

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для самостоятельного выполнения курсовой работы по дисциплине «Электроснабжение» бакалаврами направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений рыбной промышленности»), а также для работы на практических занятиях.

Пособие разработано в целях методического обеспечения учебного процесса и направлено на формирование у студентов элементов компетенций ПКС-1, ПКС-2 в соответствии с требованиями ФГОС ВО в области применения знаний и навыков для решения практических задач профессиональной деятельности.

Приведена методика выполнения и примеры расчётов по проектированию системы электроснабжения предприятия (цеха), представлены индивидуальные задания в 25-ти вариантах и справочный материал.

Пособие направлено на подготовку студента к самостоятельной, индивидуальной работе по изучению дисциплины, успешной сдачи экзамена и может стать основой выпускной квалификационной работы. Выполнение курсовой работы позволит приобрести опыт решения конкретных инженерных задач в области проектирования электрических подстанций и систем электроснабжения, опыт работы с нормативными, