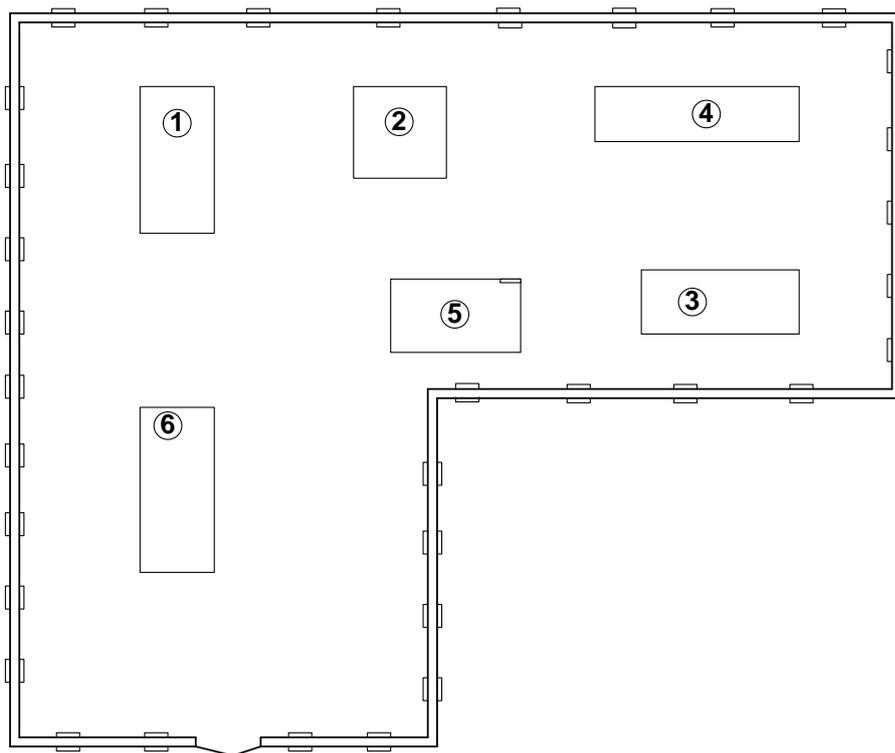


Рис. 1.1. Генеральный план предприятия

Расчетным является цех №4: Ремонтно-механический цех.

Проектируемый цех оснащен различными токарными станками, сварочными аппаратами, системой вентиляции воздуха. Все электроприемники относятся ко второй категории электроснабжения по ПУЭ.

Площадь ремонтно-механического цеха составляет: 825м<sup>2</sup>.

Общее количество электроприемников: 70 штук.

Все электроприемники рассчитаны на напряжение 400В, ток переменный трехфазный, частотой 50Гц. Отклонение напряжения не должно превышать ±5%.

Электроприемники относятся ко 2 категории электроснабжения, перерыв в электроснабжении которых приводит к значительному ущербу предприятия, массовому браку продукции, расстройству сложного технологического процесса, массовому недоотпуску продукции, простоям рабочих мест, механизмов и промышленного транспорта.

Самый мощный электроприемник: Электродпеч 60кВт (№70).

Самый маломощный электроприемник: Шлифовальный станок 1,1кВт (№12).

Перечень электроприемников представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2

№	Наименование	Р <sub>расп</sub> , кВт	ПВ	Кз	tgφ	cosφ
1	2	3	4	5	6	7
1	Копировальный станок	10,4	40	0,75	1,17	0,7
2	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	14,5	40	0,75	1,17	0,7
3	Токарно-винторезный станок	13	40	0,75	1,17	0,7
4	Токарно-винторезный станок	8	40	0,75	1,17	0,7
5	Универсальный круглошлифовальный станок	10,7	40	0,75	1,17	0,7
6	Плоскошлифовальный станок	12	40	0,75	1,17	0,7
7	Кругло-шлифовальный станок	2	40	0,75	1,17	0,7
8	Универсальный внутришлифовальный станок	15	40	0,75	1,17	0,7
9	Токарно-револьверный станок	18,5	40	0,75	1,17	0,7
10	Горизонтальный токарно-фрезерный станок	25	40	0,75	1,17	0,7
11	Универсальный вертикально сверлильный станок	2,5	40	0,75	1,17	0,7
12	Шлифовальный станок	1,1	40	0,75	1,17	0,7
13	Вертикальный настольный сверлильный станок	1,5	40	0,75	1,17	0,7
14	Вертикальный настольный сверлильный станок	1,5	40	0,75	1,17	0,7
15	Сверлильный станок	4	40	0,75	1,17	0,7
16	Сверлильный станок	4	40	0,75	1,17	0,7
17	Выпрямитель сварочный	32	25	0,65	1,17	0,7
18	Выпрямитель сварочный	32	25	0,65	1,17	0,7
19	Вентилятор	5,5	100	0,9	1,02	0,7

№	Наименование	Р <sub>расп</sub> , кВт	ПВ	Кз	tgφ	cosφ
1	2	3	4	5	6	7
20	Установка плазменной сварки	24	25	0,65	0,62	0,9
21	Полуавтомат заточный для дисковых пил	5	40	0,75	1,17	0,7
22	Универсальный заточной станок	4,5	40	0,75	1,17	0,7
23	Универсальный заточной станок	4,5	40	0,75	1,17	0,7
24	Токарно-винторезный станок	7,1	40	0,75	1,17	0,7
25	Горизонтальный фрезерный станок	12	40	0,75	1,17	0,7
26	Вентилятор	5,5	100	0,9	1,02	0,7
27	Вентилятор	5,5	100	0,9	1,02	0,7
28	Сушильный шкаф	10	100	0,9	0,48	0,9
29	Электродпечь сопротивления камерная	8,5	100	0,9	0,48	0,9
30	Компрессор	37	100	0,9	1,17	0,7
31	Компрессор	37	100	0,9	1,17	0,7
32	Обдирочно-шлифовальный станок	2,8	40	0,75	1,17	0,7
33	Обдирочно-шлифовальный станок	2,8	40	0,75	1,17	0,7
34	Вентилятор	5,5	100	0,9	1,17	0,7
35	Автомат абразивно-отрезной	33	40	0,75	1,17	0,7
36	Ножницы кривошипные	9	25	0,75	1,17	0,7
37	Ножницы кривошипные	18,5	25	0,75	1,17	0,7
38	Пресс однокривошипный	10	25	0,75	1,17	0,7
39	Пресс однокривошипный	15	25	0,75	1,17	0,7
40	Станок ножовочный	2,5	40	0,75	1,17	0,7
41	Станок ножовочный	2,5	40	0,75	1,17	0,7
42	Пресс ножницы комбинированные	4,8	25	0,75	1,17	0,7
43	Машина листогибочная	10,1	25	0,75	1,17	0,7
44	Станок отрезной круглопильный	10,1	40	0,75	1,17	0,7
45	Широко-универсальный фрезерный станок	10,3	40	0,75	1,17	0,7
46	Горизонтальный фрезерный станок	12	40	0,75	1,17	0,7
47	Горизонтальный фрезерный станок	12	40	0,75	1,17	0,7
48	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	14,5	40	0,75	1,17	0,7
49	Горизонтальный фрезерный станок	12	40	0,75	1,17	0,7
50	Универсальный консольный фрезерный станок	8	40	0,75	1,17	0,7
51	Токарно-винторезный станок	23	40	0,75	1,33	0,6
52	Токарно-винторезный станок	23	40	0,75	1,33	0,6
53	Токарно-винторезный станок	13	40	0,75	1,33	0,6
54	Токарно-винторезный станок	13	40	0,75	1,33	0,6
55	Токарно-винторезный станок	13	40	0,75	1,33	0,6
56	Токарно-винторезный станок	13	40	0,75	1,33	0,6
57	Токарно-винторезный станок повышенной точности	1,6	40	0,75	1,33	0,6
58	Токарно-винторезный станок	12	40	0,75	1,33	0,6
59	Токарно-винторезный станок	12	40	0,75	1,33	0,6
60	Токарно-винторезный станок	13	40	0,75	1,33	0,6
61	Токарно-винторезный станок	23	40	0,75	1,33	0,6
62	Токарно-винторезный станок	1,1	40	0,75	1,33	0,6
63	Координатно-расточной станок	10	40	0,75	1,33	0,6
64	Электродпечь	60	100	0,9	0,48	0,9
65	Электродпечь	24	100	0,9	0,48	0,9
66	Электродпечь	60	100	0,9	0,48	0,9
67	Электродпечь	8,5	100	0,9	0,48	0,9

№	Наименование	Ррасп, кВт	ПВ	Кз	tgφ	cosφ
1	2	3	4	5	6	7
68	Элетропечь	8,5	100	0,9	0,48	0,9
69	Элетропечь	25	100	0,9	0,48	0,9
70	Элетропечь	60	100	0,9	0,48	0,9

Напряжение каждого звена системы электроснабжения следует выбирать с учетом напряжений смежных звеньев для получения наиболее экономичного варианта электроснабжения предприятия в целом. Предпочтение при выборе вариантов следует отдавать варианту с более высоким напряжением даже при небольших экономических преимуществах низшего из сравниваемых напряжений.

Для питания крупных и особо крупных предприятий следует применять напряжения 110, 220, 330, 500 кВ. На первых ступенях распределения энергии на крупных предприятиях следует применять напряжение 110 и 220 кВ.

Рассмотрим следующие варианты питающего напряжения: 35 кВ, 20 кВ, 10 кВ, 6 кВ.

Напряжение 35 кВ применяют для питания предприятий средней мощности для полного или частичного внутриводского распределения электроэнергии при наличии:

- а) Крупных электроприемников на 35 кВ: мощных сталеплавильных печей, мощных ртутных выпрямительных установок;
- б) Удаленных нагрузок и других условий, требующих для питания потребителей повышенного напряжения
- в) Схемы "глубокого ввода" для питания группы подстанций 35/0,4 кВ малой и средней мощности.

Преимущество напряжения 20кВ по сравнению с напряжением 35кВ заключается в более простом устройстве сети и более дешевых коммутационно-защитных аппаратах. Но с другой стороны, повышение питающего напряжение уменьшает потери в питающих линиях.

По сравнению с напряжением 10 кВ при напряжении 20 кВ снижаются потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения и токи КЗ в

сетях. Необходимо отметить, что, несмотря на имеющиеся преимущества, применение напряжения 20 кВ сдерживается отсутствием электрооборудования на это напряжение.

Напряжения 10 кВ должно широко применяться для внутризаводского распределения энергии:

а) на крупных предприятиях с мощными двигателями, допускающими непосредственное присоединение к сети 10 кВ;

б) На предприятии небольшой и средней мощности при отсутствии или небольшом числе двигателей, которые могли бы непосредственно присоединены к напряжению 6 кВ.

Напряжение 6 кВ широко используют на промышленных предприятиях: на средних по мощности предприятиях — для питающих и распределительных сетей.

Напряжение 10 кВ является более экономичным по сравнению с напряжением 6 кВ. Напряжение 6 кВ допускается применять только в тех случаях, если на предприятии преобладают приемники электроэнергии с номинальным напряжением 6 кВ. Поскольку рассматриваемый в данном дипломном проекте ремонтно-механический цех не имеет приемников электроэнергии с номинальным напряжением 6 кВ, то целесообразно, выбирая между 6 и 10 кВ, остановить свой выбор на напряжении питания 10 кВ.

Так как на предприятии присутствуют электроприемники только на 0,4 кВ, то будет более целесообразным остановить свой выбор на напряжении 10 кВ. Использование этого напряжения значительно снижает потери электроэнергии в сети электроснабжения, по сравнению с напряжением 6 кВ, и из-за малой потребляемой мощности предприятием, получается выгодней по сравнению с напряжением 20 кВ.

## РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

### 2.1. Расчет первого уровня электрических нагрузок

Первым этапом проектирования системы электроснабжения является определение электрических нагрузок. Расчет заключается в определении расчётной мощности каждого электроприёмника в зависимости от режима работы (табл. 2.1.).

По значению электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и энергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты в систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надёжность работы электрооборудования.

Продемонстрируем расчет на примере одного электроприемника.

№13. Вертикальный настольный сверлильный станок.

Определим активную номинальную мощность:

Этот станок работает в повторно-кратковременном режиме.

ПВ- режим работы электроприемника, взят из таблицы №2.

$$P_{ном} = P_{наст} \cdot \sqrt{ПВ} = 1,5 \cdot \sqrt{0,4} = 0,95 \text{ кВт} \quad (2.1)$$

Электрическая нагрузка создаваемая одним ЭП (активная и реактивная):

$K_3$ -коэффициент загрузки (табл. 1.2).

$$P_{.м1} = K_3 \cdot P_{ном} = 0,75 \cdot 0,95 = 0,71 \text{ кВт} \quad (2.2)$$

$$Q_{.м1} = P_{.м1} \cdot \text{tg}\varphi = 0,71 \cdot 1,17 = 0,83 \text{ кВар} \quad (2.3)$$

Полная нагрузка создаваемая одним электроприемником.

$$S_{.м1} = \sqrt{P_{.м1}^2 + Q_{.м1}^2} = \sqrt{0,71^2 + 0,83^2} = 1,09 \text{ кВА} \quad (2.4)$$

Определим рабочий ток.

$$I_{.м1} = \frac{S_{.м1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,09 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1,66 \text{ А} \quad (2.5)$$

Определим пусковой ток.

$$I_{пуск} = K_{пуск} \cdot I_{.м1} = 5 \cdot 1,66 = 8,32 \text{ А} \quad (2.6)$$

где  $K_{пуск}$ - коэффициент запуска, зависит от условий пуска.

Таблица 2.1

№	Наименование	Рном, кВт	Рм, кВт	Qм1, кВАр	Sm1, кВА	Ин, А	Ипуск, А
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Копировальный станок	6,58	4,93	5,77	7,59	11,53	57,66
2	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	9,17	6,88	8,04	10,58	16,08	80,38
3	Токарно-винторезный станок	8,22	6,17	7,21	9,49	14,41	72,07
4	Токарно-винторезный станок	5,06	3,79	4,44	5,84	8,87	44,35
5	Универсальный круглошлифовальный станок	6,77	5,08	5,93	7,81	11,86	59,32
6	Плоскошлифовальный станок	7,59	5,69	6,65	8,76	13,31	66,53
7	Кругло-шлифовальный станок	1,26	0,95	1,11	1,46	2,22	11,09
8	Универсальный внутришлифовальный станок	9,49	7,12	8,32	10,95	16,63	83,16
9	Токарно-револьверный станок	11,7	8,78	10,3	13,5	20,51	102,6
10	Горизонтальный токарно-фрезерный станок	15,81	11,9	13,9	18,24	27,72	138,6
11	Универсальный вертикально сверлильный станок	1,58	1,19	1,39	1,82	2,77	13,86
12	Шлифовальный станок	0,7	0,52	0,61	0,8	1,22	6,1
13	Вертикальный настольный сверлильный станок	0,95	0,71	0,83	1,09	1,66	8,32
14	Вертикальный настольный сверлильный станок	0,95	0,71	0,83	1,09	1,66	8,32
15	Сверлильный станок	2,53	1,9	2,22	2,92	4,44	22,18
16	Сверлильный станок	2,53	1,9	2,22	2,92	4,44	22,18
17	Выпрямитель сварочный	16	10,4	12,2	16	24,31	121,6
18	Выпрямитель сварочный	16	10,4	12,2	16	24,31	121,6
19	Вентилятор	5,5	4,95	5,05	7,07	10,74	53,72
20	Установка плазменной сварки	12	7,8	4,83	9,18	13,94	69,71
21	Полуавтомат заточный для дисковых пил	3,16	2,37	2,77	3,65	5,54	27,72
22	Универсальный заточный станок	2,85	2,13	2,5	3,28	4,99	24,95
23	Универсальный заточный станок	2,85	2,13	2,5	3,28	4,99	24,95
24	Токарно-винторезный станок	4,49	3,37	3,94	5,18	7,87	39,36
25	Горизонтальный фрезерный станок	7,59	5,69	6,65	8,76	13,31	66,53
26	Вентилятор	5,5	4,95	5,05	7,07	10,74	53,72
27	Вентилятор	5,5	4,95	5,05	7,07	10,74	53,72
28	Сушильный шкаф	10	9	4,36	10	15,19	75,97
29	Электропечь сопротивления камерная	8,5	7,65	3,71	8,5	12,91	64,57
30	Компрессор	37	33,3	38,9	51,23	77,84	389,2
31	Компрессор	37	33,3	38,9	51,23	77,84	389,2
32	Обдирочно-шлифовальный станок	1,77	1,33	1,55	2,04	3,1	15,52
33	Обдирочно-шлифовальный станок	1,77	1,33	1,55	2,04	3,1	15,52
34	Вентилятор	5,5	4,95	5,79	7,62	11,57	57,85
35	Автомат абразивно-отрезной	20,87	15,7	18,3	24,08	36,59	182,9
36	Ножницы кривошипные	4,5	3,38	3,95	5,19	7,89	39,44
37	Ножницы кривошипные	9,25	6,94	8,11	10,67	16,22	81,08
38	Пресс однокривошипный	5	3,75	4,38	5,77	8,77	43,83
39	Пресс однокривошипный	7,5	5,63	6,58	8,65	13,15	65,74
40	Станок ножовочный	1,58	1,19	1,39	1,82	2,77	13,86
41	Станок ножовочный	1,58	1,19	1,39	1,82	2,77	13,86
42	Пресс ножницы комбинированные	2,4	1,8	2,1	2,77	4,21	21,04
43	Машина листогибочная	5,05	3,79	4,43	5,83	8,85	44,27
44	Станок отрезной круглопильный	6,39	4,79	5,6	7,37	11,2	55,99
45	Широко-универсальный фрезерный станок	6,51	4,89	5,71	7,52	11,42	57,1
46	Горизонтальный фрезерный станок	7,59	5,69	6,65	8,76	13,31	66,53
47	Горизонтальный фрезерный станок	7,59	5,69	6,65	8,76	13,31	66,53
48	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	9,17	6,88	8,04	10,58	16,08	80,38
49	Горизонтальный фрезерный станок	7,59	5,69	6,65	8,76	13,31	66,53

№	Наименование	Рном, кВт	Рм, кВт	Qм1, кВАр	Sm1, кВА	Ин, А	Ипуск, А
1	2	3	4	5	6	7	8
50	Универсальный консольный фрезерный станок	5,06	3,79	4,44	5,84	8,87	44,35
51	Токарно-винторезный станок	14,55	10,9	14,6	18,18	27,63	138,1
52	Токарно-винторезный станок	14,55	10,9	14,6	18,18	27,63	138,1
53	Токарно-винторезный станок	8,22	6,17	8,22	10,28	15,61	78,07
54	Токарно-винторезный станок	8,22	6,17	8,22	10,28	15,61	78,07
55	Токарно-винторезный станок	8,22	6,17	8,22	10,28	15,61	78,07
56	Токарно-винторезный станок	8,22	6,17	8,22	10,28	15,61	78,07
57	Токарно-винторезный станок повышенной точности	1,01	0,76	1,01	1,26	1,92	9,61
58	Токарно-винторезный станок	7,59	5,69	7,59	9,49	14,41	72,07
59	Токарно-винторезный станок	7,59	5,69	7,59	9,49	14,41	72,07
60	Токарно-винторезный станок	8,22	6,17	8,22	10,28	15,61	78,07
61	Токарно-винторезный станок	14,55	10,9	14,6	18,18	27,63	138,1
62	Токарно-винторезный станок	0,7	0,52	0,7	0,87	1,32	6,61
63	Координатно-расточной станок	6,32	4,74	6,32	7,91	12,01	60,06
64	Элетропечь	60	54	26,2	60	91,16	455,8
65	Элетропечь	24	21,6	10,5	24	36,46	182,3
66	Элетропечь	60	54	26,2	60	91,16	455,8
67	Элетропечь	8,5	7,65	3,71	8,5	12,91	64,57
68	Элетропечь	8,5	7,65	3,71	8,5	12,91	64,57
69	Элетропечь	25	22,5	10,9	25	37,98	189,9
70	Элетропечь	60	54	26,2	60	91,16	455,8
	<b>Итого</b>	<b>735,45</b>	<b>601</b>	<b>547</b>	<b>829,22</b>	<b>1260</b>	<b>6299</b>

## 2.2. Определение центра электрических нагрузок и выбор расположения цеховой трансформаторной подстанции

Расположение цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП) вблизи питаемых ими нагрузок позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электроэнергии и сократить протяженность цеховой электрической сети. Это приводит к уменьшению расхода проводникового материала и снижению потерь электроэнергии в СЭС.

Формулы для определения ЦЭН:

$$X = \frac{\sum_{n=1}^i P_i \cdot x_i}{\sum_{n=1}^i P_i}; Y = \frac{\sum_{n=1}^i P_i \cdot y_i}{\sum_{n=1}^i P_i}; \quad X = \frac{\sum_{n=1}^i Q_i \cdot x_i}{\sum_{n=1}^i Q_i}; Y = \frac{\sum_{n=1}^i Q_i \cdot y_i}{\sum_{n=1}^i Q_i}.$$

Координаты электроприемников представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

№	Наименование	X	Y	PX	PY	QX	QY
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Копировальный станок	1	30	7,59	227,70	11,53	345,90
2	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	1,5	28	15,87	296,24	24,12	450,24
3	Токарно-винторезный станок	0,6	27	5,69	256,23	8,65	389,07
4	Токарно-винторезный станок	2,3	27,3	13,43	159,43	20,40	242,15
5	Универсальный круглошлифовальный станок	2,3	26,5	17,96	206,97	27,28	314,29
6	Плоскошлифовальный станок	0,7	24	6,13	210,24	9,32	319,44
7	Кругло-шлифовальный станок	2,1	25	3,07	36,50	4,66	55,50
8	Универсальный внутришлифовальный станок	1,5	23	16,43	251,85	24,95	382,49
9	Токарно-револьверный станок	1,5	21	20,25	283,50	30,77	430,71
10	Горизонтальный токарно-фрезерный станок	1,6	20,2	29,18	368,45	44,35	559,94
11	Универсальный вертикально сверлильный станок	2,4	14,3	4,37	26,03	6,65	39,61
12	Шлифовальный станок	1	14,5	0,80	11,60	1,22	17,69
13	Вертикальный настольный сверлильный станок	0,5	13,5	0,55	14,72	0,83	22,41
14	Вертикальный настольный сверлильный станок	0,5	12	0,55	13,08	0,83	19,92
15	Сверлильный станок	0,5	10,5	1,46	30,66	2,22	46,62
16	Сверлильный станок	0,5	9,5	1,46	27,74	2,22	42,18
17	Выпрямитель сварочный	2,2	8,5	35,20	136,00	53,48	206,64
18	Выпрямитель сварочный	1,3	8,5	20,80	136,00	31,60	206,64
19	Вентилятор	1,5	7	10,61	49,49	16,11	75,18
20	Установка плазменной сварки	2,2	6,4	20,20	58,75	30,67	89,22
21	Полуавтомат заточный для дисковых пил	2,9	5,8	10,59	21,17	16,07	32,13
22	Универсальный заточной станок	1,2	5,1	3,94	16,73	5,99	25,45
23	Универсальный заточной станок	1,2	4	3,94	13,12	5,99	19,96
24	Токарно-винторезный станок	1,2	2,4	6,22	12,43	9,44	18,89
25	Горизонтальный фрезерный станок	2,3	1,3	20,15	11,39	30,61	17,30
26	Вентилятор	1,2	1	8,48	7,07	12,89	10,74
27	Вентилятор	2,5	2,3	17,68	16,26	26,85	24,70
28	Сушильный шкаф	2,3	3,5	23,00	35,00	34,94	53,17
29	Электродпечь сопротивления камерная	2,7	4,5	22,95	38,25	34,86	58,10
30	Компрессор	6	0,6	307,38	30,74	467,04	46,70
31	Компрессор	6	1,6	307,38	81,97	467,04	124,54
32	Обдирочно-шлифовальный станок	7,5	0,8	15,30	1,63	23,25	2,48
33	Обдирочно-шлифовальный станок	7,5	1,6	15,30	3,26	23,25	4,96
34	Вентилятор	4,9	5	37,34	38,10	56,69	57,85
35	Автомат абразивно-отрезной	5,8	3	139,66	72,24	212,22	109,77
36	Ножницы кривошипные	6	4,6	31,14	23,87	47,34	36,29
37	Ножницы кривошипные	6	5,8	64,02	61,89	97,32	94,08
38	Пресс однокривошипный	6	7,4	34,62	42,70	52,62	64,90
39	Пресс однокривошипный	6	9,3	51,90	80,45	78,90	122,30
40	Станок ножовочный	5,6	10,4	10,19	18,93	15,51	28,81
41	Станок ножовочный	4,2	10	7,64	18,20	11,63	27,70
42	Пресс ножницы комбинированные	3,1	10	8,59	27,70	13,05	42,10
43	Машина листогибочная	5,7	12,7	33,23	74,04	50,45	112,40
44	Станок отрезной круглопильный	3,3	13	24,32	95,81	36,96	145,60

№	Наименование	X	Y	PX	PY	QX	QY
1	2	3	4	5	6	7	8
45	Широко-универсальный фрезерный станок	5,6	14,5	42,11	109,04	63,95	165,59
46	Горизонтальный фрезерный станок	4,5	14,5	39,42	127,02	59,90	193,00
47	Горизонтальный фрезерный станок	6,4	20,8	56,06	182,21	85,18	276,85
48	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	4,9	20,8	51,84	220,06	78,79	334,46
49	Горизонтальный фрезерный станок	6,3	22,4	55,19	196,22	83,85	298,14
50	Универсальный консольный фрезерный станок	4,9	22,4	28,62	130,82	43,46	198,69
51	Токарно-винторезный станок	6,15	23,4	111,81	425,41	169,92	646,54
52	Токарно-винторезный станок	4,9	23,4	89,08	425,41	135,39	646,54
53	Токарно-винторезный станок	6,2	24,3	63,74	249,80	96,78	379,32
54	Токарно-винторезный станок	4,9	24,3	50,37	249,80	76,49	379,32
55	Токарно-винторезный станок	6,2	25,5	63,74	262,14	96,78	398,06
56	Токарно-винторезный станок	4,7	25,5	48,32	262,14	73,37	398,06
57	Токарно-винторезный станок повышенной точности	6,1	26,6	7,69	33,52	11,71	51,07
58	Токарно-винторезный станок	4,9	26,6	46,50	252,43	70,61	383,31
59	Токарно-винторезный станок	6,1	27,7	57,89	262,87	87,90	399,16
60	Токарно-винторезный станок	4,6	27,7	47,29	284,76	71,81	432,40
61	Токарно-винторезный станок	6	28,7	109,08	521,77	165,78	792,98
62	Токарно-винторезный станок	7	29	6,09	25,23	9,24	38,28
63	Координатно-расточной станок	5,9	30,5	46,67	241,26	70,86	366,31
64	Электропечь	5	19,5	640,00	2496,00	972,40	3792,36
65	Электропечь	5,7	17,7	136,80	424,80	207,82	645,34
66	Электропечь	5,4	15,5	691,20	1984,00	1050,19	3014,44
67	Электропечь	4,2	18,233	35,70	154,98	54,22	235,39
68	Электропечь	4,3	16,9	36,55	143,65	55,51	218,18
69	Электропечь	3	19,4	75,00	485,00	113,94	736,81
70	Электропечь	2,1	16,4	268,80	2099,20	408,41	3189,47
	ИТОГО			3273,32	12136,39	2697,88	9653,59

Значения координат для ЦЭН цеха:

$$X_p = 4,17;$$

$$Y_p = 15,46;$$

$$X_q = 4,24;$$

$$Y_q = 15,18.$$

По условиям технологического процесса мы не можем разместить ЦТП в указанном месте, поэтому выносим его за пределы здания, смещая в сторону подвода питания.

### 2.3. Выбор сечений кабельных линий для электроприемников первого уровня

Произведем выбор марки и сечения проводов для каждого электроприемника.

Необходимо подобрать такие сечения проводников, длительные нагрузки которых равны расчетным токам данного участка сети или больше их.

В ПУЭ (Правила устройства электроустановок) Глава 1.3. говорится: «Настоящая глава Правил распространяется на выбор сечений электрических проводников (неизолированные и изолированные провода, кабели и шины) по нагреву, экономической плотности тока и по условиям короны. Если сечение проводника, определенное по этим условиям, получается меньше сечения, требуемого по другим условиям (термическая и электродинамическая стойкость при токах КЗ, потери и отклонения напряжения, механическая прочность, защита от перегрузки), то должно приниматься наибольшее сечение, требуемое этими условиями».

При выборе сечений проводников должны выполняться следующие требования:

1. По длительно допустимому току:  $I_{Раб} < I_{Доп}$ .

2. По потере напряжения:

По нормам допускаются следующие пределы отклонений напряжения на зажимах токоприемников:

2.1. Для ламп освещения жилых зданий, аварийного и наружного освещения, выполненного светильниками  $\pm 5\%$  ;

2.2. Для электродвигателей  $\pm 5\%$  .

В связи с этим каждый участок линии необходимо проверить на допустимую потерю напряжения.

Потеря напряжения в трехфазной сети определяется по формулам:

а) в случае если к линии присоединен один приемник

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), B.$$

б) в случае, если к линии присоединено несколько приемников:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \sum_0^n I \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), B,$$

где  $I$  - ток протекающий по данному участку, А;  $r_0$  - удельное активное сопротивление 1 км, Ом/км, определяется по справочнику;  $x_0$  - удельное реактивное сопротивление 1 км, Ом/км, определяется по справочнику;  $l$  - длина линии, км.

В качестве примера произведем выбор сечения для одного электроприемника и проверим его на допустимую потерю напряжения:

№2. Горизонтальный консольно-фрезерный станок.

$$I_{\text{раб}} = 16,08 \text{ А.}$$

Выбираем кабель марки АВВГ, сечением 4 мм<sup>2</sup>.

$$I_{\text{доп}} = 27 \text{ А, } r_0 = 7,85 \text{ Ом/км, } x_0 = 0,12 \text{ Ом/км, } L = 11,4 \text{ м.}$$

$I_{\text{раб}} < I_{\text{доп}}$ , значит, кабель выдержит длительную токовую нагрузку.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 16,08 \cdot 11,4 \cdot (7,85 \cdot 0,65 + 0,12 \cdot 0,76)}{1000} = 1,6 \text{ В,}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{1,6 \cdot 100}{380} = 0,4\%.$$

Потери напряжения не превышают допустимые нормы.

Результаты расчетов для остальных электроприемников сведем в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

№	Ином, А	Сечение, мм <sup>2</sup>	Идоп, А	L, м	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	cosφ	sinφ	ΔU, В	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	11,53	4	27	15,9	7,85	0,12	0,65	0,760	1,649	0,434
2	16,08	4	27	11,4	7,85	0,12	0,65	0,760	1,649	0,434
3	14,41	4	27	10,1	7,85	0,12	0,65	0,760	1,309	0,345
4	8,87	4	27	6,7	7,85	0,12	0,65	0,760	0,535	0,141
5	11,86	4	27	4,1	7,85	0,12	0,65	0,760	0,437	0,115
6	13,31	4	27	6,52	7,85	0,12	0,65	0,760	0,781	0,205
7	2,22	4	27	1,9	7,85	0,12	0,65	0,760	0,038	0,010
8	16,63	4	27	3,98	7,85	0,12	0,65	0,760	0,595	0,157
9	20,51	4	27	4,27	7,85	0,12	0,65	0,760	0,788	0,207
10	27,72	6	32	7,61	4,9	0,12	0,65	0,760	1,197	0,315
11	2,77	4	27	4,9	7,85	0,12	0,65	0,760	0,122	0,032
12	1,22	4	27	8,31	7,85	0,12	0,65	0,760	0,091	0,024
13	1,66	4	27	10,36	7,85	0,12	0,65	0,760	0,155	0,041
14	1,66	4	27	12,62	7,85	0,12	0,65	0,760	0,188	0,050

№	Ином, А	Сечение, мм <sup>2</sup>	Идоп, А	L, м	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	cosφ	sinφ	ΔU, В	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	4,44	4	27	4,89	7,85	0,12	0,65	0,760	0,195	0,051
16	4,44	4	27	6,84	7,85	0,12	0,65	0,760	0,273	0,072
17	24,31	4	27	4,99	7,85	0,12	0,65	0,760	1,091	0,287
18	24,31	4	27	6,99	7,85	0,12	0,65	0,760	1,529	0,402
19	10,74	4	27	9,05	7,85	0,12	0,7	0,714	0,940	0,247
20	13,94	4	27	8,34	7,85	0,12	0,85	0,527	1,356	0,357
21	5,54	4	27	7,57	7,85	0,12	0,65	0,760	0,377	0,099
22	4,99	4	27	4,23	7,85	0,12	0,65	0,760	0,190	0,050
23	4,99	4	27	4,7	7,85	0,12	0,65	0,760	0,211	0,056
24	7,87	4	27	6,8	7,85	0,12	0,65	0,760	0,481	0,127
25	13,31	4	27	7,94	7,85	0,12	0,65	0,760	0,951	0,250
26	10,74	4	27	8,97	7,85	0,12	0,7	0,714	0,931	0,245
27	10,74	4	27	5,74	7,85	0,12	0,7	0,714	0,596	0,157
28	15,19	4	27	1,47	7,85	0,12	0,9	0,436	0,275	0,072
29	12,91	4	27	0,72	7,85	0,12	0,9	0,436	0,115	0,030
30	77,84	35	90	8,9	0,84	0,12	0,65	0,760	0,765	0,201
31	77,84	35	90	9	0,84	0,12	0,65	0,760	0,773	0,203
32	3,1	4	27	11,24	7,85	0,12	0,65	0,760	0,313	0,082
33	3,1	4	27	11,49	7,85	0,12	0,65	0,760	0,320	0,084
34	11,57	4	27	2,24	7,85	0,12	0,65	0,760	0,233	0,061
35	36,59	10	42	3,45	2,94	0,12	0,65	0,760	0,438	0,115
36	7,89	4	27	3,4	7,85	0,12	0,65	0,760	0,241	0,064
37	16,22	4	27	5,58	7,85	0,12	0,65	0,760	0,814	0,214
38	8,77	4	27	8,4	7,85	0,12	0,65	0,760	0,663	0,174
39	13,15	4	27	11	7,85	0,12	0,65	0,760	1,301	0,342
40	2,77	4	27	4,69	7,85	0,12	0,65	0,760	0,117	0,031
41	2,77	4	27	1	7,85	0,12	0,65	0,760	0,025	0,007
42	4,21	4	27	0,24	7,85	0,12	0,65	0,760	0,009	0,002
43	8,85	4	27	7,55	7,85	0,12	0,65	0,760	0,601	0,158
44	11,2	4	27	4,63	7,85	0,12	0,65	0,760	0,466	0,123
45	11,42	4	27	10,4	7,85	0,12	0,65	0,760	1,068	0,281
46	13,31	4	27	8,84	7,85	0,12	0,65	0,760	1,058	0,279
47	13,31	4	27	5,47	7,85	0,12	0,65	0,760	0,655	0,172
48	16,08	4	27	3,3	7,85	0,12	0,65	0,760	0,477	0,126
49	13,31	4	27	5,24	7,85	0,12	0,65	0,760	0,627	0,165
50	8,87	4	27	0,8	7,85	0,12	0,65	0,760	0,064	0,017
51	27,63	6	32	4,14	4,9	0,12	0,6	0,800	0,602	0,158
52	27,63	6	32	1,6	4,9	0,12	0,6	0,800	0,232	0,061
53	15,61	4	27	5,9	7,85	0,12	0,6	0,800	0,767	0,202
54	15,61	4	27	5,9	7,85	0,12	0,6	0,800	0,767	0,202
55	15,61	4	27	8,1	7,85	0,12	0,6	0,800	1,053	0,277
56	15,61	4	27	3,9	7,85	0,12	0,6	0,800	0,507	0,133
57	1,92	4	27	6,6	7,85	0,12	0,6	0,800	0,105	0,028
58	14,41	4	27	1,8	7,85	0,12	0,6	0,800	0,216	0,057
59	14,41	4	27	4,6	7,85	0,12	0,6	0,800	0,552	0,145
60	15,61	4	27	4,1	7,85	0,12	0,6	0,800	0,533	0,140
61	27,63	6	32	0,7	4,9	0,12	0,6	0,800	0,102	0,027
62	1,32	4	27	7,4	7,85	0,12	0,6	0,800	0,081	0,021
63	12,01	4	27	6,2	7,85	0,12	0,6	0,800	0,620	0,163
64	91,16	120	200	6,8	0,245	0,12	0,9	0,436	0,293	0,077
65	36,46	10	42	4,9	2,94	0,12	0,9	0,436	0,835	0,220
66	91,16	120	200	10,7	0,245	0,12	0,9	0,436	0,461	0,121
67	12,91	4	27	3,5	7,85	0,12	0,9	0,436	0,557	0,147
68	12,91	4	27	2,3	7,85	0,12	0,9	0,436	0,366	0,096
69	37,98	10	42	5,2	2,94	0,12	0,9	0,436	0,923	0,243
70	91,16	120	200	2,5	0,245	0,12	0,9	0,436	0,108	0,028



В графу 2 - Наименование электроприемников запитанных от ПР1.

54	Токарно-винторезный станок
55	Токарно-винторезный станок
56	Токарно-винторезный станок
57	Токарно-винторезный станок повышенной точности
58	Токарно-винторезный станок
59	Токарно-винторезный станок
60	Токарно-винторезный станок
61	Токарно-винторезный станок
62	Токарно-винторезный станок
63	Координатно-расточной станок

В графе 3 - записываем число электроприемников, 10.

В графу 4 по каждой группе записываются: в случае одинаковой мощности электроприемников – мощность одного электроприемника, в случае группы электроприемников разной мощности в графу через дефис записываем мощность наибольшего и наименьшего приемника в кВт, приведенная к ПВ=100% с учетом коэффициента загрузки.

В графу 5 в виде дроби записывается: в числителе суммарная приведенная к ПВ=100% установленная мощность только рабочих электроприемников в кВт.

В графу 6 записываем значение величины  $m$  равной отношению мощности наиболее мощного электроприемника к мощности наименее мощного электроприемника в группе.

В графы 7 и 8 записываются соответственно коэффициенты использования и коэффициенты мощности для групп электроприемников.

В графу 9 записываем среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяемую по формуле:

$$P_{CM} = K_{и.сп.в} \cdot P_{ном}, \text{ кВт.}$$

В графу 10 записываем среднюю реактивную нагрузку за наиболее загруженную смену в кВАр, определяемую по формуле:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot tg\varphi, \text{ кВАр}$$

В графу 6 заносится отношение максимальной и минимальной мощностей электроприемников по всему распределительному пункту, поскольку оно явно больше трех, то в графу записываем - >3.

В графы 7 и 8 заносятся значения средневзвешенных коэффициентов мощности и использования, определяемые по формулам:

$$\cos \varphi_{ср.в.} = \frac{P_{ном1} \cdot \cos \varphi_1 + P_{ном2} \cdot \cos \varphi_2 + \dots + P_{номn} \cdot \cos \varphi_n}{\sum_{i=1}^n P_{номi}},$$

$$K_{и.ср.в.} = \frac{P_{ном1} \cdot K_{и1} + P_{ном2} \cdot K_{и2} + \dots + P_{номn} \cdot K_{ин}}{\sum_{i=1}^n P_{номi}},$$

где индекс «i» обозначает номер группы (а не электроприемника),  $P_{номi}$  – в данном случае суммарная номинальная мощность «i-той» группы электроприемников в расчетном узле.

Графы 9 и 10 (средние активная и реактивная нагрузки в кВт и кВАр) подсчитываются аналогично как у групп электроприемников.

В графе 11 для РПЗ определяем значение эффективного числа электроприемников. Поскольку  $m > 3$  для РПЗ то эффективное число электроприемников определяем по формуле:

$$n_{э} = \frac{[\sum P_{номi}]^2}{\sum P_{номi}^2},$$

где индекс «i» обозначает номер группы (а не ЭП),  $P_{номi}$  – в данном случае суммарная номинальная мощность «i-той» группы ЭП в расчетном узле.

В графе 12 записываем коэффициент максимума, определяемый в зависимости от эффективного числа электроприемников и средневзвешенного коэффициента использования.

В графе 13 определяется максимальная активная нагрузка от силовых электроприемников узла, по формуле:

$$P_M = K_M \cdot P_{CM}.$$

В графе 14 определяется значение реактивной нагрузки от силовых электроприемников. При этом возможны два варианта:

$$a) n_{э} \leq 10 \quad Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM};$$

$$б) n_{э} > 10 \quad Q_M = Q_{CM}.$$

В графе 15 определяется максимальная полная нагрузка от силовых электроприемников по формуле:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \text{ кВА.}$$

В графе 16 определяется максимальное значение токовой нагрузки, определяемой по формуле:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} * U_{НОМ}}, \text{ А.}$$

Расчеты для других ЭП сведем в табл. 2.4.1 и табл. 2.4.2.

## 2.5. Расчет электрических нагрузок напряжением ниже 1000В

Расчетные нагрузки всех цехов предприятия, кроме ремонтно-механического цеха, определяются по установленной мощности и коэффициенту спроса (табл. 2.6).

Произведем расчет электрических нагрузок для здания заводоуправления.

Определим средние мощности (активные и реактивные) за наиболее загруженную смену:

$K_{И}$ -коэффициент использования, 0,5.

$$P_{СМ} = K_{И} \cdot P_{НОМ} = 0,5 \cdot 350 = 175 \text{ кВт}$$

$$Q_{СМ} = P_{СМ} \cdot \text{tg}(\arccos(\varphi)) = 175 \cdot 1,02 = 178,53 \text{ кВар}$$

Полная мощность за максимально загруженную смену:

$$S_{СМ} = \sqrt{P_{СМ}^2 + Q_{СМ}^2} = \sqrt{175^2 + 178,53^2} = 250 \text{ кВА}$$

Определим расчетную нагрузку (активную и реактивную):

$K_{С}$ -коэффициент спроса для данной характерной группы электроприемников, принимаемый по справочным данным,

$$P_M = K_C \cdot P_{НОМ} = 0,6 \cdot 350 = 210 \text{ кВт}$$

$$Q_M = P_M \cdot \text{tg}(\arccos(\varphi)) = 210 \cdot 1,02 = 214,24 \text{ кВар}$$

Определим полную расчетную мощность:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{210^2 + 214,24^2} = 300 \text{ кВА}$$

Таблица 2.6

№	Наименование цеха	P, кВт	Ки	Kc	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену			Максимальная расчетная нагрузка		
							Pсм, кВт	Qсм, кВар	Sсм, кВА	Pм, кВт	Qм, кВар	Sм, кВА
1	Заводоуправление	350	0,5	0,6	0,7	1	175,0	178,5	250,0	210,0	214,2	300,0
2	Столовая	350	0,5	0,6	0,9	0,5	175,0	84,8	194,4	210,0	101,7	233,3
3	Механосборочный цех	1400	0,4	0,5	0,8	0,9	490,0	432,1	653,3	630,0	555,6	840,0
4	Ремонтно-механический цех	735,4	0,3	0,4	0,7	1	332,9	339,6	475,5	491,8	301,4	576,9
5	Термический цех	2100	0,6	0,7	0,8	0,9	1260,0	1111,2	1680,0	1365,0	1203,8	1820,0
6	Склад	250	0,4	0,5	0,8	0,8	100,0	75,0	125,0	125,0	93,8	156,3
	Итого						2532,9	2221,2	3378,3	3031,8	2470,6	3926,4

Таблица 2.4.1

Вариант 1

№	Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП рабочих/резервных	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%, кВт		m=Rном.макс/Rном.мин	Коэффициент использования, Ки	cos(φ)/tg(φ)	Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		Эффективное число ЭП, nз=2*Rном_сум/Rном_м_акс	Коэффициент максимума, Км	Максимальная расчетная нагрузка			Iм, А		
			Рном (наибольшего - наименьшего)	Рном одного ЭП				Рном общая рабочих/резервных	Рсм=Ки*Rном, кВт			Qсм=Rсм*tg(φ), кВтАр	Sm, кВтА	Qм=(1,0...1,1) Qсм, кВтАр		Рм=Км*Rсм, кВт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
	<b>ПР-1</b>																
54	Токарно-винторезный станок	1	8,2	8,2	8,2	1	0,2	0,6	1,333	1,8	2,4						
55	Токарно-винторезный станок	1	8,2	8,2	8,2	1	0,2	0,6	1,333	1,8	2,4						
56	Токарно-винторезный станок	1	8,2	8,2	8,2	1	0,2	0,6	1,333	1,8	2,4						
57	Токарно-винторезный станок п.т.	1	1,0	1,0	1,0	1	0,1	0,6	1,333	0,1	0,2						
58	Токарно-винторезный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,6	1,333	1,7	2,2						
59	Токарно-винторезный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,6	1,333	1,7	2,2						
60	Токарно-винторезный станок	1	8,2	8,2	8,2	1	0,2	0,6	1,333	1,8	2,4						
61	Токарно-винторезный станок	1	14,5	14,5	14,5	1	0,2	0,6	1,333	3,2	4,3						
62	Токарно-винторезный станок	1	0,7	0,7	0,7	1	0,2	0,6	1,333	0,2	0,2						
63	Координатно-расточной станок	1	6,3	6,3	6,3	1	0,2	0,6	1,333	1,4	1,9						
	<b>Итого по ПР-1</b>	<b>10</b>	<b>14,5</b>	<b>0,7</b>	<b>70,6</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,6</b>	<b>1,33</b>	<b>15,5</b>	<b>20,6</b>	<b>9,7</b>	<b>1,8</b>	<b>28,4</b>	<b>22,68</b>	<b>36</b>	<b>55,3</b>
	<b>ПР-2</b>																
1	Копировальный станок	1	6,6	6,6	6,6	1	0,2	0,65	1,169	1,4	1,7						
2	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	1	9,2	9,2	9,2	1	0,2	0,65	1,169	2,0	2,4						
3	Токарно-винторезный станок	1	8,2	8,2	8,2	1	0,2	0,65	1,169	1,8	2,1						
4	Токарно-винторезный станок	1	5,1	5,1	5,1	1	0,2	0,65	1,169	1,1	1,3						
5	Универсальный круглошлифовальный станок	1	6,8	6,8	6,8	1	0,1	0,65	1,169	0,9	1,1						
6	Плоскошлифовальный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,65	1,169	1,7	2,0						
7	Кругло-шлифовальный станок	1	1,3	1,3	1,3	1	0,2	0,65	1,169	0,3	0,3						
8	Универсальный внутришлифовальный станок	1	9,5	9,5	9,5	1	0,1	0,65	1,169	1,3	1,6						
9	Токарно-револьверный станок	1	11,7	11,7	11,7	1	0,2	0,65	1,169	2,6	3,0						
10	Горизонтальный токарно-фрезерный станок	1	15,8	15,8	15,8	1	0,2	0,65	1,169	3,5	4,1						
	<b>Итого по ПР-2</b>	<b>10</b>	<b>15,8</b>	<b>15,8</b>	<b>15,8</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,65</b>	<b>1,17</b>	<b>16,7</b>	<b>19,5</b>	<b>10,0</b>	<b>1,8</b>	<b>30,7</b>	<b>21,43</b>	<b>37</b>	<b>56,9</b>
	<b>ПР-3</b>																
47	Горизонтальный фрезерный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,65	1,169	1,7	2,0						
48	Горизонтальный консольно-фрезерный станок	1	9,2	9,2	9,2	1	0,2	0,65	1,169	2,0	2,4						
49	Горизонтальный фрезерный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,65	1,169	1,7	2,0						

№	Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП рабочих/резервных	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%, кВт		m=Pном.макс/Pном.мин	Коэффициент использования, Ku	cos(φ)/tg(φ)	Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ=2*Pном_сум/Pном_м акс	Коэффициент максимума, Km	Максимальная расчетная нагрузка			Im, A		
			Рном одного ЭП (наибольшего - наименьшего)	Рном общая рабочих/резервных				Рсм=Ки*Pном, кВт	Qсм=Pсм*tg(φ), кВАр			Рм=Km*Pсм, кВт	Qм=(1.0...1.1) Qсм, кВАр	Sm, кВА			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
50	Универсальный консольный фрезерный станок	1	5,1	5,1	5,1	1	0,1	0,65	1,169	0,7	0,8						
51	Токарно-винторезный станок	1	14,5	14,5	14,5	1	0,2	0,6	1,333	3,2	4,3						
52	Токарно-винторезный станок	1	14,5	14,5	14,5	1	0,2	0,6	1,333	3,2	4,3						
53	Токарно-винторезный станок	1	8,2	8,2	8,2	1	0,2	0,6	1,333	1,8	2,4						
	<b>Итого по ПР-3</b>	<b>7</b>	<b>14,5</b>	<b>5,1</b>	<b>66,7</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,62</b>	<b>1,26</b>	<b>14,3</b>	<b>18,0</b>	<b>7,0</b>	<b>2,1</b>	<b>30,0</b>	<b>19,76</b>	<b>36</b>	<b>54,6</b>
	<b>ПР-4</b>																
64	Электродпечь	1	60,0	60,0	60,0	1	0,7	0,9	0,484	42,0	20,3						
65	Электродпечь	1	24,0	24,0	24,0	1	0,7	0,9	0,484	16,8	8,1						
67	Электродпечь	1	8,5	8,5	8,5	1	0,7	0,9	0,484	6,0	2,9						
68	Электродпечь	1	8,5	8,5	8,5	1	0,7	0,9	0,484	6,0	2,9						
69	Электродпечь	1	25,0	25,0	25,0	1	0,7	0,9	0,484	17,5	8,5						
	<b>Итого по ПР-4</b>	<b>5</b>	<b>60,0</b>	<b>8,5</b>	<b>126,0</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,48</b>	<b>88,2</b>	<b>42,7</b>	<b>4,2</b>	<b>1,3</b>	<b>113,8</b>	<b>46,99</b>	<b>123</b>	<b>187,3</b>
	<b>ПР-5</b>																
11	Универсальный вертикально сверлильный станок	1	1,6	1,6	1,6	1	0,1	0,65	1,169	0,2	0,3						
12	Шлифовальный станок	1	0,7	0,7	0,7	1	0,2	0,65	1,169	0,2	0,2						
13	Вертикальный настольный сверлильный станок	1	0,9	0,9	0,9	1	0,2	0,65	1,169	0,2	0,2						
14	Вертикальный настольный сверлильный станок	1	0,9	0,9	0,9	1	0,2	0,65	1,169	0,2	0,2						
44	Станок отрезной круглопильный	1	6,4	6,4	6,4	1	0,2	0,65	1,169	1,4	1,6						
70	Электродпечь	1	60,0	60,0	60,0	1	0,7	0,9	0,484	42,0	20,3						
	<b>Итого по ПР-5</b>	<b>6</b>	<b>60,0</b>	<b>0,7</b>	<b>70,6</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,86</b>	<b>0,59</b>	<b>44,2</b>	<b>25,9</b>	<b>2,4</b>	<b>1,4</b>	<b>61,9</b>	<b>28,51</b>	<b>68</b>	<b>103,6</b>
	<b>ПР-6</b>																
40	Станок ножовочный	1	1,6	1,6	1,6	1	0,22	0,65	1,169	0,3	0,4						
41	Станок ножовочный	1	1,6	1,6	1,6	1	0,22	0,65	1,169	0,3	0,4						
43	Машина листогибочная	1	5,1	5,1	5,1	1	0,35	0,65	1,169	1,8	2,1						
45	Широко-универсальный фрезерный станок	1	6,5	6,5	6,5	1	0,14	0,65	1,169	0,9	1,1						
46	Горизонтальный фрезерный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,22	0,65	1,169	1,7	2,0						
66	Электродпечь	1	60,0	60,0	60,0	1	0,70	0,90	0,484	42,0	20,3						
	<b>Итого по ПР-6</b>	<b>6</b>	<b>60,0</b>	<b>1,6</b>	<b>82,3</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,83</b>	<b>0,67</b>	<b>47,0</b>	<b>31,3</b>	<b>2,7</b>	<b>1,4</b>	<b>65,9</b>	<b>34,48</b>	<b>74</b>	<b>113,1</b>
	<b>ПР-7</b>																
15	Сверлильный станок	1	2,5	2,5	2,5	1	0,2	0,65	1,169	0,6	0,7						
16	Сверлильный станок	1	2,5	2,5	2,5	1	0,2	0,65	1,169	0,6	0,7						
17	Выпрямитель сварочный	1	16,0	16,0	16,0	1	0,3	0,65	1,169	4,8	5,6						

№	Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП рабочих/резервных	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%, кВт		m=Rном.макс/Rном.мин	Коэффициент использования, Ku	cos(φ)/tg(φ)	Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ=2*Rном_сум/Rном_м акс	Коэффициент максимума, Km	Максимальная расчетная нагрузка			Im, A		
			Rном одного ЭП (наибольшего - наименьшего)	Rном общая рабочих/резервных				Rсм=Ki*Rном, кВт	Qсм=Rсм*tg(φ), кВтАр			Rм=Km*Rсм, кВт	Qм=(1.0...1.1) Qсм, кВтАр	Sм, кВА			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
18	Выпрямитель сварочный	1	16,0	16,0	16,0	1	0,3	0,65	1,169	4,8	5,6						
19	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,7	1,02	3,6	3,6						
20	Установка плазменной сварки	1	12,0	12,0	12,0	1	0,4	0,85	0,62	4,2	2,6						
21	Полуавтомат заточный для дисковых пил	1	3,2	3,2	3,2	1	0,2	0,65	1,169	0,7	0,8						
42	Пресс ножницы комбинированные	1	2,4	2,4	2,4	1	0,4	0,65	1,169	0,8	1,0						
	<b>Итого по ПР-7</b>	<b>8</b>	<b>16,0</b>	<b>2,4</b>	<b>60,1</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,69</b>	<b>1,04</b>	<b>20,0</b>	<b>20,7</b>	<b>7,5</b>	<b>1,7</b>	<b>34,0</b>	<b>22,82</b>	<b>41</b>	<b>62,3</b>
	<b>ПР-8</b>																
22	Универсальный заточной станок	1	2,8	2,8	2,8	1	0,1	0,65	1,169	0,4	0,5						
23	Универсальный заточной станок	1	2,8	2,8	2,8	1	0,1	0,65	1,169	0,4	0,5						
24	Токарно-винторезный станок	1	4,5	4,5	4,5	1	0,2	0,65	1,169	1,0	1,2						
25	Горизонтальный фрезерный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,65	1,169	1,7	2,0						
26	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,7	1,02	3,6	3,6						
27	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,7	1,02	3,6	3,6						
28	Сушильный шкаф	1	10,0	10,0	10,0	1	0,6	0,9	0,484	5,5	2,7						
29	Электродпечь сопротивления камерная	1	8,5	8,5	8,5	1	0,6	0,9	0,484	4,7	2,3						
	<b>Итого по ПР-8</b>	<b>8</b>	<b>10,0</b>	<b>2,8</b>	<b>47,3</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,76</b>	<b>0,86</b>	<b>20,8</b>	<b>17,8</b>	<b>8,0</b>	<b>1,5</b>	<b>31,2</b>	<b>19,58</b>	<b>37</b>	<b>56,0</b>
	<b>ПР-9</b>																
30	Компрессор	1	37,0	37,0	37,0	1	0,7	0,65	1,169	24,1	28,1						
31	Компрессор	1	37,0	37,0	37,0	1	0,7	0,65	1,169	24,1	28,1						
32	Обдирочно-шлифовальный станок	1	1,8	1,8	1,8	1	0,2	0,65	1,169	0,4	0,5						
33	Обдирочно-шлифовальный станок	1	1,8	1,8	1,8	1	0,2	0,65	1,169	0,4	0,5						
34	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,65	1,169	3,6	4,2						
35	Автомат абразивно-отрезной	1	20,9	20,9	20,9	1	0,2	0,65	1,169	4,6	5,4						
36	Ножницы кривошипные	1	4,5	4,5	4,5	1	0,4	0,65	1,169	1,6	1,8						
37	Ножницы кривошипные	1	9,3	9,3	9,3	1	0,4	0,65	1,169	3,2	3,8						
38	Пресс однокривошипный	1	5,0	5,0	5,0	1	0,4	0,65	1,169	1,8	2,0						
39	Пресс однокривошипный	1	7,5	7,5	7,5	1	0,4	0,65	1,169	2,6	3,1						
	<b>Итого по ПР-9</b>	<b>10</b>	<b>37,0</b>	<b>1,8</b>	<b>130,2</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,65</b>	<b>1,17</b>	<b>66,2</b>	<b>77,4</b>	<b>7,0</b>	<b>1,5</b>	<b>96,0</b>	<b>85,18</b>	<b>128</b>	<b>195,3</b>
	<b>ИТОГО по варианту №1</b>	<b>70</b>								<b>332,9</b>	<b>274,0</b>			<b>491,8</b>	<b>301,4</b>	<b>581</b>	<b>884,4</b>

Таблица 2.4.2

Вариант 2

№	Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП рабочих/резервных	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%, кВт		n=R <sub>ном.макс</sub> /R <sub>ном.мин</sub>	Коэффициент использования, Ки	cos(φ)/lg(φ)		Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		Эффективное число ЭП, n=2*R <sub>ном.сум</sub> /R <sub>ном.макс</sub>	Коэффициент максимума, К <sub>м</sub>	Максимальная расчетная нагрузка		
			R <sub>ном одного ЭП (наибольшего - наименьшего)</sub>	R <sub>ном общая рабочих/ резервных</sub>					R <sub>см=Ки*R<sub>ном, кВт</sub></sub>	Q <sub>см=R<sub>см</sub>*lg(I), кВтАр</sub>			S <sub>м, кВтА</sub>	Q <sub>м=(1.0...1.1)Q<sub>см, кВтАр</sub></sub>	R <sub>м=К<sub>м</sub>*R<sub>см, кВт</sub></sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>ШРА-1</b>														
11	Универсальный вертикально сверлильный станок	1	1,6	1,6	1,6	1	0,1	0,65	1,169	0,221	0,259				
12	Шлифовальный станок	1	0,7	0,7	0,7	1	0,2	0,65	1,169	0,153	0,179				
13	Вертикальный настольный сверлильный станок	1	0,9	0,9	0,9	1	0,2	0,65	1,169	0,209	0,244				
14	Вертикальный настольный сверлильный станок	1	0,9	0,9	0,9	1	0,2	0,65	1,169	0,209	0,244				
15	Сверлильный станок	1	2,5	2,5	2,5	1	0,2	0,65	1,169	0,557	0,651				
16	Сверлильный станок	1	2,5	2,5	2,5	1	0,2	0,65	1,169	0,557	0,651				
17	Выпрямитель сварочный	1	16,0	16,0	16,0	1	0,3	0,65	1,169	4,8	5,612				
18	Выпрямитель сварочный	1	16,0	16,0	16,0	1	0,3	0,65	1,169	4,8	5,612				
19	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,7	1,02	3,575	3,647				
20	Установка плазменной сварки	1	12,0	12,0	12,0	1	0,4	0,85	0,62	4,2	2,603				
21	Полуавтомат заточный для дисковых пил	1	3,2	3,2	3,2	1	0,2	0,65	1,169	0,696	0,813				
22	Универсальный заточной станок	1	2,8	2,8	2,8	1	0,1	0,65	1,169	0,398	0,466				
23	Универсальный заточной станок	1	2,8	2,8	2,8	1	0,1	0,65	1,169	0,398	0,466				
24	Токарно-винторезный станок	1	4,5	4,5	4,5	1	0,2	0,65	1,169	0,988	1,155				
25	Горизонтальный фрезерный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,2	0,65	1,169	1,67	1,952				
26	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,7	1,02	3,575	3,647				
27	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,7	1,02	3,575	3,647				
28	Сушильный шкаф	1	10,0	10,0	10,0	1	0,6	0,9	0,484	5,5	2,664				
29	Электродпечь сопротивления камерная	1	8,5	8,5	8,5	1	0,6	0,9	0,484	4,675	2,264				
30	Компрессор	1	37,0	37,0	37,0	1	0,7	0,65	1,169	24,05	28,12				
31	Компрессор	1	37,0	37,0	37,0	1	0,7	0,65	1,169	24,05	28,12				
32	Обдирочно-шлифовальный станок	1	1,8	1,8	1,8	1	0,2	0,65	1,169	0,39	0,455				
33	Обдирочно-шлифовальный станок	1	1,8	1,8	1,8	1	0,2	0,65	1,169	0,39	0,455				
34	Вентилятор	1	5,5	5,5	5,5	1	0,7	0,65	1,169	3,575	4,18				
35	Автомат абразивно-отрезной	1	20,9	20,9	20,9	1	0,2	0,65	1,169	4,592	5,368				

№	Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП рабочих/резервных	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%, кВт		m=Rном.макс/Rном.мин	Коэффициент использования, Ки	cos(φ)/lg(φ)	Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		Эффективное число ЭП, n=2*Rном_сум/Rном_макс	Коэффициент максимума, Км	Максимальная расчетная нагрузка			Iм.А		
			Rном одного ЭП (наибольшего - наименьшего)	Rном общая рабочих/ резервных				Rсм=Ки*Rном, кВт	Qсм=Rсм*lg(I), кВтАр			Rм=Км*Rсм, кВт	Qм=(1.0..1.1)Qсм, кВтАр	Sм, кВА			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
36	Ножницы кривошипные	1	4,5	4,5	4,5	1	0,4	0,65	1,169	1,575	1,841						
37	Ножницы кривошипные	1	9,3	9,3	9,3	1	0,4	0,65	1,169	3,238	3,785						
38	Пресс однокривошипный	1	5,0	5,0	5,0	1	0,4	0,65	1,169	1,75	2,046						
39	Пресс однокривошипный	1	7,5	7,5	7,5	1	0,4	0,65	1,169	2,625	3,069						
40	Станок ножовочный	1	1,6	1,6	1,6	1	0,22	0,65	1,169	0,348	0,407						
41	Станок ножовочный	1	1,6	1,6	1,6	1	0,22	0,65	1,169	0,348	0,407						
42	Пресс ножницы комбинированные									0,84	0,982						
43	Машина листогибочная	1	5,1	5,1	5,1	1	0,35	0,65	1,169	1,768	2,066						
44	Станок отрезной круглопильный									1,405	1,643						
45	Широко-универсальный фрезерный станок	1	6,5	6,5	6,5	1	0,14	0,65	1,169	0,912	1,066						
46	Горизонтальный фрезерный станок	1	7,6	7,6	7,6	1	0,22	0,65	1,169	1,67	1,952						
	<b>Итого по ШРА-1</b>	<b>36</b>	<b>37,0</b>	<b>0,7</b>	<b>270,4</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,67</b>	<b>1,1</b>	<b>114</b>	<b>125,4</b>	<b>14,6</b>	<b>1,3</b>	<b>149</b>	<b>125,4</b>	<b>194</b>	<b>295,7</b>
	<b>ПР-1</b>																
65	Элегрпечь	1	24,0	24,0	24,0	1	0,7	0,9	0,484	16,8	8,137						
66	Элегрпечь	1	60,0	60,0	60,0	1	0,70	0,90	0,484	42	20,34						
67	Элегрпечь	1	8,5	8,5	8,5	1	0,7	0,9	0,484	5,95	2,882						
	<b>Итого по ПР-1</b>	<b>3</b>	<b>60,0</b>	<b>8,5</b>	<b>92,5</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,48</b>	<b>64,8</b>	<b>31,36</b>	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	<b>83,5</b>	<b>34,50</b>	<b>90</b>	<b>137,5</b>
	<b>ПР-2</b>																
68	Элегрпечь	1	8,5	8,5	8,5	1	0,7	0,9	0,484	5,95	2,882						
69	Элегрпечь	1	25,0	25,0	25,0	1	0,7	0,9	0,484	17,5	8,476						
70	Элегрпечь	1	60,0	60,0	60,0	1	0,7	0,9	0,484	42	20,34						
	<b>Итого по ПР-2</b>	<b>3</b>	<b>60,0</b>	<b>8,5</b>	<b>93,5</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,48</b>	<b>65,5</b>	<b>31,7</b>	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	<b>84,4</b>	<b>34,87</b>	<b>91</b>	<b>139</b>
	<b>ИТОГО по варианту №2</b>	<b>70</b>								<b>332,9</b>	<b>295,8</b>			<b>435</b>	<b>312,8</b>	<b>543</b>	<b>826,5</b>



РАЗДЕЛ 3. ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ  
С УЧЕТОМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ,  
КАРТОГРАММА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРЕДПРИЯТИЯ, ЦЭН,  
ВЫБОР МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТП

**3.1. Расчет центра электрических нагрузок предприятия для определения ЦЭН, построение картограммы электрических нагрузок**

В целях экономии металла и электроэнергии важно, чтобы трансформаторные и преобразовательные подстанции всех мощностей и напряжений (6-10, 35, 110-220 кВ) располагались, возможно, ближе к центру питаемых ими групп нагрузок.

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) определяются из соотношений

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

где  $p_i$  – мощность  $i$ -го электроприемника,  $x_i$  и  $y_i$  – его координаты (оси ординат можно наносить на план цеха или завода произвольно).

При нахождении ЦЭН предприятия под  $p_i$  подразумевают расчетную нагрузку  $i$ -го цеха, а под  $x_i$  и  $y_i$  – координаты ЦЭН  $i$ -го цеха. Т.к. ЦЭН каждого цеха не рассчитываются, то приближенно полагаем, что ЦЭН каждого цеха расположен в геометрическом центре плоской фигуры цеха.

Результаты расчетов по определению ЦЭН предприятия сведем в таблицу .

Для наглядного представления распределения нагрузок по территории завода и выбора мощности и типа ТП и РП, применяем картограмму нагрузок, которая представляет собой размещенные на генплане предприятия окружности, причем площади ограниченные этими окружностями, в выбранном масштабе равны расчетным нагрузкам цехов. Для каждого цеха наносим свою окружность, центр которой совпадает с ЦЭН цеха. Радиус окружности определяется из выражения

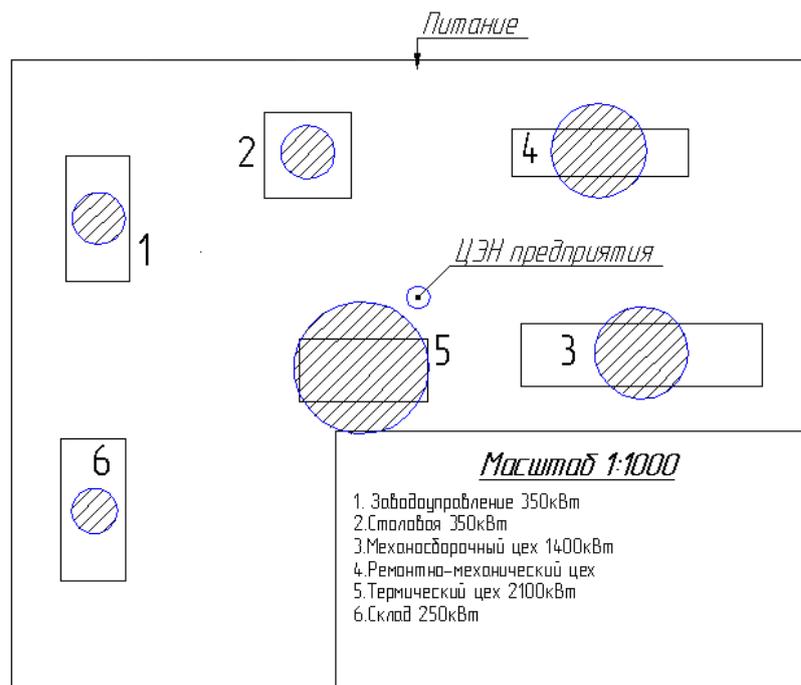
$$r_i = \sqrt{\frac{P_{mi}}{\pi \cdot m}},$$

где  $P_{mi}$  – расчетная нагрузка  $i$ -го цеха;  $m$  – масштаб для определения площади круга (постоянный для всех цехов предприятия). Результаты расчета радиусов окружностей приведены в табл. 3.1.

Силовую нагрузку до и выше 1000 В изобразим отдельными кругами или секторами в круге. Осветительную нагрузку наносим совместно с кругами, изображающим нагрузку до 1000 В.

Таблица 3.1

№ Цеха по генплану	Название цеха	Активная расчетная мощность цеха $P_m$ , кВт	Реактивная расчетная нагрузка цеха $Q_m$ , кВАр	Координата X	Координата Y	$P \cdot X$ , кВт*м	$P \cdot Y$ , кВт*м	$Q \cdot X$ , кВАр*м	$Q \cdot Y$ , кВАр*м	Масштаб	Радиус окружности на картограмме
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Заводоуправление	229,5	241,0	90	280	20656,5	64264,7	21685,6	67466,3	1	8,5
2	Столовая	218,9	113,9	156	300	34149,1	65671,4	17767,4	34168,0	1	8,3
3	Механосборочный цех	648,3	580,6	260	240	168557,2	155591,3	150968,2	139355,2	1	14,4
4	Ремонтно-механический цех	701,9	401,1	240	300	168454,7	210568,3	96272,6	120340,7	1	15,0
5	Термический цех	1374,8	1217,2	170	230	233708,9	316194,4	206919,1	279949,3	1	20,9
6	Склад	131,6	102,8	90	180	11842,8	23685,6	9248,8	18497,5	1	6,5
	Итого	3308,0	2660,6			637376,2	835983,7	502870,5	659787,1		
	Координаты ЦЭН предприятия					$X_p$	$Y_p$	$X_q$	$Y_q$		
						192,6797	252,719	189,009	247,988		



### 3.2. Выбор вариантов схем электроснабжения на ВН

Разработаем два варианта схем электроснабжения ВН.

#### *Первый вариант.*

Примем три комплектные трансформаторные подстанции и распределим нагрузку по этим подстанциям следующим образом. Здания ЦТП будем располагать в виде пристроек, смещая их к источнику питания.

Таблица 3.2

№ Цеха по генплану	Номер ЦТП (цеховая трансформаторная подстанция)	Средняя нагрузка $P_{см}$ , кВт	Средняя нагрузка $Q_{см}$ , кВАр	Полная средняя нагрузка цеха $S_{м}$ , кВА
1	2	3	4	5
	ЦТП №1			
1	Заводоуправление	194,5	205,2	282,8
2	Столовая	183,9	96,9	207,9
6	Склад	106,6	84,0	135,7
	Итого	436,5	347,6	563,7
	ЦТП №2			
4	Ремонтно-механический цех	348,2	361,7	502,1
	ЦТП №3			
3	Механосборочный цех	508,3	457,2	683,7
5	Термический цех	1269,8	1124,6	1696,2
	Итого	1778,1	1581,7	2141,8

Выбор цеховых трансформаторов будем производить по расчетной нагрузке за максимально загруженную смену.

Произведем расчет на примере ЦТП №2. Для которой примем двухтрансформаторную подстанцию.

$$S_{ном.тр.р} = \frac{S_{CP.M}}{n \cdot K_{заг}}$$

где  $n$  – количество трансформаторов;  $K_{заг}$  – коэффициент загрузки, принимаем 0,7;

$$S_{ном.тр.р} = \frac{502,1}{2 \cdot 0,7} = 358,6 \text{ кВА}.$$

Принимаем два трансформатора ТМЗ-400/10.

Проверим трансформаторы на перегрузочную способность

$$1,4 \cdot S_{ном.тр} \geq S_{CP.M}, \quad 1,4 \cdot 400 \geq 502,1.$$

Проверка на перегрузочную способность пройдена успешно.

Определим реальный коэффициент загрузки трансформаторов:

$$K_{\text{загр.реал}} = \frac{S_{\text{СР.М}}}{n \cdot S_{\text{ном.тр.р}}} = \frac{502,1}{2 \cdot 400} = 0,63.$$

Результаты расчетов для остальных ЦТП сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

№ Цеха по генплану	Номер ЦТП (цеховая трансформаторная подстанция)	Средняя нагрузка Р <sub>см</sub> , кВт	Средняя нагрузка Q <sub>см</sub> , кВАр	Полная средняя нагрузка цеха S <sub>м</sub> , кВА	Коэффициент загрузки	Количество трансформаторов, п	Расчетная мощность трансформатора, кВА	Номинальная мощность принятого трансформатора, кВА	Реальный коэффициент загрузки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ЦТП №1								
1	Заводуправление	194,5	205,2	282,8					
2	Столовая	183,9	96,9	207,9					
6	Склад	106,6	84,0	135,7					
	Итого	436,5	347,6	563,7	0,7	2	402,7	400	0,70
	ЦТП №2								
4	Ремонтно-механический цех	348,2	361,7	502,1	0,7	2	358,6	400	0,63
	ЦТП №3								
3	Механосборочный цех	508,3	457,2	683,7	0,7				
5	Термический цех	1269,8	1124,6	1696,2	0,7				
	Итого	1778,1	1581,7	2141,8	0,7	2	1529,9	1600	0,67

Определим максимальную нагрузку третьего уровня.

В качестве примера рассчитаем нагрузку для ЦТП №2.

$$P_{III} = (P_{MN\#2} + P_{Oca\#2}) = 491,84 + 15,4 = 507,2 \text{ кВт},$$

где  $P_{MN\#2}$  - нагрузка второго уровня;  $P_{Oca\#2}$  - осветительная нагрузка.

$$Q_{III} = (Q_{MN\#2} + Q_{Oca\#2}) = 301,42 + 22,1 = 323,5 \text{ кВАр},$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2} = \sqrt{507,2^2 + 323,5^2} = 601,6 \text{ кВА}.$$

Результаты для остальных ЦТП представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Номер ЦТП	Максимальная нагрузка Р <sub>м</sub> , кВт	Максимальная нагрузка Q <sub>м</sub> , кВАр	Максимальная нагрузка S <sub>м</sub> , кВА
1	2	3	4
ЦТП №1	522,01	411,85	664,9
ЦТП №2	507,2	323,5	601,6
ЦТП №3	2023,1	1797,8	2706,5
Итого	3052,3	2533,2	3973

Произведем расчет потерь активной и реактивной мощности в выбранных трансформаторах.

Номер ЦТП		Рхх, кВт	Ркз,кВт	Ихх, %	U, %
ЦТП №1	ТМЗ-400	0,95	5,5	2,1	4,5
ЦТП №2	ТМЗ-400	0,95	5,5	2,1	4,5
ЦТП №3	ТМЗ-1600	2,1	11,6	1,4	6,5

В качестве примера определим потери в трансформаторах для ЦТП№2

$$\Delta P_{TP} = \frac{\Delta P_K}{n} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}^2} + n \cdot \Delta P_x = \frac{5,5}{2} \cdot \frac{601,6^2}{400^2} + 2 \cdot 0,95 = 8,12 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{TP} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{ном}} + \frac{n \cdot I_{хх\%}}{100} \cdot S_{ном} = \frac{5,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{601,6^2}{250} + \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 400}{100} = 37,15 \text{ кВар},$$

$$\Delta S_{TP} = \sqrt{\Delta P_{TP}^2 + \Delta Q_{TP}^2} = \sqrt{8,12^2 + 37,15^2} = 38,03 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов потерь в других трансформаторах представим в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Номер ЦТП		Потери активной мощности, кВт	Потери реактивной мощности, кВар	Потери полной мощности, кВА
1	2	3	4	5
ЦТП №1	ТМЗ-400	9,49877	41,669	42,73765
ЦТП №2	ТМЗ-400	8,12094	37,159	38,03646
ЦТП №3	ТМЗ-1600	20,7955	193,59	194,7008

### **Компенсация реактивной мощности.**

Определим наибольшую реактивную мощность, которую можно передать через трансформаторы в сеть 0,4кВ. (Расчет ведем для ЦТП №2).

$$Q_{max.T} = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{н.тр})^2 - P_{см.р}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 348,2^2} = 438,55 \text{ кВар}.$$

Определим мощность конденсаторных установок:

$$Q_{нк1} = Q_{см} + Q_{p.o.} + \Delta Q_{mp} - Q_{max.T} = 361,7 + 37,159 - 438,55 = -39,7 \text{ кВар}.$$

Определим мощность конденсаторных установок для снижения потерь мощности в трансформаторах. Определим дополнительную мощность компенсирующих устройств для снижения потерь в трансформаторах. Где  $\gamma$  – расчётный коэффициент, зависящий от расчётных параметров Кр1 и Кр2.

$$Q_{нк2} = Q_{см} - Q_{нк1} - \gamma N_{онт} S_{ном} = 361,7 - 0,62 \cdot 2 \cdot 400 = -57,44 \text{ кВар},$$

$Q_{нк2} < 0$ , поэтому компенсация реактивной мощности для снижения потерь в трансформаторе не требуется.

Результаты расчетов компенсации реактивной мощности для остальных КТП представим в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Номер ЦТП	Наибольшая реактивная мощность которая может быть передана из сети 6кВ в 0,4кВ	Расчетная мощность конденсаторных установок, кВАр	Расчетный коэффициент	Дополнительная мощность конденсаторных установок, для снижения потерь мощности, кВАр
1	2	3	4	5
ЦТП №1	350,801	38,4	0,62	-183,64684
ЦТП №2	438,5545	-39,7	0,62	-57,445494
ЦТП №3	1362,395	412,9	0,62	-1034,5459

Определим нагрузку четвертого уровня, которая складывается из нагрузки третьего уровня и потерь в цеховых трансформаторах.

Произведем расчет для ЦТП№2.

$$P_{4VP} = P_{3VP} + \Delta P_{TR} = 507,2 + 8,12 = 515,33 \text{ кВт},$$

$$Q_{4VP} = Q_{3VP} + \Delta Q_{TR} = 323,5 + 37,159 = 360,17 \text{ кВАр},$$

$$S_{4VP} = \sqrt{P_{4VP}^2 + Q_{4VP}^2} = \sqrt{515,33^2 + 360,17^2} = 629,03 \text{ кВА}.$$

Нагрузка четвертого уровня представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7

Номер КТП	Максимальная нагрузка PIV, кВт	Максимальная нагрузка QIV, кВАр	Максимальная нагрузка SIV, кВА
1	2	3	4
ЦТП №1	531,51	378,52	652,51
ЦТП №2	515,33	360,71	629,03
ЦТП №3	2043,85	1491,40	2530,14
ЦТП №4	3090,69	2533,21	3811,68
Итого	531,51	378,52	652,51

Произведем выбор питающих кабельных линий от ГПП до ЦТП.

Определим расчетный длительный ток кабельной линии ГПП-ЦТП№2 в нормальном режиме:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{IV}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{629,0}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 18,2 \text{ А}.$$

Определим расчетный длительный ток кабельной линии в аварийном режиме:

$$I_{\text{max.p}} = \frac{S_{IV}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{629,0}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}.$$

Выбираем сечение жил кабельных линий, учитывая допустимую перегрузку в аварийном режиме при прокладке кабелей в одной траншее. Принимаем время ликвидации аварии максимальным (6ч), а коэффициент загрузки линии в нормальном режиме 0,6. В соответствии с [1, табл. 3.3] допустимая перегрузка составляет 1,2. Коэффициент снижения токовой нагрузки  $K_{с,н}$  принимаем по таблице равным 0,9.

Допустимый ток кабельных линий определяем из соотношения:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{max,p}}{(1,25 \cdot K_{сн})},$$

$$I_{доп} \geq \frac{36,4}{(1,25 \cdot 0,9)},$$

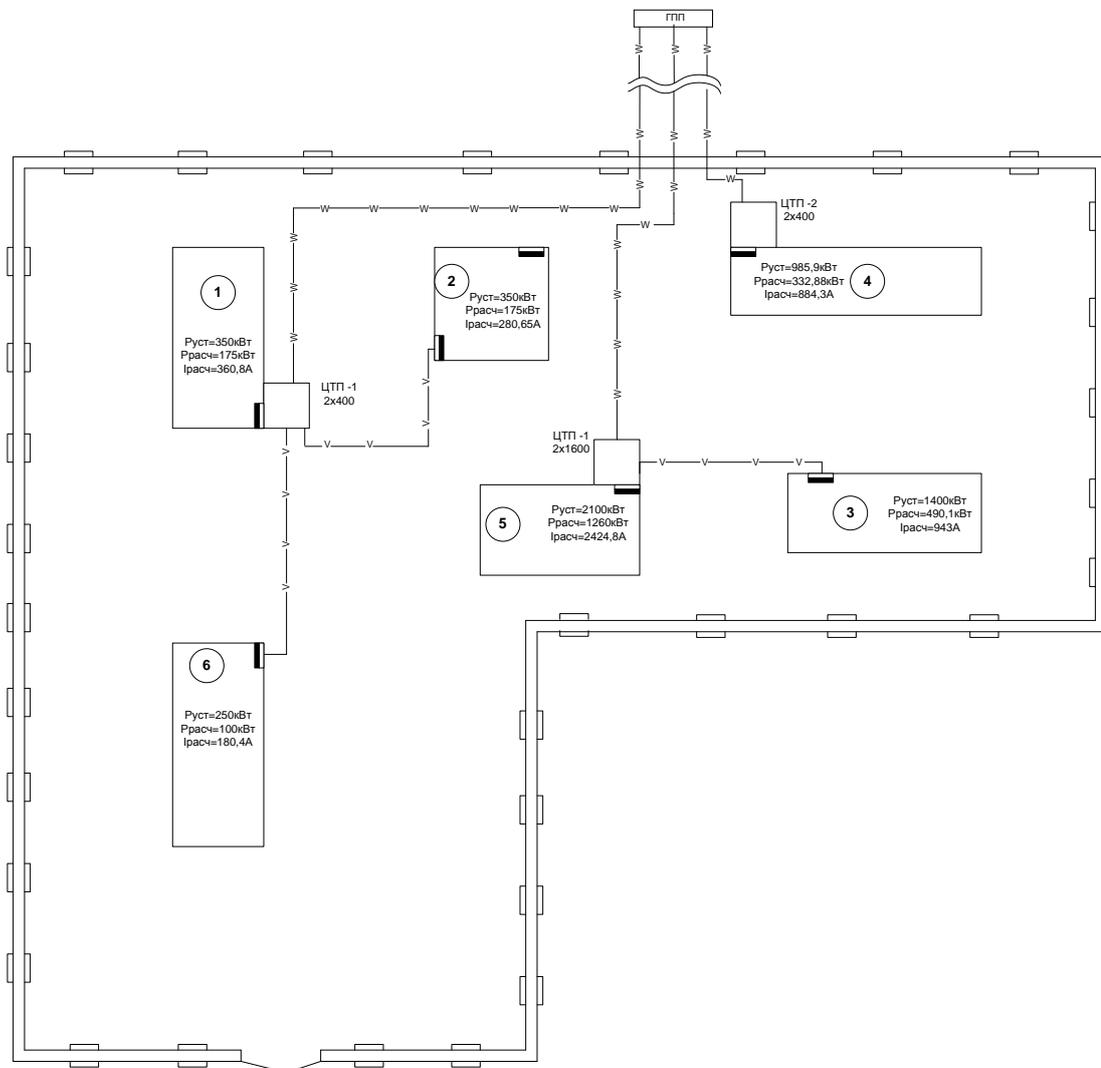
$$I_{доп} \geq 33,6 \text{ A}.$$

Принимаем сечение кабельной линии  $3 \times 10 \text{ мм}^2$  ( $I_{доп}=40 \text{ A}$ ), выполненной кабелем ААБл.

Результаты расчетов других кабельных линий сведем в таблицу 3.8.

Таблица 3.8

Номер ЦТП	Максимальная активная нагрузка, Рм, кВт	Максимальная реактивная нагрузка Qм, кВАр	Максимальная полная нагрузка Sm, кВА	Расчетный ток в нормальном режиме Ip, А	Расчетный ток в аварийном режиме Imax,p, А	Imax,p с учетом коэфф. снижения токовой нагрузки, А	Марка кабеля	Сечение, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Удельное активное сопротивление, Ом/км	Удельное реактивное сопротивление, Ом/км	Допустимый ток, Iдоп, А
ГПП-ЦТП№1	531,5	378,5	652,5	18,8	37,7	34,9	ААБл	10	220	2,94	0,122	40
ГПП-ЦТП№2	515,3	360,7	629,0	18,2	36,3	33,6	ААБл	10	160	2,94	0,122	40
ГПП-ЦТП№3	2043,9	1491,4	2530,1	73,0	146,1	135,3	ААБл	70	198	0,42	0,086	150

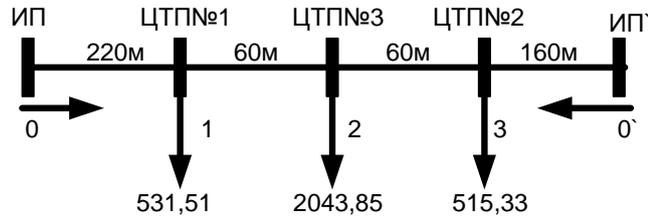


### Второй вариант.

Отличие второго варианта заключается только в том, что ЦТП №3 запитана по кольцевой схеме, от шин 10кВ ЦТП №1 и ЦТП№2. Питание по кольцевой схеме требуется, чтобы обеспечить необходимую надежность в энергоснабжении потребителей 2 категории, которые подключены к ЦТП№3.

Так других отличий нет, поэтому нужно пересчитать только параметры кабельных линий.

Определим потокораспределение мощностей для замкнутой цепи. Для этого разрежем цепь по источнику питания.



Мощность передаваемая по участку ИП-ЦТП№1:

$$P_{ИП-ЦТП№1} = \frac{P_3 \cdot (L_{01} + L_{12} + L_{23}) + P_2 \cdot (L_{01} + L_{12}) + P_1 \cdot L_{01}}{(L_{01} + L_{12} + L_{23} + L_{03})} =$$

$$= \frac{515,33 \cdot (220 + 60 + 60) + 2043,85_2 \cdot (220 + 60) + 531,51_1 \cdot 220}{(220 + 60 + 60 + 160)} = 1728,8 \text{ кВт},$$

$L_{01} + L_{12} + L_{23} + L_{03}$  - длины кабельных линий.

Мощность передаваемая по участку ИП' -ЦТП№2:

$$P_{ИП'-ЦТП№2} = \frac{P_1 \cdot (L_{12} + L_{23} + L_{03}) + P_2 \cdot (L_{23} + L_{03}) + P_3 \cdot L_{03}}{(L_{01} + L_{12} + L_{23} + L_{03})} =$$

$$= \frac{531,51 \cdot (160 + 60 + 60) + 2043,85_2 \cdot (160 + 60) + 515,33 \cdot 160}{(220 + 60 + 60 + 160)} = 1361,8 \text{ кВт}.$$

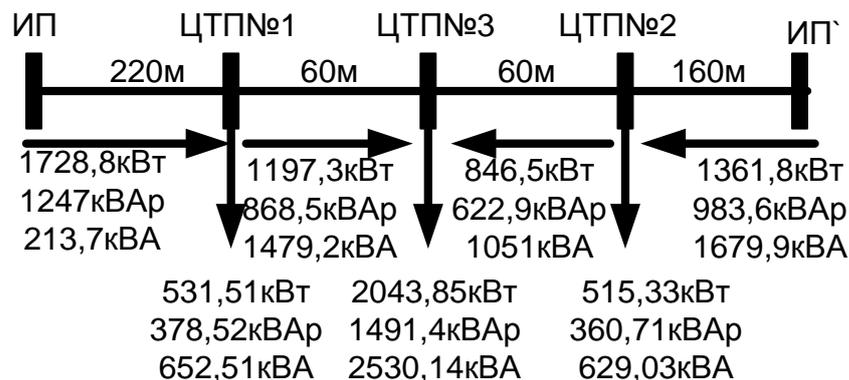
Мощность передаваемая по участку ЦТП№1-ЦТП№3:

$$P_{ЦТП№1-ЦТП№3} = P_{ИП-ЦТП№1} - P_{ЦТП№1} = 1728,8 - 531,51 = 1197,3 \text{ кВт}.$$

Мощность передаваемая по участку ЦТП№2-ЦТП№3:

$$P_{ЦТП№2-ЦТП№3} = P_{ИП'-ЦТП№2} - P_{ЦТП№2} = 1361,8 - 515,33 = 846,5 \text{ кВт}.$$

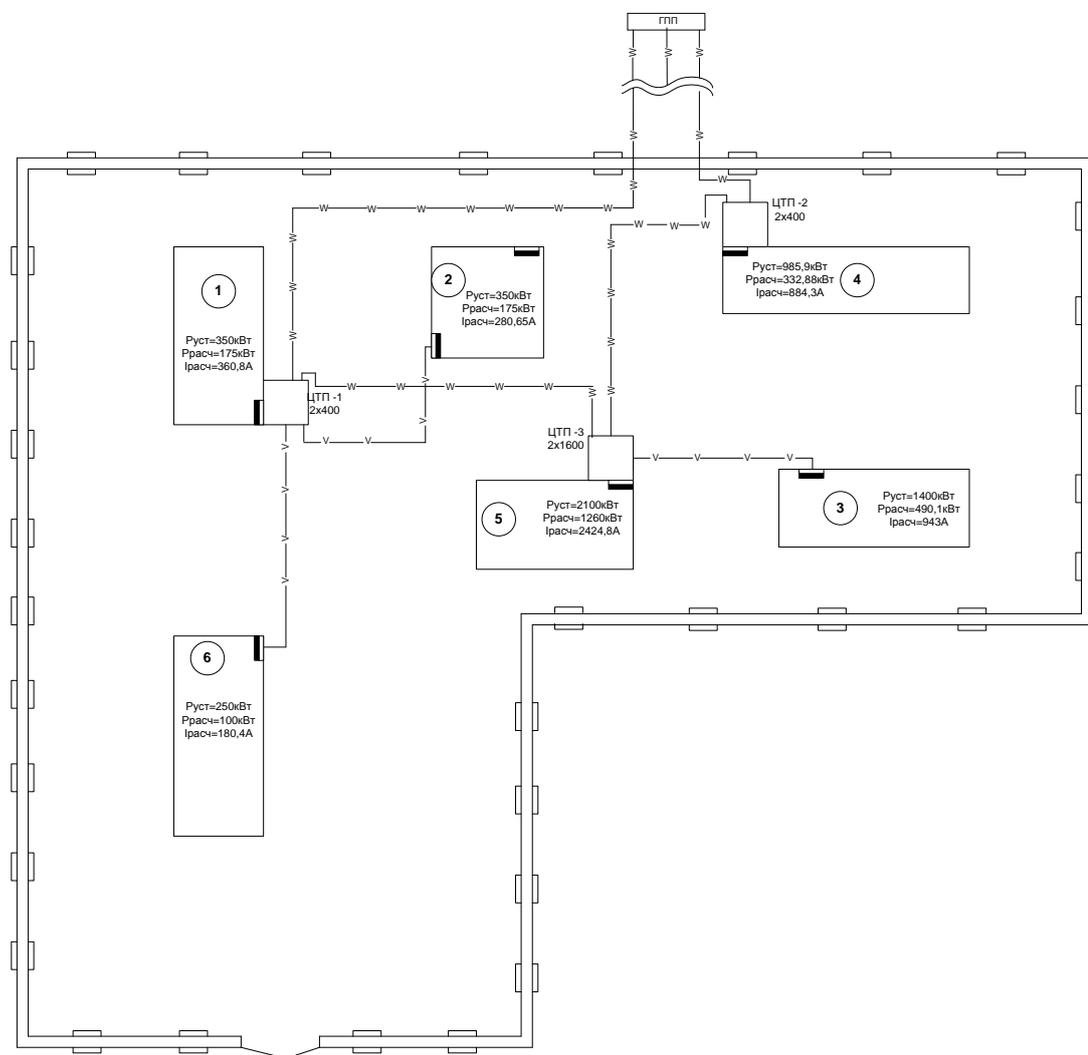
Потокораспределение мощностей в замкнутой схеме выглядит следующим образом:



Расчет сечений кабельных линий производится аналогично первому варианту результаты расчетов представим в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Номер ЦТП	Максимальная активная нагрузка, P <sub>м</sub> , кВт	Максимальная реактивная нагрузка Q <sub>м</sub> , кВАр	Максимальная полная нагрузка S <sub>м</sub> , кВА	Расчетный ток в нормальном режиме I <sub>p</sub> , А	Расчетный ток в аварийном режиме I <sub>мах</sub> , p, А	I <sub>мах</sub> , p с учетом коэфф. снижения токовой нагрузки, А	Марка кабеля	Сечение, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Удельное активное сопротивление, Ом/км	Удельное реактивное сопротивление, Ом/км	Допустимый ток, I <sub>доп</sub> , А
ГПП-ЦТП№1	1728,8	1247,02	2131,7	61,5	123,1	114,0	ААБЛ	50	220	0,58	0,09	95,0
ГПП-ЦТП№2	1361,8	983,6	1679,9	48,5	97,0	89,8	ААБЛ	35	160	0,84	0,09	95,0
ЦТП№1-ЦТП№3	1197,3	868,5	1479,2	42,7	85,4	79,1	ААБЛ	35	60	0,84	0,09	95,0
ЦТП№2-ЦТП№3	846,5	622,9	1051,0	30,3	60,7	56,2	ААБЛ	35	60	0,84	0,09	95,0



### 3.3. Выбор рационального напряжения и определение сечений проводов

Выбор рационального напряжения осуществляется по формуле Илларионова:

Выбор производится по формуле Илларионова

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}} = \frac{1000}{\sqrt{500/40 + 2500/(3,09)}} = 34,83 \text{ кВ},$$

где : L – длина линии (км); 40 км; P – активная мощность четвертого уровня (с учетом потерь в трансформаторах и кабельных линиях).

Принимаем номинальное напряжение 35 кВ.

Определяем сечения линий связи с подстанцией энергосистемы.

В режиме максимальных нагрузок:  $U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ ,

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3811,68}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 31,4 \text{ А}.$$

В послеаварийном режиме:

$$I_{M(пав)} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3811,68}{\sqrt{3} \cdot 35} = 62,9 \text{ А}.$$

Определяем число часов использования максимальной нагрузки для данной отрасли промышленности:  $T_M = 4500 \text{ ч}$ .

Сечения проводов ЛЭП и сечения кабелей в сетях выше 1000 В выбираются по экономической плотности тока, соответствующее режиму максимальных нагрузок:

$$S_{ЭК} = \frac{I_M}{j_{ЭК}},$$

где  $I_M$  – расчетный ток одной линии в нормальном режиме работы, т.е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается;

$j_{ЭК}$  – экономическая плотность тока для заданных условий работы

Для алюминиевых неизолированных проводов экономическая плотность тока равна:  $j_{ЭК} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ .

$$S_{\text{эк}} = \frac{31,4}{1,1} = 28,5 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное для 35 кВ сечение – 35 мм<sup>2</sup>.

Принимаем двухцепуную линию выполненную проводом АС-35.

### 3.4. Выбор трансформаторов на ГПП

Произведем выбор числа и мощности трансформаторов **главной понижающей подстанции (ГПП)**. Учитывая наличие потребителей II категории надежности, принимаем к установке два трансформатора. Номинальную мощность трансформаторов определяем по условию:

$$S_{\text{ном.ТР}} \geq \frac{S_{IV}}{n \cdot K_3},$$

$S_{IV}$  - мощность четвертого уровня;  $n$  – количество трансформаторов;  $K_3$  - коэффициент загрузки.

$$S_{\text{ном.ТР}} = \frac{3811,68}{2 \cdot 0,7} = 2722,6 \text{ кВА}.$$

Исходя из результата принимаем к установке трансформаторы с номинальной мощностью 4000 кВА.

Проверяем перегрузочную способность трансформаторов в аварийном режиме по условию:

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.ТР}} \geq S_{\text{нагр}},$$
$$1,4 \cdot 4000 \geq 2208,35.$$

Выбираем трансформатор ТМН-4000/35.

#### 4. ВЫБОР ВАРИАНТОВ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НН

Распределительные пункты выбираются и учетом расчетного тока определенного по методу упорядоченных диаграмм, и с учетом количества присоединений силового пункта.

##### *Вариант 1.*

Выбор распределительных пунктов.

Схема второго уровня электроснабжения ремонтно-механического цеха содержит девять распределительных пунктов (табл. 4.1).

Таблица 4.1

№ п/п	Наименование	Imax, А	Марка	Inom, А	Распределение	Цена, грн
1	ПР-1	55,34	ПР8513-31-00-IXX-21	100	10	4039,2
2	ПР-2	56,90	ПР8513-31-00-IXX-21	100	10	4039,2
3	ПР-3	54,62	ПР8513-29-00-3XX-21	100	8	5826,4
4	ПР-4	288,31	ПР8513-37-00-2XX-21	400	6	10487,9
5	ПР-5	212,19	ПР8513-35-10-IXX-21	250	6	6014,2
6	ПР-6	221,87	ПР8513-35-10-IXX-22	250	6	6014,2
7	ПР-7	62,34	ПР8513-29-00-3XX-21	100	8	5826,4
8	ПР-8	55,99	ПР8513-29-00-3XX-22	100	8	5826,4
9	ПР-9	195,27	ПР8513-35-10-IXX-22	250	10	6014,2
ИТОГО						54088,1

Произведем выбор выключателя на ввод каждого распределительного пункта (табл. 4.2).

Таблица 4.2

№ п/п	Наименование	Автомат на вводе	Inom, А	Предельная отключающая способность, кА	Цена, грн
1	ПР-1	ВА51	100	12	964,4
2	ПР-2	ВА51	100	12	964,4
3	ПР-3	ВА51	100	12	964,4
4	ПР-4	ВА51-39	400	25	2589,4
5	ПР-5	ВА51-35	250	25	1089
6	ПР-6	ВА51-35	250	25	1089
7	ПР-7	ВА51	100	12	964,4
8	ПР-8	ВА51	100	12	964,4
9	ПР-9	ВА51-35	250	25	1089
ИТОГО					10678,4

Произведем выбор автоматов на отходящих линиях для каждого распределительного пункта (табл. 4.3).

Таблица 4.3

№ п/п	Іраб, А	Марка	Іном, А	Цена, грн	Предельная отключающая способность, кА
1	11,53	AE2040	16	380,9	6
2	16,08	AE2040	20	380,9	6
3	14,41	AE2040	16	380,9	6
4	8,87	AE2040	10	380,9	6
5	11,86	AE2040	16	380,9	6
6	13,31	AE2040	16	380,9	6
7	2,22	AE2040	10	380,9	6
8	16,63	AE2040	20	380,9	6
9	20,51	AE2040	25	380,9	6
10	27,72	AE2040	40	380,9	6
11	2,77	AE2040	10	380,9	6
12	1,22	AE2040	10	380,9	6
13	1,66	AE2040	10	380,9	6
14	1,66	AE2040	10	380,9	6
15	4,44	AE2040	10	380,9	6
16	4,44	AE2040	10	380,9	6
17	24,31	AE2040	25	380,9	6
18	24,31	AE2040	25	380,9	6
19	10,74	AE2040	16	380,9	6
20	13,94	AE2040	16	380,9	6
21	5,54	AE2040	10	380,9	6
22	4,99	AE2040	10	380,9	6
23	4,99	AE2040	10	380,9	6
24	7,87	AE2040	10	380,9	6
25	13,31	AE2040	16	380,9	6
26	10,74	AE2040	16	380,9	6
27	10,74	AE2040	16	380,9	6
28	15,19	AE2040	16	380,9	6
29	12,91	AE2040	16	380,9	6
30	77,84	AE2050M	80	634,9	6
31	77,84	AE2050M	80	634,9	6
32	3,10	AE2040	10	380,9	6
33	3,10	AE2040	10	380,9	6
34	11,57	AE2040	16	380,9	6
35	36,59	AE2040	40	380,9	6
36	7,89	AE2040	10	380,9	6
37	16,22	AE2040	20	380,9	6
38	8,77	AE2040	10	380,9	6
39	13,15	AE2040	16	380,9	6
40	2,77	AE2040	10	380,9	6
41	2,77	AE2040	10	380,9	6
42	4,21	AE2040	10	380,9	6
43	8,85	AE2040	10	380,9	6
44	11,20	AE2040	16	380,9	6
45	11,42	AE2040	16	380,9	6
46	13,31	AE2040	16	380,9	6
47	13,31	AE2040	16	380,9	6
48	16,08	AE2040	20	380,9	6
49	13,31	AE2040	16	380,9	6
50	8,87	AE2040	10	380,9	6
51	27,63	AE2040	40	380,9	6
52	27,63	AE2040	40	380,9	6
53	15,61	AE2040	16	380,9	6
54	15,61	AE2040	16	380,9	6

№ п/п	Ираб, А	Марка	Ином, А	Цена, грн	Предельная отключающая способность, кА
55	15,61	АЕ2040	16	380,9	6
56	15,61	АЕ2040	16	380,9	6
57	1,92	АЕ2040	10	380,9	6
58	14,41	АЕ2040	16	380,9	6
59	14,41	АЕ2040	16	380,9	6
60	15,61	АЕ2040	16	380,9	6
61	27,63	АЕ2040	40	380,9	6
62	1,32	АЕ2040	10	380,9	6
63	12,01	АЕ2040	16	380,9	6
64	194,48	ВА51-35	200	2603,5	25
65	36,46	АЕ2040	40	380,9	6
66	194,48	ВА51-35	200	2603,5	25
67	12,91	АЕ2040	16	380,9	6
68	12,91	АЕ2040	16	380,9	6
69	37,98	АЕ2040	40	380,9	6
70	194,48	ВА51-35	200	2603,5	25
ИТОГО				338407	

Произведем выбор кабельных линий для электроприемников первого уровня (табл. 4.4).

Таблица 4.4

№ п/п	Ином, А	Сечение, кв.мм	Идоп, А	Длина, м	Стоимость метра, грн/м	Стоимость всей линии, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
1	11,53	4	27	15,9	8,3	132,2	0,04909	45,1427
2	16,08	4	27	11,4	8,3	94,8	0,068418	62,9165
3	14,41	4	27	10,1	8,3	84,0	0,048723	44,80555
4	8,87	4	27	6,7	8,3	55,7	0,01224	11,25585
5	11,86	4	27	4,1	8,3	34,1	0,013399	12,32183
6	13,31	4	27	6,52	8,3	54,2	0,0268	24,64528
7	2,22	4	27	1,9	8,3	15,8	0,000217	0,199497
8	16,63	4	27	3,98	8,3	33,1	0,025562	23,50657
9	20,51	4	27	4,27	8,3	35,5	0,041716	38,36145
10	27,72	6	32	7,61	11,1	84,3	0,090687	83,3946
11	2,77	4	27	4,9	8,3	40,8	0,000874	0,803896
12	1,22	4	27	8,31	8,3	69,1	0,000287	0,263943
13	1,66	4	27	10,36	8,3	86,2	0,000665	0,61188
14	1,66	4	27	12,62	8,3	105,0	0,000811	0,745359
15	4,44	4	27	4,89	8,3	40,7	0,002233	2,053773
16	4,44	4	27	6,84	8,3	56,9	0,003124	2,872763
17	24,31	4	27	4,99	8,3	41,5	0,068472	62,96633
18	24,31	4	27	6,99	8,3	58,1	0,095916	88,20334
19	10,74	4	27	9,05	8,3	75,3	0,024257	22,30647
20	13,94	4	27	8,34	8,3	69,4	0,037644	34,61667
21	5,54	4	27	7,57	8,3	63,0	0,005402	4,967748
22	4,99	4	27	4,23	8,3	35,2	0,002445	2,24848
23	4,99	4	27	4,7	8,3	39,1	0,002717	2,498311
24	7,87	4	27	6,8	8,3	56,6	0,009785	8,998069
25	13,31	4	27	7,94	8,3	66,0	0,032637	30,01281
26	10,74	4	27	8,97	8,3	74,6	0,024043	22,10928
27	10,74	4	27	5,74	8,3	47,7	0,015385	14,14797
28	15,19	4	27	1,47	8,3	12,2	0,007879	7,245781

№ п/п	Ином, А	Сечение, кв.мм	Идоп, А	Длина, м	Стоимость метра, грн/м	Стоимость всей линии, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
29	12,91	4	27	0,72	8,3	6,0	0,002788	2,564119
30	77,84	35	90	8,9	54,6	486,2	0,135883	124,9562
31	77,84	35	90	9	54,6	491,7	0,137409	126,3603
32	3,10	4	27	11,24	8,3	93,5	0,002515	2,313162
33	3,10	4	27	11,49	8,3	95,6	0,002571	2,364611
34	11,57	4	27	2,24	8,3	18,6	0,006963	6,403237
35	36,59	10	42	3,45	17,5	60,3	0,040736	37,4608
36	7,89	4	27	3,4	8,3	28,3	0,004913	4,518223
37	16,22	4	27	5,58	8,3	46,4	0,034071	31,33151
38	8,77	4	27	8,4	8,3	69,9	0,014986	13,78107
39	13,15	4	27	11	8,3	91,5	0,044155	40,60494
40	2,77	4	27	4,69	8,3	39,0	0,000837	0,769443
41	2,77	4	27	1	8,3	8,3	0,000178	0,16406
42	4,21	4	27	0,24	8,3	2,0	9,87E-05	0,090719
43	8,85	4	27	7,55	8,3	62,8	0,01374	12,63553
44	11,20	4	27	4,63	8,3	38,5	0,013482	12,39788
45	11,42	4	27	10,4	8,3	86,5	0,031495	28,9622
46	13,31	4	27	8,84	8,3	73,5	0,036337	33,41477
47	13,31	4	27	5,47	8,3	45,5	0,022484	20,67633
48	16,08	4	27	3,3	8,3	27,4	0,019805	18,21267
49	13,31	4	27	5,24	8,3	43,6	0,021539	19,80694
50	8,87	4	27	0,8	8,3	6,7	0,001462	1,343983
51	27,63	6	32	4,14	11,1	45,8	0,049007	45,06647
52	27,63	6	32	1,6	11,1	17,7	0,01894	17,41699
53	15,61	4	27	5,9	8,3	49,1	0,033404	30,71755
54	15,61	4	27	5,9	8,3	49,1	0,033404	30,71755
55	15,61	4	27	8,1	8,3	67,4	0,045859	42,17156
56	15,61	4	27	3,9	8,3	32,4	0,02208	20,30482
57	1,92	4	27	6,6	8,3	54,9	0,000566	0,520513
58	14,41	4	27	1,8	8,3	15,0	0,008683	7,985147
59	14,41	4	27	4,6	8,3	38,3	0,022191	20,40649
60	15,61	4	27	4,1	8,3	34,1	0,023213	21,3461
61	27,63	6	32	0,7	11,1	7,8	0,008286	7,619934
62	1,32	4	27	7,4	11,1	81,9	0,0003	0,275845
63	12,01	4	27	6,2	11,1	68,7	0,02077	19,10027
64	194,48	120	200	6,8	161,9	1101,1	0,185171	170,2813
65	36,46	10	42	4,9	17,5	85,6	0,057464	52,84365
66	194,48	120	200	10,7	161,9	1732,5	0,291372	267,9427
67	12,91	4	27	3,5	8,3	29,1	0,013554	12,46447
68	12,91	4	27	2,3	8,3	19,1	0,008907	8,190937
69	37,98	10	42	5,2	17,5	90,9	0,06617	60,84959
70	194,48	120	200	2,5	161,9	404,8	0,068078	62,60343
ИТОГО						7608,0		

Произведем выбор кабельных линий второго уровня (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Наименование	Имакс, А	Сечение, кв.мм	Идоп, А	Длина, м	Стоимость метра, грн/м	Стоимость всей линии, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
ПР-1	55,34	10	65	53,35	17,5	932,1	1,441024	1325,151
ПР-2	56,90	10	65	42,6	17,5	744,3	1,216455	1118,64
ПР-3	54,62	10	65	43,4	17,5	758,3	1,141909	1050,088
ПР-4	288,31	150	305	33,84	202,1	6838,4	1772082	1,63E+09
ПР-5	212,19	95	240	32,87	134,0	4404,7	1,376368	1265,694
ПР-6	221,87	95	240	24,3	134,0	3256,3	1,112515	1023,057
ПР-7	62,34	10	65	24,18	17,5	422,5	0,82878	762,1377
ПР-8	55,99	10	65	13,89	17,5	242,7	0,384064	353,1813
ПР-9	195,27	70	200	14,79	108,8	1608,7	0,710566	653,4297
ИТОГО						19207,9		

**Вариант 2.**

Данная схема выполнена с использованием двух шинопроводов ШРА-73 и двух распределительных пунктов (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Наименование	Марка	Имакс, А	Ином, А	Длина, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
ШРА-1	ШРА-73	295,7149	400	20	0,68208888	627,242
ШРА-2	ШРА-73	391,4035	400	15	0,89620087	824,1371
Конструктивный элемент		Кол-во	Цена за шт, грн	Общая стоимость, грн		
Секция прямая прогоночная		12	5105,6	61267,6		
Секция вводная		2	5530,9	11061,7		
Заглушка торцовая		2	560,1	1120,1		
Коробка ответвительная АЕ2040		62	3996,3	247771,5		
Коробка ответвительная АЕ2050М		2	4267,0	8534,0		
Элементы крепежа		12	2254,1	27048,9		
ИТОГО				356803,9		
Параметры распределительных пунктов						
Наименование	Марка	Имакс, А	Ином, А	Распределение	Цена, грн	
ПР-1	ПР8513-35-10-ИХХ-21	238,5227	250	4	6014,2	
ПР-2	ПР8513-35-10-ИХХ-21	240,0088	250	4	6014,2	
Автоматы на отходящих линиях		Кол-во	Цена за шт, грн	Общая стоимость, грн		
ВА51-37		3	2603,5	7810,5		
АЕ2040		3	380,9	1142,8		
ИТОГО				20981,6		

Произведем выбор выключателей на вводах шинопроводов и распределительных пунктов (табл. 4.7).

Таблица 4.7

№ п/п	Наименование	Автомат на вводе	Ином, А	Предельная отключающая способность, кА	Цена, грн
1	ШРА-1	ВА51-39	400	25	3944,6
2	ШРА-2	ВА51-39	400	25	3944,6
3	ПР-1	ВА51-35	250	25	3105
4	ПР-2	ВА51-35	250	25	3105
ИТОГО					14099,2

Произведем выбор кабельных линий для электроприемников первого уровня (табл. 4.8).

Таблица 4.8

№ п/п	Ином, А	Сечение, кв.мм	Идоп, А	Длина, м	Стоимость метра, грн/м	Стоимость всей линии, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	11,531	4	27	5,830237	8,3	48,5	0,018	16,553
2	16,07688	4	27	3,426831	8,3	28,5	0,021	18,913
3	14,41375	4	27	5,447193	8,3	45,3	0,026	24,165
4	8,870001	4	27	1,159078	8,3	9,6	0,002	1,947
5	11,86363	4	27	1,241542	8,3	10,3	0,004	3,731
6	13,305	4	27	5,447193	8,3	45,3	0,022	20,590
7	2,2175	4	27	1,695092	8,3	14,1	0,0001	0,178
8	16,63125	4	27	4,911179	8,3	40,8	0,032	29,006
9	20,51188	4	27	3,83915	8,3	31,9	0,038	34,491
10	27,71875	6	32	5,662687	11,1	62,7	0,067	62,055
11	2,771875	4	27	3,131598	8,3	26,0	0,001	0,514
12	1,219625	4	27	5,897569	8,3	49,1	0,0001	0,187
13	1,663125	4	27	6,653487	8,3	55,3	0,0001	0,393
14	1,663125	4	27	7,451537	8,3	62,0	0,0001	0,440
15	4,435	4	27	8,158778	8,3	67,9	0,004	3,427
16	4,435	4	27	6,58395	8,3	54,8	0,003	2,765
17	24,30949	4	27	2,847311	8,3	23,7	0,039	35,929
18	24,30949	4	27	5,896752	8,3	49,0	0,081	74,408
19	10,74392	4	27	4,465089	8,3	37,1	0,012	11,006
20	13,9422	4	27	2,918894	8,3	24,3	0,013	12,115
21	5,543751	4	27	1,501548	8,3	12,5	0,001	0,985
22	4,989376	4	27	4,608256	8,3	38,3	0,003	2,450
23	4,989376	4	27	5,180921	8,3	43,1	0,003	2,754
24	7,872126	4	27	4,673211	8,3	38,9	0,007	6,184
25	13,305	4	27	3,779647	8,3	31,4	0,016	14,287
26	10,74392	4	27	7,035454	8,3	58,5	0,019	17,341
27	10,74392	4	27	1,058264	8,3	8,8	0,003	2,608
28	15,19343	4	27	1,100683	8,3	9,2	0,006	5,425
29	12,91441	4	27	1,759248	8,3	14,6	0,007	6,265
30	77,8371	35	90	6,008838	54,6	328,3	0,092	84,364
31	77,8371	35	90	6,292969	54,6	343,8	0,096	88,353
32	3,1045	4	27	8,756447	8,3	72,8	0,002	1,802
33	3,1045	4	27	8,559768	8,3	71,2	0,002	1,762

№ п/п	Ином, А	Сечение, кв.мм	Идоп, А	Длина, м	Стоимость метра, грн/м	Стоимость всей линии, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	11,57038	4	27	1,92996	8,3	16,1	0,006	5,517
35	36,58875	10	42	1,909344	17,5	33,4	0,023	20,732
36	7,888895	4	27	4,01217	8,3	33,4	0,006	5,332
37	16,21606	4	27	3,764779	8,3	31,3	0,023	21,139
38	8,765439	4	27	3,847242	8,3	32,0	0,007	6,312
39	13,14816	4	27	3,826626	8,3	31,8	0,015	14,125
40	2,771875	4	27	4,197713	8,3	34,9	0,001	0,689
41	2,771875	4	27	1,393946	8,3	11,6	0,0001	0,229
42	4,207411	4	27	0,532878	8,3	4,4	0,0001	0,201
43	8,853094	4	27	4,141706	8,3	34,4	0,008	6,931
44	11,19838	4	27	1,533863	8,3	12,8	0,004	4,107
45	11,42013	4	27	5,266642	8,3	43,8	0,016	14,667
46	13,305	4	27	2,131997	8,3	17,7	0,009	8,059
47	13,305	4	27	4,123188	8,3	34,3	0,017	15,585
48	16,07688	4	27	1,013442	8,3	8,4	0,006	5,593
49	13,305	4	27	4,920849	8,3	40,9	0,020	18,601
50	8,870001	4	27	0,935101	8,3	7,8	0,002	1,571
51	27,62636	6	32	4,182111	11,1	46,3	0,050	45,525
52	27,62636	6	32	0,46547	11,1	5,2	0,006	5,067
53	15,6149	4	27	3,872872	8,3	32,2	0,022	20,164
54	15,6149	4	27	0,746122	8,3	6,2	0,004	3,885
55	15,6149	4	27	5,436248	8,3	45,2	0,031	28,303
56	15,6149	4	27	0,746122	8,3	6,2	0,004	3,885
57	1,921834	4	27	3,838513	8,3	31,9	0,0001	0,303
58	14,41375	4	27	0,591502	8,3	4,9	0,003	2,624
59	14,41375	4	27	3,786973	8,3	31,5	0,018	16,800
60	15,6149	4	27	5,230088	8,3	43,5	0,030	27,230
61	27,62636	6	32	0,878956	11,1	9,7	0,010	9,568
62	1,321261	4	27	6,867816	11,1	76,1	0,000	0,256
63	12,01146	4	27	5,396988	11,1	59,8	0,018	16,626
64	194,4759	120	200	4,387697	161,9	710,5	0,119	109,874
65	36,46423	10	42	6,943562	17,5	121,3	0,081	74,882
66	194,4759	120	200	3,983509	161,9	645,0	0,108	99,753
67	12,91441	4	27	6,640685	8,3	55,2	0,026	23,649
68	12,91441	4	27	2,222602	8,3	18,5	0,009	7,915
69	37,98357	10	42	4,046088	17,5	70,7	0,051	47,347
70	194,4759	120	200	3,294746	161,9	533,5	0,090	82,505
ИТОГО						4840,1		

Произведем выбор кабельных линий второго уровня (табл. 4.9).

Таблица 4.9

Наименование	Имакс, А	Сечение, кв.мм	Идоп, А	Длина, м	Стоимость метра, грн/м	Стоимость всей линии, м	Потери активной мощности, кВт	Потери электроэнергии, кВт*ч
ШРА-1	295,714884	150	305	10,9	202,3	2204,8	0,572	525,918
ШРА-2	391,403538	2x70	400	40,7	217,5	8853,6	7,856	7224,513
ПР-1	238,522709	120	270	33,4	134,0	4475,7	1,368	1258,150
ПР-2	240,008832	120	270	33,89	134,0	4541,4	1,406	1292,566
ИТОГО						20075,6		

## 5. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

При проектировании СЭС учитываются не только нормальные, продолжительные режимы работы ЭУ, но и их аварийные режимы. Одним из аварийных режимов является короткое замыкание.

Коротким замыканием (КЗ) называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землей, при котором токи в ветвях электроустановки резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

Как правило, трехфазные КЗ вызывают в поврежденной цепи наибольшие токи, поэтому при выборе аппаратуры обычно за расчетный ток КЗ принимают ток трехфазного короткого замыкания.

Причинами коротких замыканий могут быть: механические повреждения изоляции – проколы и разрушение кабелей при земляных работах; поломка фарфоровых изоляторов; падение опор воздушных линий; старение, т.е. износ, изоляции, приводящее постепенно к ухудшению электрических свойств изоляции; увлажнение изоляции; различные набросы на провода воздушных линий; перекрытие фаз животными и птицами; перекрытие между фазами вследствие атмосферных перенапряжений. Короткое напряжение может возникнуть при неправильных оперативных переключениях, например при отключении нагруженной линии разъединителем, когда возникающая дуга перекрывает изоляцию между фазами.

Последствиями коротких замыканий являются резкое увеличение тока в короткозамкнутой цепи и снижение напряжения в отдельных точках системы. Дуга, возникающая в месте КЗ, приводит к частичному или полному разрушению аппаратов, машин и других устройств. Увеличение тока в ветвях электроустановки, примыкающих к месту КЗ, приводит к значительным механическим воздействиям на токоведущие части и изоляторы, на обмотки электрических машин. Прохождение больших токов вызывает повышенный нагрев токоведущих частей и изоляции, что может привести к пожару в

распределительных устройствах, в кабельных сетях и других элементах энергоснабжения и будет причиной дальнейшего развития аварии.

Снижение напряжения приводит к нарушению нормальной работы механизмов, при напряжении ниже 70 % номинального напряжения двигатели затормаживаются, работа механизмов прекращается.

Для уменьшения последствий коротких замыканий необходимо как можно быстрее отключить поврежденный участок, что достигается применением быстродействующих выключателей и релейной защиты с минимальной выдержкой времени. Все электрические аппараты и токоведущие части должны быть выбраны таким образом, чтобы исключалось их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов короткого замыкания, в связи с чем возникает необходимость расчета этих величин.

При составлении расчетной схемы (рис. 5.1) и схемы замещения (рис. 5.2) необходимо учесть активные и индуктивные сопротивления трансформаторов, выключателей, кабелей и др.

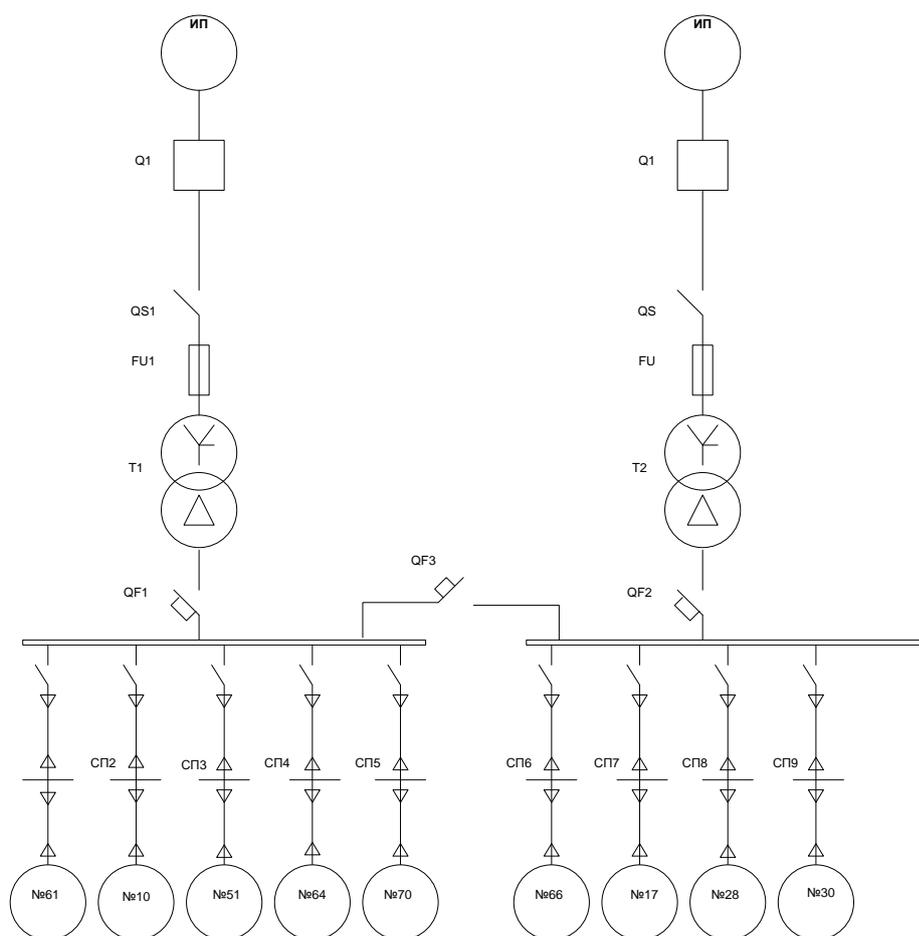


Рис.5.1. Расчетная схема

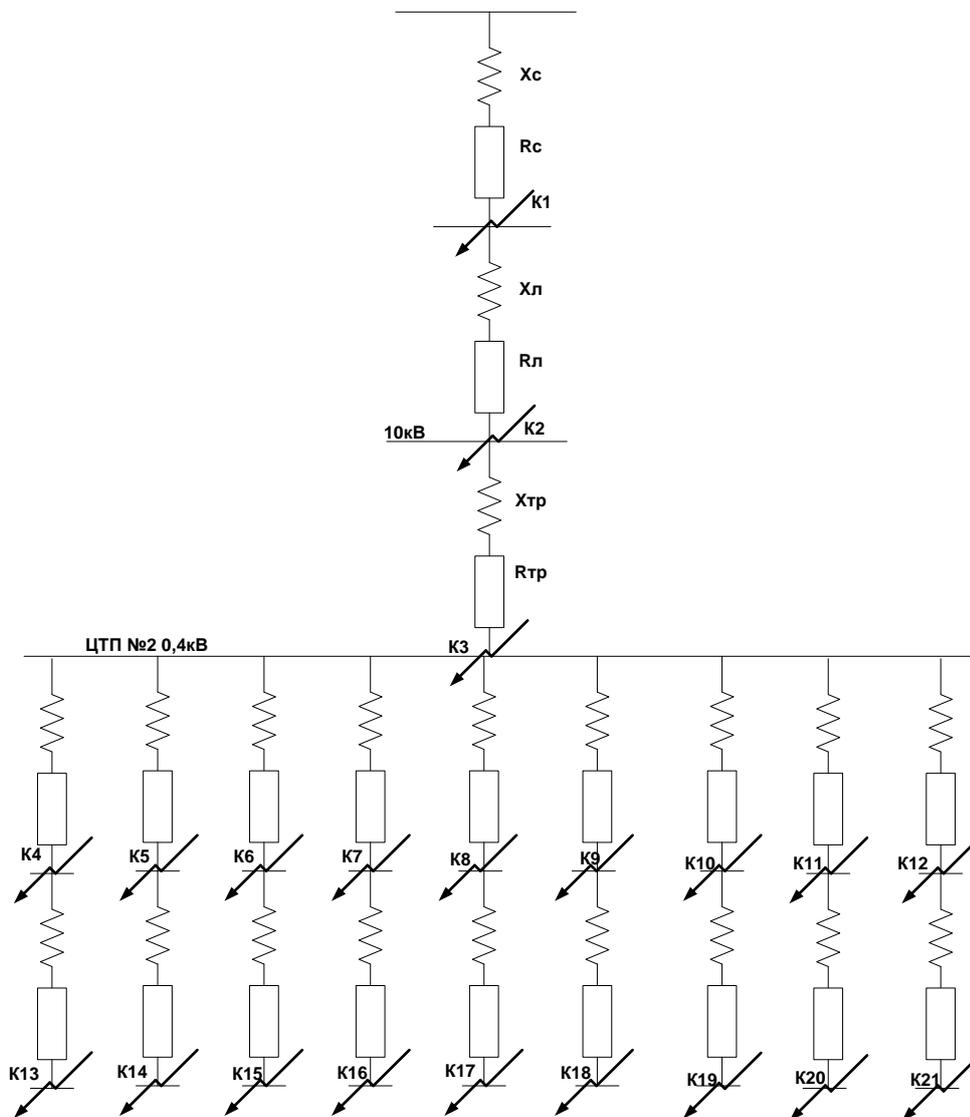


Рис. 5.2. Схема замещения

### 5.1. Расчет токов кз на стороне ВН (10 кВ)

Расчет токов \$K\_3\$ на стороне 10 кВ.

Примем базисную мощность и напряжение:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ MVA},$$

$$U_{\sigma} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Рассчитаем базисный ток:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}.$$

Рассчитаем сопротивление системы:

$$X_c = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta} \cdot I_c},$$

$I_c$  - ток отключения основного выключателя  $I_c = 20 \text{ кА}$ .

$$X_c = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 20} = 0,2749 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К1.

$$I_{k1} = \frac{I_{\delta}}{X_c} = \frac{5,499}{0,2749} = 20,0 \text{ кА}$$

Рассчитаем значение ударного тока в точке К1.

$$I_{k1y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{k1} \cdot K_{y\delta},$$

$$K_{y\delta} = 1.$$

$$I_{k1y\delta} = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot 1 = 28,28 \text{ кА}.$$

Рассчитаем значение ударного тока в точке К2.

Рассчитаем сопротивления линий питающих ЦТП№1.

$$R_{кЛ} = \frac{0,5 \cdot l \cdot r_{y\delta} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,5 \cdot 0,16 \cdot 2,94 \cdot 100}{10,5^2} = 0,85 \text{ о.е.}$$

$$X_{кЛ} = \frac{0,5 \cdot l \cdot x_{y\delta} \cdot S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = \frac{0,5 \cdot 0,16 \cdot 0,122 \cdot 100}{10,5^2} = 0,03 \text{ о.е.}$$

Определим суммарное сопротивление системы:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{кЛ}^2 + (X_c + X_{кЛ})^2} = \sqrt{0,85^2 + (0,2749 + 0,03)^2} = 0,908 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К2:

$$I_{k2} = \frac{I_{\delta}}{Z_{\Sigma}} = \frac{5,499}{0,908} = 6,05 \text{ кА},$$

$$I_{k2y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{k2} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 6,06 = 8,56 \text{ кА}.$$

## 5.2. Расчет токов кз на стороне НН

Расчет будем производить в именованных единицах.

Рассчитаем токи КЗ на низкой стороне. В качестве примера произведем расчет для стороны 0,4 кВ ЦТП№2.

Рассчитаем сопротивления трансформаторов установленных на ЦТП№2.

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{2 \cdot 0,4^2} = 2,75 \text{ мОм},$$

$$X_{mp} = \frac{u_k \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{2 \cdot 100 \cdot 0,4} = 9 \text{ мОм}.$$

Приведем сопротивления кабельных линий к напряжению 0,4 кВ.

$$R'_{кл} = 0,5 \cdot l \cdot r_{уд} \cdot \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = 0,5 \cdot 0,16 \cdot 2,94 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,34 \text{ мОм},$$

$$X'_{кл} = 0,5 \cdot l \cdot x_{уд} \cdot \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = 0,5 \cdot 0,16 \cdot 0,122 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0142 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем суммарное сопротивление. Учтем добавочное сопротивление, которое для данного уровня равняется 15 мОм.

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma} &= \sqrt{(R'_{кл} + R_{mp} + R_{доб})^2 + (X'_{кл} + X_{mp} + X_c)^2} = \\ &= \sqrt{(0,34 + 2,75 + 15)^2 + (0,0142 + 9 + 0,2749)^2} = 20,337 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К6:

$$I_{к6} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20,337} = 11,356 \text{ кА}.$$

Ударный ток в точке К6:

$$I_{уд.к6} = \sqrt{2} \cdot 11,356 \cdot 1 = 16,06 \text{ кА}.$$

Рассчитаем ток в точке К7:

$$R = 33,84 \cdot 0,2 = 6,78 \text{ мОм},$$

$$X = 33,84 \cdot 0,059 = 1,9 \text{ мОм},$$

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma} &= \sqrt{(R'_{кл} + R_{mp} + R_{доб} + R)^2 + (X'_{кл} + X_{mp} + X_c + X)^2} = \\ &= \sqrt{(0,7056 + 1,53 + 20 + 6,78)^2 + (13,9 + 0,017 + 0,439 + 1,9)^2} = 29,28 \text{ мОм}, \end{aligned}$$

$$I_{к7} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 29,28} = 7,89 \text{ кА},$$

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 7,89 = 11,16 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов по остальным токам КЗ представим в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1

Точка КЗ	Добавочное сопротивление Rдоб, мОм	Активное сопротивление КЛ, мОм	Реактивное сопротивление КЛ, мОм	Полное сопротивление, мОм	Ток КЗ, кА	x/r	Ударный коэффициент	Ударный ток, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K4	15	156,85	6,5087	175,6522	1,314758	0,090304	1	1,85935
K5	15	125,24	5,1972	144,0655	1,603022	0,101066	1	2,26701
K6	15	127,6	5,2948	146,4155	1,577293	0,100104	1	2,23063
K7	15	6,6326	2,50416	27,39262	8,430742	0,476997	1	11,9229
K8	15	10,19	2,56386	30,66446	7,531197	0,419113	1	10,6507
K9	15	7,533	1,8954	27,95889	8,259989	0,436479	1	11,6814
K10	15	71,089	2,94996	90,01645	2,565532	0,137239	1	3,62821
K11	15	40,837	1,69458	59,94283	3,852673	0,186392	1	5,4485
K12	15	6,2118	1,27194	26,49864	8,71517	0,434554	1	12,3251
K13	20	62,694	0,7695	261,6309	0,882694	0,118306	1	1,24832
K14	20	123,07	1,5105	290,4237	0,795183	0,074582	1	1,12456
K15	20	42,338	0,51965	212,0716	1,088973	0,151444	1	1,54004
K16	20	1,632	0,408	53,01044	4,356503	0,411518	1	6,16103
K17	20	97,679	1,1989	151,7973	1,521371	0,090313	1	2,15154
K18	20	2,568	0,642	54,53018	4,235088	0,404047	1	5,98932
K19	20	69,428	0,85215	182,8171	1,26323	0,111096	1	1,78648
K20	20	88,933	1,09155	172,2798	1,340495	0,094328	1	1,89575
K21	20	88,933	1,09155	138,911	1,662504	0,096544	1	2,35114

## 6. ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НН И ВН

### 6.1. Проверка оборудования 10 кВ

Проверим выключатели защищающие кабельные линии напряжением. Проверку будем проводить по току КЗ и ударному току КЗ в К1.

**ВВТЭ-10-20/630.**

По напряжению электроустановки:

$$U_{УСТ} \leq U_{НОМ} \text{ или } 10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

По длительному току:

$$I_{РАБМАХ} \leq I_{НОМ} \text{ или } 33,6 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

По несимметричному току отключения:

$$I_{П\tau} \leq I_{ОТКЛ} \text{ или } 20 \text{ кА} < 20 \text{ кА},$$

$$\text{где } I_{П\tau} \approx I_{П0} = I_{К}^{(3)}.$$

По апериодической составляющей расчетного тока:

$$\begin{aligned} (\sqrt{2} \cdot I_{П\tau} + i_{a\tau}) &\leq \sqrt{2} \cdot I_{ОТКЛНОМ} \cdot (1 + \beta_H / 100), \\ \tau &= t_{P3MIN} + t_{OB} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}. \end{aligned}$$

где  $t_{OB}$  - собственное время отключения выключателя с приводом;  $t_{P3MIN}$  - условное наименьшее время срабатывания релейной защиты;  $\beta_H = 13\%$  - содержание апериодической составляющей.

$$i_{a\tau} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{ОТКЛНОМ}}{100} = \frac{\sqrt{2} \cdot 13 \cdot 12,5}{100} = 2,275 \text{ кА};$$

$$\sqrt{2} \cdot 12,5 + 1,84 < \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 1,13;$$

$$17,5 < 19,5.$$

По предельному сквозному току к.з. на электродинамическую устойчивость:

$$i_y \leq i_{ПРСКВ} \text{ или } 17,67 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА},$$

или по допустимому току термической устойчивости:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T;$$

где  $I_T$  и  $t_T$  - ток и время термической устойчивости.

$$B_K = I_{\text{ПО}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a),$$

где  $t_{\text{откл}} = 0,1\text{с}$  - время отключения линии;  $T_a = 0,01$  - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока к.з.

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0,5 + 0,01) = 79,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$79,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель подходит по результатам проверки.

Условия проверки выключателя нагрузки ВНРП-10 400/10 установленных на КТП:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}};$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.макс}};$$

$$i_{\text{ном.дин}} \geq i_{\text{уд}};$$

$$I_{\text{у.доп}} \geq I_{\text{кз.макс}};$$

$$I_t^2 \cdot t_{\text{пр}} \geq I_{\text{кз.макс}}^2 \cdot t.$$

где  $U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение выключателя нагрузки, В;  $U_{\text{ном.сети}}$  - номинальное напряжение сети, В;  $I_{\text{ном}}$  - номинальный ток выключателя нагрузки;  $I_{\text{раб.макс}}$  - максимальный рабочий ток электроприемника, А;  $i_{\text{ном.дин}}$  - предельный сквозной ток, кА;  $i_{\text{уд}}$  - ударный ток КЗ, кА;  $I_{\text{кз.макс}}$  - максимальный ток КЗ, кА;  $I_{\text{у.доп}}$  - наибольшее действующее значение полного тока;  $I_t$  - ток термической стойкости, кА;  $t$  - время отключения, с;  $t_{\text{пр}}$  - время протекания тока, с;  $I_{\text{ном.пр}}$  - номинальный ток предохранителя, А;  $I_{\text{ном.откл.пр}}$  - номинальный ток отключения предохранителя, кА.

В КТП установлены выключатели нагрузки типа ВНРП-10 400/10 [16].

Каталожные данные:

$$U_{\text{ном}} = 10\text{кВ}, \quad I_{\text{ном}} = 400\text{А}, \quad i_{\text{ном.дин}} = 25\text{кА}, \quad I_t = 12,5\text{кА}, \quad t_{\text{пр}} = 1\text{с}.$$

Условия проверки:

$$10\text{кВ} \geq 10\text{кВ};$$

$$400\text{А} > 41,6\text{А};$$

$$20\text{кА} > 17,5\text{кА};$$

$$12,5\text{кА} \geq 12,5\text{кА};$$

$$10^2 * I > 8,01^2 * 0,005 \quad \text{или} \quad 100 \text{кА}^2 * c > 3,2 \text{кА}^2 * c.$$

где  $t = 0,05\text{с}$  – время перегорания предохранителя ПКТ.

Имеющийся выключатель нагрузки удовлетворяет всем требованиям.

Проверим установленный на КТП предохранитель исходя из условий:

$$U_{\text{ном.пр}} \geq U_{\text{ном.сети}};$$

$$I_{\text{откл.ном.пр}} \geq U_{\text{КЗ.мах}};$$

$$I_{\text{ном.пр}} \geq I_{\text{раб.мах}};$$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{раб.мах}}.$$

В КТП установлены предохранители типа ПКТ-103-10-80-20УЗ [3].

Каталожные данные:  $I_{\text{ном.пр}} = 400\text{А}$ ,  $I_{\text{ном.вст}} = 400\text{А}$ ,  $I_{\text{откл.ном.пр}} = 64\text{кА}$ .

$$10\text{кВ} \geq 10\text{кВ};$$

$$64\text{кА} > 17,5\text{кА};$$

$$80\text{А} > 41,5\text{А};$$

$$80\text{А} > 41,5\text{А}.$$

Проверку производили по наибольшему току КЗ и по наибольшему ударному току КЗ. Имеющийся предохранитель отвечает всем требованиям.

Произведем проверку питающих кабелей 6кВ и кабелей распределительной сети на термическую стойкость.

Пример.

Произведем проверку сечения кабеля КЛ2 – питающего кабеля КТП№2.

Согласно расчетам для КЛ2 был использован кабель марки ААБл сечением жил  $10\text{мм}^2$ , трехфазный ток короткого замыкания на шинах источника питания составляет 9,06 кА. Для защиты от токов короткого замыкания питающих линий используем вакуумный выключатель марки ВВЭ-10-31,5/630УЗ, полное время отключения выключателя составляет  $t_B = 0,055\text{с}$ .

Принимая время срабатывания релейной защиты на головном участке сети  $t_{PЗ} = 0,5 \text{ с}$ .

Определяем минимальное сечение, способное выдержать тепловой импульс.

$$F = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{кз}^2 \cdot t_{откл}}{C} = \frac{\sqrt{2} \cdot 12,5^2 \cdot (0,5 + 0,055)}{95} = 1,27 \text{ мм}^2,$$

$C = 95 \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{0,5}}{\text{мм}^2}$  – тепловая функция при номинальных условиях.

$$10 \text{ мм}^2 > 1,27 \text{ мм}^2.$$

Кабель сечением  $10 \text{ мм}^2$  подходит.

## 6.2. Проверка оборудования 0,4 кВ

Ток короткого замыкания:  $I_{K4}^{(3)} = 1,29 \text{ кА}$

Ударный ток в точке К4:  $i_{уд} = 1,82 \text{ кА}$

Проверка вводных выключателей марки ВА-51 на отключающую способность:

$$I_{пр.откл} = 12 \text{ кА} > I_K^{(3)} = 1,29 \text{ кА}.$$

Проверка по динамической стойкости:

$$I_{пр.откл} = 12 \text{ кА} > i_{уд} = 1,82 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов дальнейшей проверки оборудования на отключающую способность и динамическую стойкость сведём в таблицу 6.2.1.

Таблица 6.2.1

Точка КЗ	Ik, кА	Iуд, кА	Iпр.откл, кА
К4	1,29	1,82	12
К5	1,57	2,21	12
К6	1,54	2,18	12
К7	7,89	11,15	12
К8	7,07	9,99	12
К9	7,69	10,87	12
К10	2,47	3,50	12
К11	3,65	5,17	12
К12	8,04	11,37	12
К13	1,23	1,74	10

K14	1,20	1,70	10
K15	1,31	1,85	10
K16	6,44	9,10	10
K17	6,04	8,54	10
K18	6,15	8,70	10
K19	1,69	2,38	10
K20	2,90	4,11	10
K21	5,62	7,94	10

## 7. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

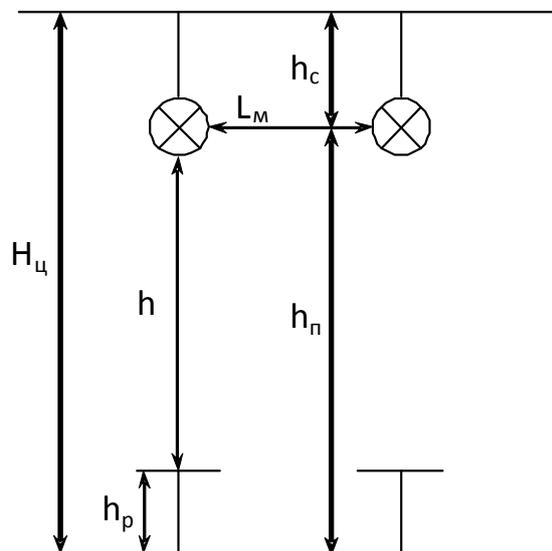
### 7.1. Светотехнический расчет освещения ремонтно-механического цеха

Освещение, его структура прямым способом влияет на процесс производства, а также на выпуск продукции. Освещение по своему назначению и исполнению делится аварийное, рабочее и эвакуационное.

Для промышленных предприятий характерно два вида освещения: рабочее и аварийное. Рабочее освещение обеспечивает надлежащую освещенность всего помещения и рабочих поверхностей, аварийное – продолжение работы или безопасную эвакуацию при аварийном отключении рабочего освещения. Участки осветительной сети от источников питания до групповых щитков освещения называют питающими, а от групповых щитков до светильников – групповыми. Питающие сети выполняются трех- и четырехпроводными, групповые линии в зависимости от протяженности и количества подключаемых ЭП могут быть двух-, трех-, и четырехпроводными. групповые щитки освещения устанавливают в центрах электрических нагрузок и в местах, удобных для обслуживания.

Питание светильников общего и аварийного освещения в помещениях без повышенной опасности производится напряжением не выше 220 В.

Технико-экономическими расчетами установлено, что наибольшая длина трехфазных четырехпроводных групповых линий осветительной сети при напряжении 380/220 В должна быть до 100 м, а в двухпроводных – 30-40 м. В каждом конкретном случае это расстояние определяется с учетом рационального размещения групповых осветительных щитков и правильного выбора марки и сечения проводников осветительной сети. Каждая линия, отходящая от **(распределительного устройства низкого напряжения) РУНН** подстанции, должна обеспечивать питание не более 5 групповых щитков освещения.



Светотехнический расчет включает в себя выбор и расположение ламп и светильников. Выбор светильников определяется характером среды в цехах, типом применяемых ламп, требованием светораспределения и экономическими показателями. При проектировании необходимо учитывать на какую поверхность рассчитывается освещенность рассеивание светового потока.

Длина цеха –  $A$ , м; ширина цеха –  $B$ , м; высота цеха –  $H_{ц}$ , м;  $h_c$  – высота подвеса светильников, м;  $h_p$  – высота рабочей поверхности, м;  $h$  – расстояние от источника до рабочей поверхности, м;  $h_n$  – высота подвеса относительно пола, м.

Задачей расчета осветительной установки является определение числа и мощности источника света или определение фактической освещенности, создаваемой спроектированной установкой.

Расчет освещения выполняется методом коэффициента использования светового потока, т.к. нет крупных затеняющих предметов.

Рабочее освещение будем производить лампами ДРИ. Воспользуемся теми лампами, которые были применены на производстве. В перспективе необходима замена ламп ДРИ на светодиодные лампы. Однако цена газоразрядной лампы – около 4 долларов, аналогичной по яркости светодиодной – 40 долларов.

### 7.1.1. Расчет рабочего освещения

Согласно ПУЭ [3] высота рабочей поверхности  $h_p =$  от 0,8 до 1 м, а высота подвеса  $h_c = 1 \div 1,2 м$ .

Параметры цеха: 55x15x10м.

Норма освещенности для данного типа цехов составляет:  $E_k = 300 лм$ .

Выполнять рабочее освещение будем с использованием ламп ДРЛ.

Для ламп ДРЛ высота подвеса составляет:  $h_c = 1,2 м$ .

Высоту рабочей поверхности принимаем:  $h_p = 0,8 м$ .

Тогда расстояние от рабочей поверхности до светильника:

$$h = H - h_c - h_p = 10 - 1,2 - 0,8 = 8 м$$

Определим расстояние между светильниками.

Расстояние между светильниками определяется из выражения:

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{L_a}{h},$$

по справочнику определяем:  $\lambda_{\text{э}} = 1$ .

Тогда:  $L_a = \lambda_{\text{э}} \cdot h = 1 \cdot 8 = 8 м$  При таком расстоянии мы можем разместить три ряда светильников, по 7 светильников в каждом.

Расстояние между рядами определяется из выражения:

$$\frac{L_a}{L_B} \leq 1,5,$$

принимаем расстояние между рядами  $L_B = 6 м$

Найдем расстояние от крайнего светильника до стены:

$$l_a = \frac{A - L_a \cdot (n - 1)}{2} = \frac{55 - 8 \cdot (7 - 1)}{2} = 3,5 м$$

Расстояние от крайнего ряда до стены:

$$l_b = \frac{B - L_B \cdot (n - 1)}{2} = \frac{15 - 6 \cdot (3 - 1)}{2} = 1,5 м.$$

Количество светильников:  $N = n_a \cdot n_B = 7 \cdot 3 = 21 шт$ .

Определим индекс помещения:  $i = \frac{(A \cdot B)}{h \cdot (A + B)} = \frac{55 \cdot 15}{8 \cdot (55 + 15)} = 1,47$ .

Принимаем светильник РСП07. По справочнику определяем коэффициент использования и коэффициенты отражения (от потолка, стен, рабочей поверхности).

$$\eta = 0,47\%, \rho_n = 70\%, \rho_c = 50\%, \rho_p = 30\%.$$

Рассчитаем световой поток создаваемый одним светильником.

$$\Phi = \frac{E_H \cdot k_z \cdot F \cdot z}{N\eta},$$

где  $E_H$  - норма освещения для цехов данного типа,  $E_H = 300 \text{лк}$ ;  $k_z$  - коэффициент запаса, для ламп ДРЛ  $k_z = 1,5$ ;  $z$  - поправочный коэффициент, для ламп ДРЛ  $z = 1,15$ ;  $F_z$  - площадь помещения;  $N$  - количество светильников;  $\eta$  - коэффициент использования.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 55 \cdot 15 \cdot 1,15}{21 \cdot 0,58} = 35052,33 \text{лм}.$$

Принимаем лампу ДРИ400.

Наименование	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм
ДРИ400	400	220	35000

Проверим отклонение светового потока от номинального

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ном} - \Phi}{\Phi_{ном}} = \frac{35000 - 35052,33}{35000} \cdot 100\% = -0,15\%.$$

Отклонение светового потока от номинального должно лежать в пределах  $\Delta\Phi = -10\% \dots +20\%$ . Лампа ДРИ400 подходит.

### 7.1.2. Расчет аварийного освещения

Норма освещения для рабочего освещения составляет 5% от рабочего, но не менее 2лк.

Высота подвеса светильников составляет 2,5м. Исходя из этих данных, произведем расчет аварийного освещения для нашего цеха.

Расчет проводим аналогично расчету рабочего освещения.

Норма освещенности аварийного освещения:

$$E_{н.а.} = 0,05 \cdot E_H = 0,05 \cdot 300 = 15 \text{лк}.$$

Определим расстояние между светильниками:

$$L_a = \lambda_{\text{э}} \cdot h = 1 \cdot 6,7 = 6,7 \text{ м.}$$

Принимаем 8м.

Определим расстояние от крайнего светильника до стены:

$$l_a = \frac{A - L_a \cdot (n - 1)}{2} = \frac{55 - 8 \cdot (7 - 1)}{2} = 3,5 \text{ м.}$$

Светильники аварийного освещения будем располагать на стенах. На одной стене разместим 6 светильников.

Общее количество светильников:

$$N = n_a \cdot n_b = 7 \cdot 2 + 5 = 19 \text{ шт.}$$

Аварийное освещение будем выполнять с использованием ламп накаливания.

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{(A \cdot B)}{h \cdot (A + B)} = \frac{55 \cdot 15}{6,7 \cdot (66 + 18)} = 1,75$$

Принимаем светильник НСП

По справочнику определяем коэффициент использования и коэффициенты отражения (от потолка, стен, рабочей поверхности).

$$\eta = 0,43\%, \rho_n = 70\%, \rho_c = 50\%, \rho_p = 30\%.$$

Рассчитаем световой поток создаваемый одним светильником.

$$\Phi = \frac{15 \cdot 1,3 \cdot 55 \cdot 15 \cdot 1,15}{19 \cdot 0,72} = 1352,38 \text{ лм.}$$

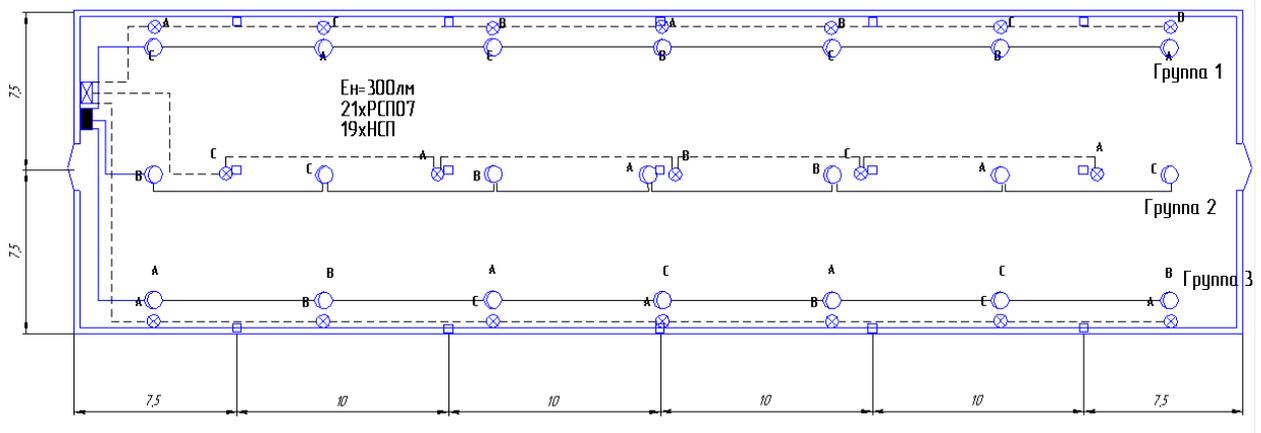
Принимаем лампу Б220-100

Наименование	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм
Б220-100	100	220	1350

Проверим отклонение светового потока от номинального

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{ном}} - \Phi}{\Phi_{\text{ном}}} = \frac{1350 - 1352,38}{1352,38} \cdot 100\% = -0,17\%$$

Отклонение светового потока от номинального должно лежать в пределах  $\Delta\Phi = -10\% \dots + 20\%$ . Лампа Б220-100 подходит.



## 7.2. Электротехнический расчет освещения ремонтно-механического цеха

Для светильников общего назначения рекомендуется напряжение не выше 380/220В переменного тока.

Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями. Запрещается присоединение сетей освещения всех видов к распределительной силовой сети.

Светильники аварийного освещения для продолжения работы, а также для эвакуации из зданий должны быть присоединены к независимому источнику питания.

Электрические осветительные сети выполняют проводами, кабелями и осветительными шинопроводами в основном с алюминиевыми жилами.

Разобьем светильники по группам. Основным критерием для определения количества светильников в группе являются потери напряжения в кабелях, питающих группы.

Для выравнивания осветительной нагрузки применяют распределение светильников по фазам. Пофазное распределение выполняется относительно фазы и нуля.

### 7.2.1. Электротехнический расчет рабочего освещения

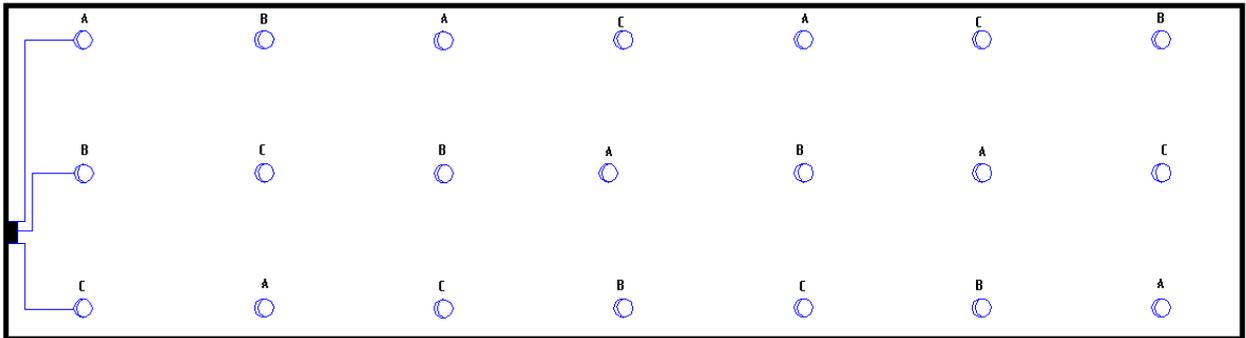
Целью электротехнического расчета освещения является определение сечения кабеля, которым будет выполнена осветительная сеть, а также определение потери напряжения в осветительной сети.

Определим расчетную нагрузку одной лампы.

$$P_{P.} = P_{уст} \cdot K_C \cdot K_{ППА} = 700 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 731,5 \text{ Вт}.$$

где  $K_C$  – коэффициент спроса;  $K_C = 0,95$  [1, стр. 271];  $K_{ППА}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре.  $K_{ППА} = 1,1$  для лампы ДРЛ.

Распределение моментов по фазам.



Момент нагрузки складывается из двух составляющих: непосредственно момент нагрузки для данного ряда и момент нагрузки учитывающий расстояние от осветительного щитка до ряда:

$$M_A = \sum P_{\phi} \cdot l_{щит} + \sum P \cdot l.$$

Определим момент нагрузки для фазы А первого ряда:

$$M_A = P \cdot l_{щит} + P \cdot (l_{щит} + 2 \cdot l_{свет})$$

$l_{щит}$  – расстояние от осветительного щита до светильника;  $l_{свет}$  – расстояние между светильниками в ряду.

$$M_A = 0,7 \cdot 10 + (10 + 2 \cdot 8) \cdot 0,7 + (10 + 4 \cdot 8) \cdot 0,7 = 55 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_B = 0,7 \cdot (10 + 8) + (10 + 6 \cdot 8) \cdot 0,7 = 53 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_C = 0,7 \cdot (10 + 3 \cdot 8) + (10 + 5 \cdot 8) \cdot 0,7 = 59 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Моменты распределены практически равномерно.

Определим расчётную нагрузку всего цеха:

$$P_{P.O.} = P_{уст} \cdot N_{РСП07} \cdot K_C \cdot K_{ППА} = 700 \cdot 21 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 15362 \text{ Вт},$$

где  $N_{РСП07}$  – количество светильников.

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \text{tg}(\arccos \varphi) = 104520 \cdot 1,44 = 22121 \text{ ВАр},$$

$$S_{P.O.} = \sqrt{P_{P.O.}^2 + Q_{P.O.}^2} = \sqrt{15362^2 + 22121^2} = 26931 \text{ВА}.$$

Определим расчетный ток рабочего освещения.

$$I_{P.O.} = \frac{P_{P.O.}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{лам}} \cos \varphi} = \frac{15362}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,59} = 40,29 \text{А},$$

где  $\cos \varphi = 0,59$  - коэффициент мощности осветительной нагрузки, для ламп ДРЛ.

Принимаем осветительный пункт ПОР8513-28. Номинальный ток которого 50А. Для защиты на ЦТП принимаем автомат ВА29 с номинальным током расцепителя  $I_{расц} = 50 \text{А}$ . Принимаем питающий кабель марки АВВГ 4х16мм<sup>2</sup> длительно-допустимый ток которого  $I_{доп} = 60 \text{А}$ .

$$I_{доп} \geq \frac{I_{РАСЦ} \cdot K_3}{K_{прокл}} \quad \text{или} \quad 60 \geq \frac{50 \cdot 1}{1} \quad \text{или} \quad 60 \geq 50,$$

где  $K_3$  - коэффициент защиты,  $K_{прокл}$  - коэффициент прокладки.

Для защиты на вводе принимаем автомат ВА29 с номинальным током расцепителя  $I_{расц} = 50 \text{А}$ .

Определим потери напряжения на головном участке (от шин ЦТП до ПОР8513-28).

$$\Delta U_{ПОР} = \frac{P \cdot l_{ЦТП}}{C \cdot F} = \frac{15,362 \cdot 15}{44 \cdot 16} = 0,3\%,$$

где: F – сечение провода; C – коэффициент, зависящий от схемы питания и материала проводника; C = 44.

Определим потери напряжения на самом удаленном светильнике:

$$M_{удл} = P \cdot l = 0,7 \cdot (48 + 11) = 41,3 \text{кВт} \cdot \text{м}.$$

Определим расчетный ток группы:

$$I_{P.гp3} = \frac{P_{P.} \cdot N_{гp3}}{U_{\text{лам}} \cos \varphi} = \frac{731,5 \cdot 2}{220 \cdot 0,59} = 11,3 \text{А}.$$

Принимаем кабель АВВГ 4х2,5мм<sup>2</sup> длительно-допустимый ток которого  $I_{доп} = 19 \text{А}$ .

Определим потери напряжения в самой удаленной лампе.

$$\Delta U_{удал.лампы} = \Delta U_{ПОР} + \frac{M_{удл}}{C \cdot F} = 0,3 + \frac{41,3}{2,5 \cdot 7,4} = 0,3 + 0,6 = 0,9\%$$

Номер группы	Лщит,м	Лсвет,м	Моменты нагрузок, кВтм			Количество светильников, шт			Токи в каждой фазе,А			Потери напряжения,%			F, кв.мм
			А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С	
Гр.1	10	8	54,6	53,2	58,8	3	2	2	16,9	11,3	11,3	2,95	2,88	3,18	2,50
Гр.2	5	8	51,8	44,1	46,2	2	3	2	11,3	16,9	11,3	2,80	2,38	2,50	2,50
Гр.3	5,4	8	52,4	52,4	44,9	2	2	3	11,3	11,3	16,9	2,83	2,83	2,43	2,50
			159	150	150	7	7	7							

### 7.2.2. Электротехнический расчет аварийного освещения

Расчет производится в том же порядке, что и для рабочего освещения результат сведем в таблицу.

Распределим светильники по фазам следующим образом (рис. 7.2.2):

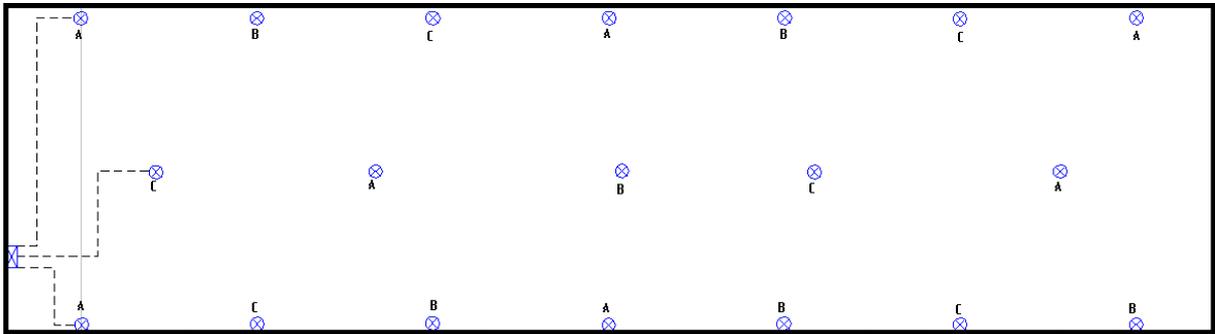


Рис. 7.2.2

Результаты расчетов для электротехнического освещения представим в таблице 7.2.2.

Таблица 7.2.2

Номер ряда	Lщит, м	Lсвет, м	Моменты нагрузок, кВтм			Количество светильников, шт			Токи в каждой фазе, А			Потери напряжения, %			F, кв.мм
			А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С	
Ряд 1	12,9	8	8,67	8,18	8,98	3	2	2	0,80	0,54	0,54	1,17	1,11	1,21	1
Ряд 2	9,8	8	3,56	4,18	5,16	2	1	2	0,54	0,27	0,54	0,48	0,56	0,70	1
Ряд 3	4,3	8	7,26	7,26	6,09	2	2	3	0,54	0,54	0,80	0,98	0,98	0,82	1
			19,5	19,6	20,2	7	5	7							

Определим расчетную нагрузку аварийного освещения.

$$P_{Ав.О.} = 100 \cdot 21 \cdot 0,95 \cdot 1,3 = 2346,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{Ав.О.} = P_{Ав.О.} \cdot \text{tg}\varphi = 2346,5 \cdot 0,2 = 469,3 \text{ кВАр},$$

$$S_{Ав.О.} = \sqrt{P_{Ав.О.}^2 + Q_{Ав.О.}^2} = \sqrt{2346,5^2 + 469,3^2} = 2392,97 \text{ Вт}.$$

Определим номинальный ток

$$I_{Ав.О.} = \frac{S_{Ав.О.}}{\sqrt{3} \cdot U_{лампы}} = \frac{2392,97}{\sqrt{3} \cdot 380} = 3,64 \text{ А}.$$

Для питания щита аварийного освещения на головном участке применим четырех проводный кабель сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ . АВВГ 4x2,5мм<sup>2</sup>

Определим потери напряжения:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l_{\text{цтп}}}{C \cdot F} = \frac{2,346 \cdot 15}{44 \cdot 2,5} = 0,32\% .$$

Для аварийного освещения принимаем осветительный пункт серии ПОР8513-26-30. Номинальный ток которого 31А.

### 7.3. Расчет осветительной нагрузки для остальных цехов

Расчет будем проводить методом удельной нагрузки на единицу площади цеха.

Для расчета осветительной нагрузки определим удельную нагрузку подробно проектируемого цеха.

Определим активную расчетную нагрузку освещения:

$$P_{p.o.} = P_{\text{учт}} \cdot N_{\text{рсп07}} \cdot K_c \cdot K_{\text{пра}} = 700 \cdot 21 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 15362 \text{ Вт} .$$

В этой формуле  $K_{\text{пра}} = 1,1$  (для ДРЛ) коэффициент учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре,  $K_c = 0,95$  (для производственных зданий) – коэффициент спроса.

Определим реактивную расчетную нагрузку освещения:

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \text{tg}(\arccos \varphi) = 104520 \cdot 1,44 = 22121 \text{ ВАр} .$$

Тогда полная удельная нагрузка освещения может быть определена по:

$$\sigma_4 = \frac{\sqrt{Q_{p.o.}^2 + P_{p.o.}^2}}{S_4} = \frac{\sqrt{15362^2 + 22121^2}}{825} = 32,64 \frac{\text{ВА}}{\text{м}^2} ,$$

где  $S_4$  – площадь цеха, индекс «4» означает что удельная нагрузка рассчитана для четвертого цеха, ремонтно-механического цеха.

Зная удельную нагрузку освещения подробно проектируемого цеха определим расчетные нагрузки освещения для остальных цехов предприятия.

Рассчитаем нагрузку освещения для механосборочного цеха. Пересчитаем удельную нагрузку исходя из минимальной рекомендуемой освещенности цеха.

$$\sigma_1 = \sigma_4 \cdot \frac{E_{H1}}{E_{H4}} = 32,64 \cdot \frac{300}{200} = 48,96 \frac{\text{ВА}}{\text{м}^2} .$$

В этой формуле  $E_{H1} = 300 \text{ Лк}$  – рекомендуемая освещенность механического цеха.

Расчетная нагрузка освещения:

$$S_{p.o.} = \frac{\sigma_1 \cdot K_c \cdot F_1}{1000} = \frac{48,96 \cdot 0,95 \cdot 1500}{1000} = 69,77 \text{ кВА.}$$

№	Наименование	Ен, лм	S, м <sup>2</sup>	σ, ВА/м <sup>2</sup>	Kc	Po, Вт	Qo, кВАр	So, кВА
1	Заводоуправление	400	800	24,483	0,95	10978,2	15023,4	18607,1
2	Столовая	200	730	48,966	0,95	20035,2	27417,7	33957,9
3	Механосборочный цех	200	900	48,966	0,95	41168,6	56337,8	69776,5
4	Ремонтно-механический цех	300	825	32,644	0,95	15361,5	22120,6	26931,3
5	Термический цех	200	800	48,966	0,95	21956,4	30046,8	37214,2
6	Склад	120	900	81,61	0,95	41168,2	56337,8	69776,5

## 8. РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### 8.1. Молниезащита

Наиболее опасным проявлением молнии с точки зрения поражения зданий и сооружений является прямой удар. Ожидаемое число поражений молнией в год зданий и сооружений высотой не более 60 метров, не оборудованных молниезащитой и имеющих неизменную высоту, определяется по формуле:

$$N = (S + 6 \times h_x)(L + 6 \times h_x) \times n \times 10^{-6} = \\ = (15 + 6 \times 10) \times (55 + 6 \times 10) \times 6 \times 10^{-6} = 0,051$$

где  $S$  - ширина защищаемого объекта, м;  $L$  - длина защищаемого объекта, м;  $h_x$  - высота объекта по его боковым сторонам, м;  $n$  - среднее число поражений молнией 1 км земной поверхности в год, значения которого принимается в зависимости от интенсивности грозовой деятельности; для рассматриваемого региона интенсивность гроз 40-60 часов в год, следовательно  $n = 6$ .

В соответствии с категорией по взрывоопасности и количеству поражений молнией в год выбираем категорию устройств молниезащиты III, зона Б.

Принимаем исполнение защиты двумя отдельно стоящими металлическими молниеотводами стержневого типа высотой 25 метров. Определяем параметры зоны защиты (рис. 8.1), учитывая, что  $L > 1,5h$ .

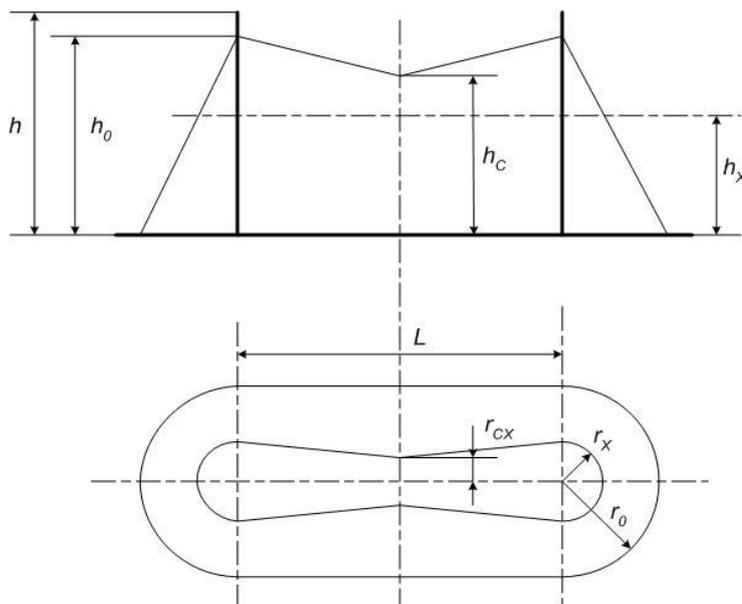


Рис. 8.1. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Расстояние между молнеотводами - 55м.

Высота зоны защиты -10 мж

$$r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 25 = 37,5 м,$$

$$r_x = 1,5 \cdot \left( h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left( 25 - \frac{10}{0,92} \right) = 21,19 м,$$

$$h_0 = 0,92 \cdot 25 = 23 м,$$

$$h_c = h_0 - 0,14 \cdot (L - 1,5 \cdot h) = 23 - 0,14 \cdot (55 - 1,5 \cdot 25) = 20,55 м,$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) / h_c = 37,5 \cdot (20,55 - 10) / 20,55 = 19,25.$$

На основании полученных значений построим зоны защиты заданного объекта на различных уровнях.

Для защиты объекта от вторичных проявлений молнии, электромагнитной и электростатической индукции и заноса высоких потенциалов в здание предусматриваем следующие мероприятия:

1. Для защиты от потенциалов, возникающих в результате электростатической индукции, надежно заземляем все проводящие элементы объекта, а также оборудование и коммуникации внутри объекта;

2. Для защиты от искрения, вызываемого электромагнитной индукцией, все параллельно расположенные металлические коммуникации соединяем металлическими перемычками;

3. Для защиты объекта от заноса высоких потенциалов присоединяем все металлические коммуникации и оболочки кабелей (в месте ввода их в объект) к заземлителю защиты от вторичных воздействий молнии. Заземляющие устройства молниеотводов должны быть удалены на нормируемое расстояние от заземляющего контура, защиты от вторичных воздействий и подземных коммуникаций объекта.

## 8.2. Заземление

Расчёт заземляющих устройств сводится к расчёту заземлителя, так как заземляющие проводники в большинстве случаев принимают по условиям механической прочности и стойкости к коррозии по ПУЭ.

Расчет сопротивления заземлителя производится в следующем порядке:

1. В соответствии с ПУЭ устанавливается допустимое сопротивление заземляющего устройства  $R_z$ :

Согласно ПУЭ сопротивление заземления устройства  $R_z$  не должно превышать 4 Ом, следовательно  $R_z = 4$  Ом.

2. С учетом отведенной территории намечают расположение заземлителей: размещение заземлителей по контуру; вертикальные - стальные стержни диаметром 18 мм; горизонтальные - из полосовой стали, расположенные ниже уровня земли:  $l = 2$  м, глубина = 0,7 м.

3. Сопротивление искусственного заземлителя, с учетом использования естественного заземлителя, включенного параллельно принимается равным нулю, т.е. проектируется без использования естественных заземлителей:

$$R_{и} = 1/R_z - 1/R_e = 4 \text{ Ом.}$$

4. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта суглинок  $P_p$  для горизонтальных и вертикальных электродов с учётом повышающего коэффициента  $K_{II}$  учитывающего промерзание грунта зимой и высыхания его летом.  $K_{II}$  выбираем по [6].

$$P_{P.Г} = P_p \cdot K_{II} = 300 \cdot 1,8 = 540 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$P_{P.В} = P_p \cdot K_{IIВ} = 300 \cdot 1,5 = 450 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

5. Сопротивление растеканию одного вертикального электрода стержневого типа определяем по формуле из [6]:

$$\begin{aligned} R_{BOЭ} &= \frac{\rho_{ps}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) = \\ &= \frac{450}{2 * 3,14 * 2} \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,018} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 204,4 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

6. Ориентировочное число вертикальных электродов при предварительно принятом по [6] коэффициенте использования  $K_{и.в}=0,66$

$$N = \frac{R_{BOЭ}}{K_{и.в} \cdot R_{и}} = \frac{204,4}{0,66 \cdot 4} = 177,4 \approx 178 \text{шт.}$$

7. Определяем сопротивление растеканию горизонтального электродов по формуле:

$$R_{ргЭ} = \frac{R_{гЭ}}{K_{и.гЭ}} = \frac{\rho_{рг}}{K_{и.г} 2\pi l} \ln \frac{l^2}{d * t} = \frac{540}{2 \cdot 3,14 \cdot 248 \cdot 0,46} \cdot \ln \frac{248^2}{0,018 \cdot 0,7} = 11,07 \text{Ом},$$

где  $l = 248 \text{ м}$  - периметр контура расположения электродов.

8. Уточним необходимое сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{вЭ} = \frac{R_{ргЭ} * R_{и}}{R_{ргЭ} - R_{и}} = \frac{11,07 \cdot 4}{11,07 - 4} = 6,26 \text{Ом}.$$

9. Определяем число вертикальных электродов с учетом уточненного коэффициента использования  $K_{и.в} = 0,65$ , принятом из [6].

$$N = \frac{R_{ОВЭ}}{K_{и.в} \cdot R_{и}} = \frac{204,36}{0,65 \cdot 6,26} = 50,2 \approx 50 \text{шт.}$$

Окончательно принимаем количество вертикальных электродов равным 50, расположенных по контуру цеха с отступом в 5 метров от стен здания.

## **9. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ ЦЕХОВОЙ СЕТИ И РАСЧЕТ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ**

Качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции. Качество электрической энергии в значительной степени влияет на технологический процесс промышленного производства и качества выпускаемой продукции, на расход электрической энергии, на все параметры СЭС промышленного предприятия. И зависит не только от питающей СЭС, но и от промышленных потребителей, так как на современных предприятиях имеется значительное количество специальных электроустановок, снижающих качество электроэнергии.

Из всех показателей качества электроэнергии отклонение напряжения вызывают наибольший ущерб.

Для того чтобы отклонения напряжения не превышало допустимых пределов, применяются различные средства и способы регулирования напряжения. Под регулированием напряжения понимают комплекс мер по ограничению отклонений напряжения у ЭП промышленных предприятий в установленных пределах. Регулирование напряжения улучшает режим напряжения у потребителей, тем самым повышает качества поставляемой электроэнергии.

Регулирование напряжения можно осуществлять как средствами энергосистемы, так и средствами регулирования, установленными на самом предприятии, с учетом специфических особенностей технологического процесса производства.

Как было рассмотрено выше установка компенсирующих устройств не требуется. Поэтому используется только регулирование напряжения с помощью ПБВ трансформатора.

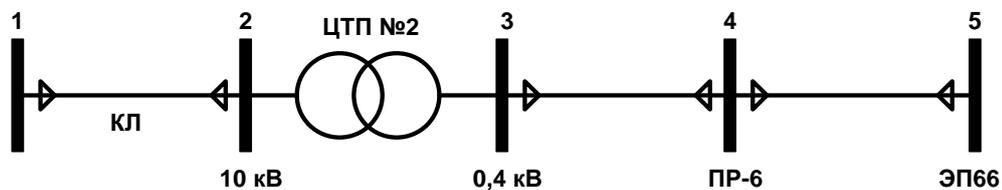
Расчёт отклонения напряжения ведём в трёх режимах:

- а) максимальный:  $U_{III} = 1,05U_{ном}$ ;
- б) минимальный:  $U_{III} = U_{ном}$ ;
- в) послеаварийный:  $U_{III} = 1,1 \cdot U_{ном}$ .

### 9.1. Анализ качества напряжения для самого мощного электроприемника

Самым мощным электроприемником является электроприемник №66: Станок токарно-карусельный.

$$P_{ЭП66} = 54,0 \text{ кВт}; I_{ЭП45} = 91,16 \text{ А}.$$



#### Расчет максимального режима.

Напряжение источника питания в максимальном режиме:

$$U_{III} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}.$$

Участок 1-2:

Определим сопротивление питающей кабельной линии от ГПП до ЦТП-2.

$$r = 2,94 \text{ Ом},$$

$$x = 0,012 \text{ Ом}.$$

$$\Delta U_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 18,2 \cdot 0,16 \cdot (2,94 \cdot 0,9 + 0,12 \cdot 0,43) = 13,58 \text{ В},$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 13,58 = 10486,71 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_2 = \left| \frac{U_2 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{10486,71 - 10500}{10500} \right| \cdot 100\% = 0,129\%.$$

Участок 2-3:

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi),$$

где  $U_a$  и  $U_B$  – активная и реактивная составляющая напряжения;  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора.

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_{ном}} \cdot 100\% = \frac{5,5}{400} \cdot 100\% = 1,37\%,$$

$$U_B = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,37^2} = 4,28\%.$$

$$\beta = \frac{S_{расч}}{S_{ном}} = \frac{502,1}{400 \cdot 2} = 0,623,$$

$$\alpha = \frac{U_0}{U_{ном}} = \frac{380}{400} = 0,95.$$

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi) = 0,95 \cdot 0,623 \cdot (1,375 \cdot 0,9 + 4,28 \cdot 0,43) = 1,85B.$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{TP} = 10486,41 - 1,85 = 10484,56B.$$

Приведем потери напряжения к стороне 0,4кВ:

$$U_3' = 10484,56 \cdot \frac{0,4}{10} = 398,41B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \left| \frac{U_3' - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{398,41 - 400}{400} \right| \cdot 100\% = 0,39\%.$$

Участок 3-4. Потери напряжения в кабельной линии ЦТП – ПР 6.

Параметры кабельной линии:

$$r = 0,31\text{Ом}, x = 0,083\text{Ом}, \text{длина линии } 24,3 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 91,16 \cdot 0,0243 \cdot (0,31 \cdot 0,9 + 0,083 \cdot 0,43) = 1,2B,$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 398,41 - 1,2 = 397,2B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \left| \frac{U_4 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{397,2 - 400}{400} \right| \cdot 100\% = 0,69\%.$$

Участок 4-5. Потери напряжения в кабельной линии от ПР-6 до электроприемника.

Параметры кабельной линии:

$$r = 0,24\text{Ом}, x = 0,09\text{Ом}, \text{длина линии } 10,7 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{45} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 91,16 \cdot 0,00107 \cdot (0,24 \cdot 0,9 + 0,081 \cdot 0,43) = 0,7B$$

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 397,2 - 0,7 = 396,49B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \left| \frac{U_5 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{396,49 - 400}{400} \right| \cdot 100\% = 0,87\% .$$

Потери напряжения не превышают допустимые пределы  $\pm 5\%$  .

Построим диаграмму отклонения напряжений (рис. 9.1.1).

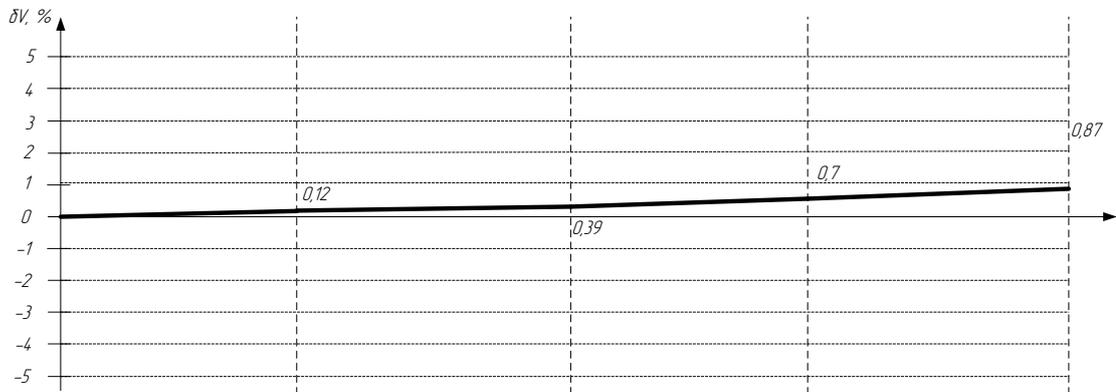


Рис. 9.1.1. Диаграмма отклонений напряжения в максимальном режиме

### ***Расчет минимального режима.***

По годовому графику нагрузок для данной отрасли промышленности определяем соотношение между максимальным и минимальным режимом:

$$\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,6 .$$

Пересчитаем отклонения напряжений на стороне ВН.

$$U_{ном} = 10000B .$$

Участок 1-2.

Токи и потери напряжения прямо пропорциональны мощности, поэтому можно воспользоваться следующими выражениями для определения отклонений напряжения в минимальном режиме.

$$\Delta U_{12} = 0,6 \cdot \Delta U_{12, \max} = 0,6 \cdot 13,58 = 8,14B,$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10000 - 8,14 = 9991,85B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_2 = \left| \frac{U_2 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{9991,85 - 10000}{10000} \right| \cdot 100\% = 0,081\% .$$

Участок 2-3

Потери напряжения в трансформаторе.

$$\Delta U_{23} = 0,6 \cdot \Delta U_{TP.\max} = 0,6 \cdot 1,85 = 1,1B,$$
$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 9991,85 - 1,1 = 9990,73B.$$

Приведем потери напряжения к стороне 0,4кВ:

$$U_3' = 9990,73 \cdot \frac{0,38}{10} = 379,64B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \left| \frac{U_3 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{379,64 - 380}{380} \right| \cdot 100\% = 0,09\%.$$

Участок 3-4.

$$\Delta U_{34} = 0,6 \cdot \Delta U_{34.\max} = 0,6 \cdot 1,2 = 0,72B,$$
$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 379,64 - 0,72 = 378,92B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \left| \frac{U_4 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{378,92 - 380}{380} \right| \cdot 100\% = 0,28\%.$$

Участок 4-5

$$\Delta U_{45} = 0,6 \cdot \Delta U_{45.\max} = 0,6 \cdot 0,71 = 0,42B,$$
$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 378,92 - 0,42 = 378,49B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \left| \frac{U_5 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{378,49 - 380}{380} \right| \cdot 100\% = 0,39\%.$$

Потери напряжения не превышают допустимые пределы  $\pm 5\%$ .

Построим диаграмму отклонения напряжений (рис. 9.1.2).

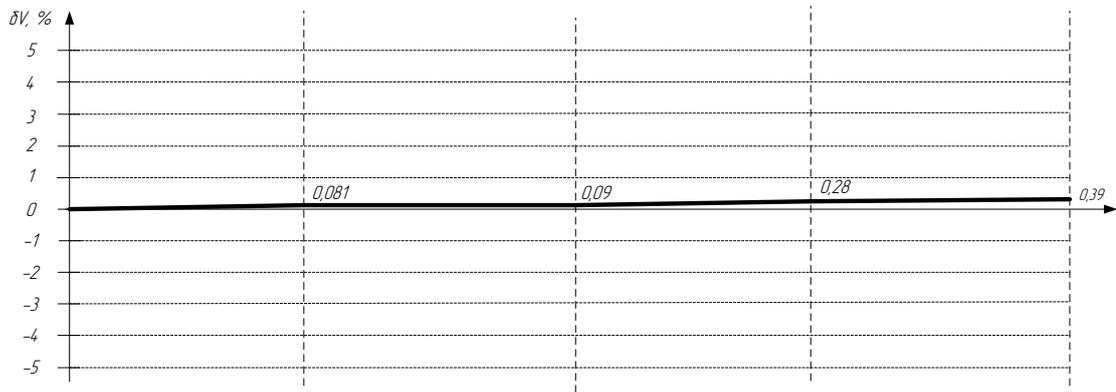


Рис. 9.1.2. Диаграмма отклонений напряжения в минимальном режиме

### **Расчет послеаварийного режима.**

Напряжение источника питания в аварийном режиме:

$$U_{ИП} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ кВ}.$$

Участок 1-2:

Определим сопротивление питающей кабельной линии от ГПП до ЦТП-2.

$$r = 2,94 \text{ Ом},$$

$$x = 0,012 \text{ Ом}.$$

$$\Delta U_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 18,2 \cdot 0,16 \cdot (2,94 \cdot 0,9 + 0,12 \cdot 0,43) = 13,58 \text{ В},$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 11000 - 13,58 = 10986,71 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_2 = \left| \frac{U_2 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{10986,71 - 11000}{11000} \right| \cdot 100\% = 0,123\%.$$

Участок 2-3:

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{ТР}} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi),$$

где  $U_a$  и  $U_B$  – активная и реактивная составляющая напряжения;  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора.

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{5,5}{400} \cdot 100\% = 1,37\%,$$

$$U_B = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,37^2} = 4,28\%.$$

$$\beta = \frac{S_{расч}}{S_{ном}} = \frac{502,1}{400 \cdot 2} = 0,623,$$

$$\alpha = \frac{U_0}{U_{ном}} = \frac{380}{400} = 0,95.$$

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi) = 0,95 \cdot 0,623 \cdot (1,375 \cdot 0,9 + 4,28 \cdot 0,43) = 1,85 B.$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{TP} = 10986,41 - 1,85 = 10985,56 B.$$

Приведем потери напряжения к стороне 0,4кВ:

$$U_3^{\wedge} = 10985,56 \cdot \frac{0,4}{10} = 417,41 B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \left| \frac{U_3^{\wedge} - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{417,41 - 418}{418} \right| \cdot 100\% = 0,14\%.$$

Участок 3-4. Потери напряжения в кабельной линии ЦТП – ПР 6.

Параметры кабельной линии:

$$r = 0,31 \text{ Ом}, x = 0,083 \text{ Ом}, \text{ длина линии } 24,3 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 91,16 \cdot 0,0243 \cdot (0,31 \cdot 0,9 + 0,083 \cdot 0,43) = 1,2 B,$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 417,41 - 1,2 = 416,2 B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \left| \frac{U_4 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{416,2 - 418}{418} \right| \cdot 100\% = 0,42\%.$$

Участок 4-5. Потери напряжения в кабельной линии от ПР-6 до электроприемника

Параметры кабельной линии:

$$r = 0,24 \text{ Ом}, x = 0,09 \text{ Ом}, \text{ длина линии } 10,7 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{45} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 91,16 \cdot 0,00107 \cdot (0,24 \cdot 0,9 + 0,081 \cdot 0,43) = 0,7 B,$$

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 416,2 - 0,7 = 415,49 B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \left| \frac{U_5 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{415,49 - 418}{418} \right| \cdot 100\% = 0,59\% .$$

Потери напряжения не превышают допустимые пределы  $\pm 5\%$ .

Построим диаграмму отклонения напряжений (рис. 9.3).

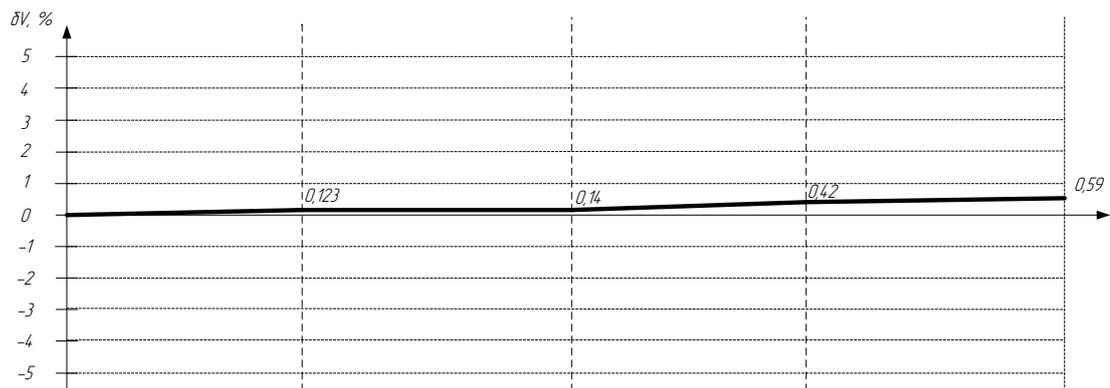
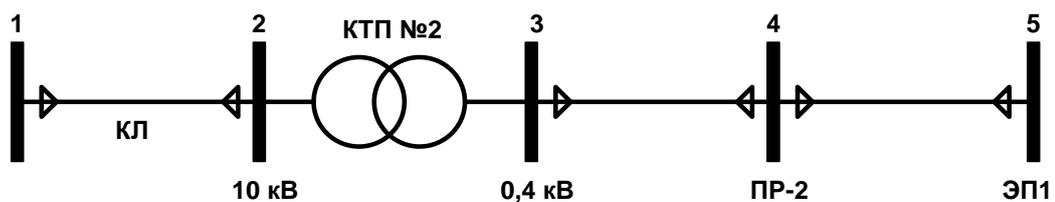


Рис. 9.1.3. Диаграмма отклонений напряжения в послеаварийном режиме

## 9.2. Анализ качества напряжения для самого удаленного электроприемника

Самым удаленным является электроприемник №1. Копировальный станок.



Расчет максимального режима.

Напряжение источника питания в максимальном режиме:

$$U_{III} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}.$$

Участок 1-2:

Определим сопротивление питающей кабельной линии от ГПП до ЦТП-2.

$$r = 2,94 \text{ Ом},$$

$$x = 0,012 \text{ Ом}.$$

$$\Delta U_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 18,2 \cdot 0,16 \cdot (2,94 \cdot 0,65 + 0,12 \cdot 0,75) = 10,08 \text{ В},$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 10,08 = 10489,92 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_2 = \left| \frac{U_2 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{10489,92 - 10500}{10500} \right| \cdot 100\% = 0,09\%.$$

Участок 2-3:

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi),$$

где  $U_a$  и  $U_B$  – активная и реактивная составляющая напряжения;  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора.

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_{ном}} \cdot 100\% = \frac{5,5}{400} \cdot 100\% = 1,37\%,$$

$$U_B = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,37^2} = 4,28\%.$$

$$\beta = \frac{S_{расч}}{S_{ном}} = \frac{502,1}{400 \cdot 2} = 0,623,$$

$$\alpha = \frac{U_0}{U_{ном}} = \frac{380}{400} = 0,95.$$

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi) = 0,95 \cdot 0,623 \cdot (1,375 \cdot 0,65 + 4,28 \cdot 0,75) = 2,47 В.$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{TP} = 10489,92 - 2,47 = 10487,44 В.$$

Приведем потери напряжения к стороне 0,4кВ:

$$U_3^{\cdot} = 10487,44 \cdot \frac{0,4}{10} = 398,52 В.$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \left| \frac{U_3^{\cdot} - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{398,52 - 400}{400} \right| \cdot 100\% = 0,369\%.$$

Участок 3-4. Потери напряжения в кабельной линии ЦТП – ПР 6.

Параметры кабельной линии:

$$r = 0,84 Ом, x = 0,09 Ом, \text{ длина линии } 42,6 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 11,53 \cdot 0,0426 \cdot (0,65 \cdot 0,84 + 0,09 \cdot 0,73) = 6,02 В,$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 398,52 - 6,02 = 392,49 В.$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \left| \frac{U_4 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{392,49 - 400}{400} \right| \cdot 100\% = 1,87\%.$$

Участок 4-5. Потери напряжения в кабельной линии от ПР-6 до электроприемника.

Параметры кабельной линии:

$$r = 7,74 \text{ Ом}, x = 0,095 \text{ Ом}, \text{ длина линии } 15,9 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{45} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 11,53 \cdot 0,00159 \cdot (7,74 \cdot 0,65 + 0,095 \cdot 0,73) = 1,62 \text{ В},$$

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 392,49 - 1,62 = 390,87 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \left| \frac{U_5 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{390,87 - 400}{400} \right| \cdot 100\% = 2,287\%.$$

Потери напряжения не превышают допустимые пределы  $\pm 5\%$ .

Построим диаграмму отклонения напряжений (рис. 9.2.1).

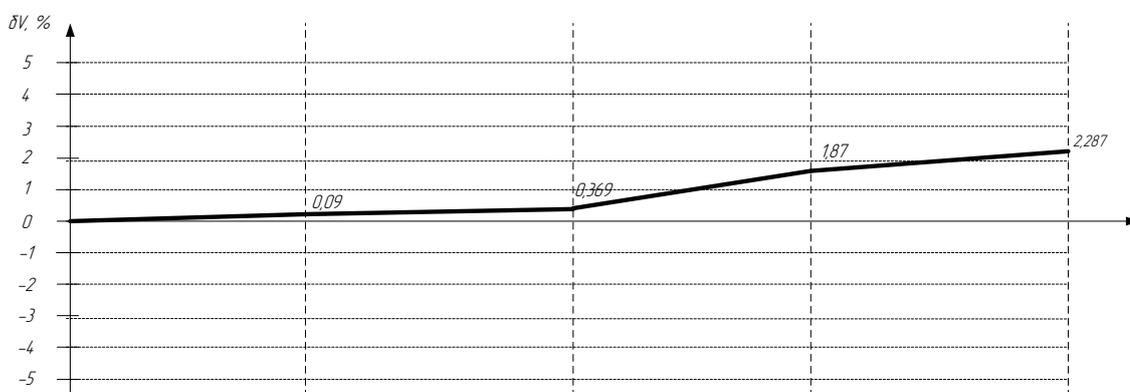


Рис. 9.2.1. Диаграмма отклонений напряжения в максимальном режиме

Расчет минимального режима.

По годовому графику нагрузок для данной отрасли промышленности определяем соотношение между максимальным и минимальным режимом.

$$\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,6.$$

Пересчитаем отклонения напряжений на стороне ВН.

$$U_{\text{ном}} = 10000 \text{ В}.$$

Участок 1-2

Токи и потери напряжения прямо пропорциональны мощности, поэтому можно воспользоваться следующими выражениями для определения отклонений напряжения в минимальном режиме.

$$\begin{aligned}\Delta U_{12} &= 0,6 \cdot \Delta U_{12.\max} = 0,6 \cdot 10,08 = 6,049B, \\ U_2 &= U_1 - \Delta U_{12} = 10000 - 6,049 = 9993,95B.\end{aligned}$$

Отклонение напряжения:

$$V_2 = \left| \frac{U_2 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{9993,95 - 10000}{10000} \right| \cdot 100\% = 0,06\%.$$

Участок 2-3

Потери напряжения в трансформаторе.

$$\begin{aligned}\Delta U_{23} &= 0,6 \cdot \Delta U_{TP.\max} = 0,6 \cdot 2,47 = 1,48B, \\ U_3 &= U_2 - \Delta U_{23} = 9993,95 - 1,48 = 9992,46B.\end{aligned}$$

Приведем потери напряжения к стороне 0,4кВ:

$$U_3' = 9992,46 \cdot \frac{0,38}{10} = 379,71B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \left| \frac{U_3' - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{379,71 - 380}{380} \right| \cdot 100\% = 0,07\%.$$

Участок 3-4

$$\begin{aligned}\Delta U_{34} &= 0,6 \cdot \Delta U_{34.\max} = 0,6 \cdot 6,027 = 3,61B, \\ U_4 &= U_3 - \Delta U_{34} = 379,71 - 3,61 = 376,09B.\end{aligned}$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \left| \frac{U_4 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{376,09 - 380}{380} \right| \cdot 100\% = 1,028\%.$$

Участок 4-5.

$$\begin{aligned}\Delta U_{45} &= 0,6 \cdot \Delta U_{45.\max} = 0,6 \cdot 1,62 = 0,97B, \\ U_5 &= U_4 - \Delta U_{45} = 376,09 - 0,97 = 375,12B.\end{aligned}$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \left| \frac{U_5 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{375,12 - 380}{380} \right| \cdot 100\% = 1,28\%.$$

Потери напряжения не превышают допустимые пределы  $\pm 5\%$

Построим диаграмму отклонения напряжений (рис. 9.2.2).

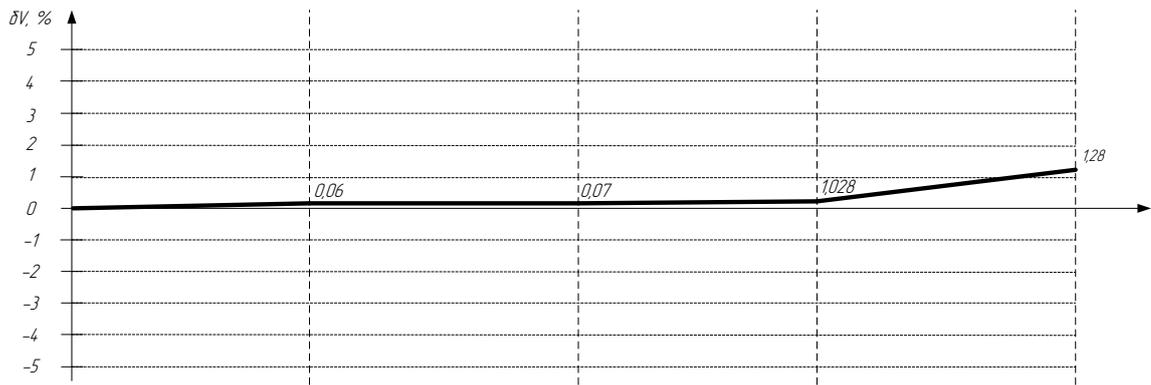


Рис. 9.2.2. Диаграмма отклонений напряжения в минимальном режиме  
Расчет послеаварийного режима.

Напряжение источника питания в аварийном режиме:

$$U_{III} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ кВ}.$$

Участок 1-2:

Определим сопротивление питающей кабельной линии от ГПП до ЦТП-2.

$$r = 2,94 \text{ Ом},$$

$$x = 0,012 \text{ Ом}.$$

$$\Delta U_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 18,2 \cdot 0,16 \cdot (2,94 \cdot 0,65 + 0,12 \cdot 0,75) = 10,08 \text{ В},$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 11000 - 10,08 = 10989,9 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_2 = \left| \frac{U_2 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{10989,9 - 11000}{11000} \right| \cdot 100\% = 0,09\%.$$

Участок 2-3:

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi),$$

где  $U_a$  и  $U_B$  – активная и реактивная составляющая напряжения;  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора.

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{5,5}{400} \cdot 100\% = 1,37\%,$$

$$U_B = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,37^2} = 4,28\%.$$

$$\beta = \frac{S_{расч}}{S_{ном}} = \frac{502,1}{400 \cdot 2} = 0,623,$$

$$\alpha = \frac{U_0}{U_{ном}} = \frac{380}{400} = 0,95.$$

$$\Delta U_{TP} = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_B \cdot \sin \varphi) = 0,95 \cdot 0,623 \cdot (1,375 \cdot 0,65 + 4,28 \cdot 0,75) = 2,47B.$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{TP} = 10989,9 - 2,47 = 10987,4B.$$

Приведем потери напряжения к стороне 0,4кВ:

$$U_3' = 10987,4 \cdot \frac{0,4}{10} = 417,52B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \left| \frac{U_3' - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{417,52 - 418}{418} \right| \cdot 100\% = 0,114\%.$$

Участок 3-4. Потери напряжения в кабельной линии ЦТП – ПР 2.

Параметры кабельной линии:

$$r = 0,84\text{Ом}, x = 0,09\text{Ом}, \text{длина линии } 42,6 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 11,53 \cdot 0,0426 \cdot (0,65 \cdot 0,84 + 0,09 \cdot 0,73) = 6,02B,$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 417,52 - 6,02 = 411,49B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \left| \frac{U_4 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{411,49 - 418}{418} \right| \cdot 100\% = 1,55\%.$$

Участок 4-5. Потери напряжения в кабельной линии от ПР-2 до электроприемника

Параметры кабельной линии:

$$r = 7,74\text{Ом}, x = 0,095\text{Ом}, \text{длина линии } 15,9 \text{ метра.}$$

$$\Delta U_{45} = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 11,53 \cdot 0,00159 \cdot (7,74 \cdot 0,65 + 0,095 \cdot 0,73) = 1,62B,$$

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 411,49 - 1,62 = 409,87B.$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \left| \frac{U_5 - U_{ном}}{U_{ном}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{409,87 - 418}{418} \right| \cdot 100\% = 1,94\%.$$

Потери напряжения не превышают допустимые пределы  $\pm 5\%$

Построим диаграмму отклонения напряжений (рис. 9.2.3).

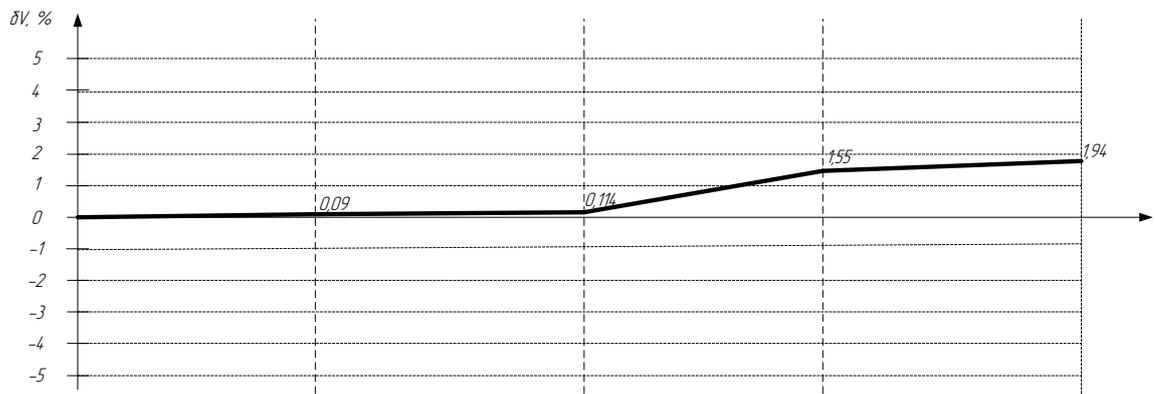


Рис. 9.2.3. Диаграмма отклонений напряжения в послеаварийном режиме

## РАЗДЕЛ 10. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 10.1. Технико-экономическое сравнение вариантов внутрицехового электроснабжения

Технико-экономические расчеты выполняют для выбора:

- 1) наиболее рациональной схемы электроснабжения цеха и предприятия в целом;
- 2) экономически обоснованного числа, мощности и режима работы трансформаторов ЦТП.

Целью технико-экономических расчетов является определение оптимального варианта схемы, параметров электросети и ее элементов. В технико-экономическом сравнении используют укрупненные показатели стоимости элементов системы электроснабжения.

Критерием экономичности является минимум приведённых затрат, грн/год:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + I_i; \quad (10.1)$$

где  $K$  – единовременные капитальные вложения:

$$K = K_{\text{уд.КЛ}} \cdot l_{\text{КЛ}} + K_{\text{уд.СП}} \cdot n_{\text{СП}} + K_{\text{уд.ШП}} \cdot l_{\text{ШП}} + K_{\text{уд.АВ}} \cdot n_{\text{АВ}} + K_{\text{уд.ПР}} \cdot n_{\text{ПР}}, \quad (10.2.)$$

где  $K_{\text{уд.}}$  - цена одного метра кабельной линии (КЛ), шинпровода (ШП) или цена одного выключателя, предохранителя, силового пункта и т.д., грн/м (грн/шт);  $l$  - длина кабельной линии, шинпровода, м;  $n$  - количество выключателей, предохранителей и т. д.;  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, (1/год);  $E_n = 0,12, [5]$ ;  $I$  - годовые издержки производства, грн/год.

Ежегодные издержки определяются по формуле:

$$I = I_{\text{кл}} + I_{\text{а.ор}} + I_n; \quad (10.2)$$

где  $I_{\text{кл}}$  и  $I_{\text{а.ор}}$  – издержки на текущий ремонт и амортизацию для кабельных линий и остального электрооборудования соответственно;  $I_n$  – стоимость потерь электроэнергии (э/э), грн.

Издержки для кабельных линий определяются по формуле:

$$I_{кл} = \frac{O_a + O_o + O_p}{100} \cdot K_{кл}; \quad (10.3)$$

где  $O_a$  - отчисления на амортизацию;  $O_o$  - отчисления на обслуживание;  $O_p$  - отчисление на ремонт.

Для остального электрооборудования формула аналогична.

Стоимость потерь э/э определяется по формуле:

$$I_n = \beta \cdot \Delta W_{зод}; \quad (10.4)$$

где  $\beta = 1,49$  – стоимость одного киловатта в час потерь э/э, грн/кВт·ч.

Издержки на амортизацию, обслуживание и ремонт, грн/год.

$$I_{аор} = \frac{a \cdot K}{100}, \quad (10.5)$$

где  $a$  - общие нормы отчислений от капиталовложений для электрооборудования.

Потери электроэнергии в электроустановке в год, кВт ч;

$$\Delta W_{зод} = \tau \cdot \Delta P_{\max} = \Delta P_{\max} \cdot \left(0,124 + \frac{T_{нб}}{10000}\right)^2 \cdot 8760, \quad (10.6)$$

где  $\Delta P_{\max}$  - максимальные потери, кВт; 8760 – число часов в году;  $T_{нб}$  - число часов использования максимума нагрузки, принимается в зависимости от сменности, для данного цеха  $T_{нб} = 4000ч$ .

Сведём в таблицы 10.1.1 и 10.1.2 стоимости элементов электрических сетей для первого и второго вариантов соответственно.

### **Вариант 1.**

Схема второго уровня электроснабжения ремонтно-механического цеха содержит девять распределительных пунктов. Распределительные пункты выбираются и учетом расчетного тока определенного по методу упорядоченных диаграмм, и с учетом количества присоединений силового пункта.

Таблица 10.1.1

Наименование	Цена Куд за шт. или за метр, грн	Количество n, шт. или длина l, м	Капиталовложение, К, грн
Кабели			
АВВГ 4x4	8,3	356,11	2955,7
АВВГ 4x6	11,1	14,05	156,0
АВВГ 4x10	17,5	13,55	237,1
АВВГ 4x35	54,6	17,9	977,3
АВВГ 4x120	161,9	20	3238,0
Кабели на 10 кВ			
АВВГ 4x95	134,0	57,17	7660,8
АВВГ 4x150	202,1	33,84	6839,1
АВВГ 4x10	17,5	177,42	3104,9
АВВГ 4x70	108,8	14,79	1609,2
Силовые пункты			
ПР8513-31-00-ИХХ-21	4039,2	1	4039,2
ПР8513-31-00-ИХХ-21	4039,2	1	4039,2
ПР8513-29-00-3ХХ-21	5826,4	1	5826,4
ПР8513-37-00-2ХХ-21	10487,9	1	10487,9
ПР8513-35-10-ИХХ-21	6014,2	1	6014,2
ПР8513-35-10-ИХХ-22	6014,2	1	6014,2
ПР8513-29-00-3ХХ-21	5826,4	1	5826,4
ПР8513-29-00-3ХХ-22	5826,4	1	5826,4
ПР8513-35-10-ИХХ-22	6014,2	1	6014,2
Выключатели автоматические			
ВА51	964,4	1	964,4
ВА51	964,4	1	964,4
ВА51	964,4	1	964,4
ВА51-39	2589,4	1	2589,4
ВА51-35	1089	1	1089
ВА51-35	1089	1	1089
ВА51	964,4	1	964,4
ВА51	964,4	1	964,4
ВА51-35	1089	1	1089
АЕ2040-10	387	23	8901
АЕ2040-16	387	28	10836
АЕ2040-20	387	4	1548
АЕ2040-25	387	3	1161
АЕ2040-40	387	7	2709
АЕ2040-80	645	2	1290
ВА51-35	2645	3	7935
		Итого	125924,6

### **Вариант 2.**

Данная схема выполнена с использованием двух шинопроводов ШРА-73 и двух распределительных пунктов.

Таблица 10.1.2

Наименование	Цена Куд за шт. или за метр, грн	Количество n, шт. или длина l, м	Капиталовложение, К, грн
<b>Кабели</b>			
АВВГ 4x4	227,96454	8,3	1892,105682
АВВГ 4x6	11,189224	11,1	124,2003864
АВВГ 4x10	12,898994	17,75	228,9571435
АВВГ 4x35	12,301807	55,5	682,7502885
<b>Кабели на 10 кВ</b>			
АВВГ 4x150	10,9	202,3	2205,07
АВВГ 4x70	40,7	217,5	8852,25
АВВГ 4x120	67,29	134	9016,86
АВВГ 4x150	10,9	202,3	2205,07
<b>Силовые пункты</b>			
ПР8513-35-10-ИХХ-21	6014,2	1	6014,2
ПР8513-35-10-ИХХ-21	6014,2	1	6014,2
<b>Шинопроводы</b>			
ШРА-1			
ШРА-73			
ШРА-2			
ШРА-73			
Конструктивный элемент	5105,6	12	61267,6
Секция прямая прогоночная	5530,9	2	11061,7
Секция вводная	560,1	2	1120,1
Заглушка торцовая	3996,3	62	247771,5
Коробка ответвительная АЕ2040	4267,0	2	8534,0
Элементы крепежа	4335	12	27048,9
<b>Выключатели автоматические</b>			
ВА51-37	2603,5	3	7810,5
АЕ2040	380,9	3	1142,8
ВА51-39	3944,6	2	7889,2
ВА51-35	3105	2	6210
		Итого	417091,96

### **Технико-экономическое сравнение вариантов на 0,4кВ**

#### **Вариант 1.**

Издержки на амортизацию, обслуживание и ремонт, грн/год:

$$I_{aopl} = \frac{4,3 \cdot 125924,6}{100} = 5414,8.$$

Определим суммарные потери энергии, кВт·ч:

$$\Delta W_{год1} = \Delta P_{\Sigma 1} \cdot \tau = 0,8 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 1902,3.$$

Издержки вызванные потерями электроэнергии:

$$I_{noml} = \beta \cdot \Delta W_{год1} = 1,49 \cdot 1902,3 = 2834,4 \text{ грн/год.}$$

Полные издержки:

$$I_1 = I_{aop1} + I_{ном1} = 5414,8 + 2834,4 = 8249,1 \text{ грн/год.}$$

Тогда полные приведённые затраты будут равны:

$$Z_{црс1} = I_1 + E_n \cdot K_1 = 8249,1 + 0,12 \cdot 125924,6 = 23360,0 \text{ грн/год.}$$

### **Вариант 2.**

Издержки на амортизацию, обслуживание и ремонт, грн/год:

$$I_{aop2} = \frac{4,3 \cdot 417091,96}{100} = 17934,9 \text{ грн/год.}$$

Определим суммарные потери энергии, кВт·ч:

$$\Delta W_{год2} = \Delta P_{\Sigma 2} \cdot \tau = 0,8 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 1902,3.$$

Издержки на потери э/э, грн:

$$I_{ном2} = \beta \cdot \Delta W_{год2} = 1,49 \cdot 1902,3 = 2834,4.$$

Полные издержки, грн/год:

$$I_2 = I_{aop2} + I_{ном2} = 17934,9 + 2834,4 = 20769,4.$$

Тогда полные приведённые затраты будут равны:

$$Z_{црс2} = I_2 + E_n \cdot K_2 = 20769,4 + 0,12 \cdot 417091,96 = 79162,3 \text{ грн/год.}$$

Определим разность, %:

$$\Delta Z = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2} = \left| \frac{79162,3 - 23360}{79162,3} \right| \cdot 100\% = 70\% .$$

*По результатам расчётов можно сделать вывод, что первый вариант схемы сети (с применением кабелей) более экономичен, чем второй, ему и отдадим предпочтение.*

## **10.2. Технико-экономическое сравнение вариантов электроснабжения цехов предприятия**

Проведем технико-экономическое сравнение вариантов электроснабжения цехов предприятия. Сведём в таблицы 10.1.3 и 10.1.4 стоимости элементов электрических сетей для первого и второго вариантов соответственно.

### Вариант 1.

Таблица 10.1.3

Название кабеля	Марка кабеля	Сечение, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Цена, грн/метр	Общая стоимость, грн
1	2	3	4	5	6
<b>Кабели силовые</b>					
ГПП-ЦТП№1	ААБл	10	220,0	60,254	13255,88
ГПП-ЦТП№2	ААБл	10	160,0	60,254	9640,64
ГПП-ЦТП№3	ААБл	70	170,0	90,86	15446,2
Итого					38350,72

Результаты расчетов по ЦТП сведем в таблицу

Номер ЦТП	Наименование	Цена Куд за шт. или за метр, грн	Количество n, шт. или длина l, м	Капиталовложение, К, грн
1	2	3	4	5
ЦТП1	ТМЗ-400-10/0,4	60000	2	120000
ЦТП2	ТМЗ-400-10/0,4	60000	1	60000
ЦТП3	ТМЗ-1600-10/0,4	180000	1	180000
Итого				360000

### Вариант 2.

Так как различия вариантов заключаются только в параметрах кабельных линий. То производить расчет стоимости силового оборудования для второго варианта нет смысла. Определим стоимость кабельных линий.

Название кабеля	Марка кабеля	Сечение, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Цена, грн/метр	Общая стоимость, грн
1	2	3	4	4	5
ГПП-ЦТП1	ААБл	50	220	72,876	16032,72
ГПП-ЦТП2	ААБл	35	160	66,164	10586,24
ЦТП№1-ЦТП3	ААБл	35	80	66,164	5293,12
ЦТП№2-ЦТП3	ААБл	35	80	66,164	5293,12
Итого					37205,2

Произведем сравнение двух вариантов, для определения наиболее выгодного.

### Вариант 1.

Издержки на амортизацию, обслуживание и ремонт, грн/год:

$$I_{aop1} = \frac{4,3 \cdot (360000 + 38350,72)}{100} = 17129,1.$$

Определим суммарные потери энергии, кВт·ч:

$$\Delta W_{\text{год}11} = \Delta P_{\Sigma 11} \cdot \tau = 4,8 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 11545,4.$$

Издержки вызванные потерями электроэнергии:

$$I_{\text{ном}11} = \beta \cdot \Delta W_{\text{год}11} = 1,49 \cdot 11545,4 = 17202,6 \text{ грн/год.}$$

Полные издержки:

$$I_{11} = I_{\text{аоп}11} + I_{\text{ном}11} = 17129,1 + 17202,6 = 34331,7 \text{ грн/год.}$$

Тогда полные приведённые затраты будут равны:

$$Z_{\text{ЦПС}11} = I_{11} + E_n \cdot K_{11} = 34331,7 + 0,12 \cdot 38350,7 = 38933,8 \text{ грн/год.}$$

### **Вариант 2.**

Издержки на амортизацию, обслуживание и ремонт, грн/год:

$$I_{\text{аоп}22} = \frac{4,3 \cdot (360000 + 37205,2)}{100} = 17079,8.$$

Определим суммарные потери энергии, кВт·ч:

$$\Delta W_{\text{год}22} = \Delta P_{\Sigma 22} \cdot \tau = 4,8 \cdot \left(0,124 + \frac{4000}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 11545,4.$$

Издержки вызванные потерями электроэнергии:

$$I_{\text{ном}22} = \beta \cdot \Delta W_{\text{год}22} = 1,49 \cdot 11545,4 = 17202,6 \text{ грн/год.}$$

Полные издержки:

$$I_{22} = I_{\text{аоп}22} + I_{\text{ном}22} = 17079,8 + 17202,6 = 34282,4 \text{ грн/год.}$$

Тогда полные приведённые затраты будут равны:

$$Z_{\text{ЦПС}22} = I_{22} + E_n \cdot K_{22} = 34282,4 + 0,12 \cdot 37205,2 = 38747,02 \text{ грн/год.}$$

Определим разность, %:

$$Z = \frac{Z_{22} - Z_{11}}{Z_{22}} \cdot 100\% = \left| \frac{38747,02 - 38933,8}{38933,8} \right| \cdot 100\% = 4,7\%$$

Разница между вариантами менее 5%. Окончательно выбираем вариант 1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дипломного проектирования было спроектировано электроснабжение ремонтно-механического цеха, входящего в состав станкостроительного завода. В процессе проектирования были учтены основные характеристики приемников электрической энергии. В расчете было рассмотрено два варианта электроснабжения для цеха и два варианта для всего предприятия (разработанный и базовый), из которых в каждом случае был выбран наиболее подходящий и выгодный вариант, с учетом всех технических и экономических особенностей данного предприятия.

Для первого варианта были приняты три комплектные трансформаторные подстанции. Отличие второго варианта заключается в том, что ЦТП №3 запитана по кольцевой схеме, от шин 10кВ ЦТП №1 и ЦТП №2. Питание по кольцевой схеме требуется, чтобы обеспечить необходимую надежность в энергоснабжении потребителей 2 категории, которые подключены к ЦТП №3.

Из технико-экономического расчета схем электроснабжения был сделан выбор схемы электроснабжения цеха по первому варианту.

Конструктивно ЦТП2 (ТМЗ-400/10/0,4) выполнена в виде пристройки к цеху № 4, со смещением в сторону источника питания. На подстанции установлено два трансформатора с распределительным устройством 0,4 кВ, имеется межсекционный выключатель. На высокой стороне ЦТП установлены выключатели нагрузки с предохранителями.

Цеховая трансформаторная подстанция питается по двум кабельным линиям десять киловольт от ГПП (ТМН-4000/35/11), кабельные линии проложены в траншеях. ГПП вынесено за пределы предприятия. На высокой стороне трансформаторов ГПП установлены короткозамкватели и отделители, что позволило отказаться от выключателей на стороне ВН.

Распределительное устройство на стороне НН содержит девять распределительных пунктов ПР8513. Произведен выбор выключателя на ввод каждого распределительного пункта ВА51, выбор автоматов АЕ2040, кабельные линии марки АВВГ.

Кабели в основном применяют в радиальных сетях для питания мощных сосредоточенных нагрузок или узлов нагрузок. При прокладке кабелей внутри зданий их располагают открытым способом по стенам, колоннам, фермам и перекрытиям, в трубах, проложенных в полу и перекрытиях, каналах и блоках.

Наиболее распространенной в производственных помещениях является прокладка кабелей в специальных каналах, если в одном направлении прокладывают большое количество кабелей. В этом случае в полу цеха сооружают канал из железобетона или кирпича, который перекрывают железобетонными плитами или стальными рифлеными листами. Кабели внутри канала укладывают на типовые сборные конструкции, установленные на боковых стенах.

Преимущества такой прокладки кабелей заключается в защите их от механических повреждений, удобстве осмотра и ревизии в процессе эксплуатации.

Для оставшегося варианта цеха был произведен подробный электротехнический расчет электрического и аварийного освещений.

Рабочее освещение выполнено лампами ДРЛ (ДРИ400). Для аварийного освещения принят осветительный пункт серии ПОР8513-26-30.

Проверена необходимость компенсации реактивной мощности. Также учтены были токи короткого замыкания в характерных точках системы, проанализировано качество напряжения цеховой сети и рассчитаны отклонения напряжения для характерных электроприемников.

В графической части дипломного проекта показано спроектированная схема электроснабжения. На плане проектируемого объекта изображена схема расположения электроприемников с разводкой силовой сети, также схема с разводкой осветительной сети. На однолинейной электрической схеме цеховой сети – распределение всех электроприемников по распределительным пунктам с указанием всего выбранного оборудования и кабельных линий, а также мощности и тока электроприемников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атабеков В.Б. Монтаж электрических сетей и силового электрооборудования/ В.Б. Атабеков. – М.: Высшая школа, 2000г. – 288с.
2. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Ю.Г. Барыбин . – М.: Энергоатомиздат, 2001г. – 576с.
3. Воронина А.А. Техника безопасности при работе в электроустановках / А.А. Воронина. – Тяжпромэнергопроект, 2004г. – 150с.
4. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию / В.И. Дьяков. – М., Высшая школа, 2001г. – 160с.
5. Зимин Е.Н. Электрооборудование промышленных предприятий и установок / Е.Н. Зимин. – М.: Энергия, 2000г.
6. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Б.Ю. Липкин. - М.: Высшая школа, 2006г. – 376с.
7. Неклипаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанции / Б.Н. Неклипаев. - Энергия, 2000г. – 416с.
8. Постников Н.П. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.П. Постников. - Энергоатомиздат, 2003г. – 352с.
9. Правила устройства электроустановок Украины 2014 года. Министерство энергетики и угольной промышленности Украины / Украина, Харьков: Издательство Форт, 2014. - 800 с.
10. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. - М.: Энергия, 1979. – 408с.
11. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения/ В.А. Андреев. - М.: Высшая школа, 2001. – 639с.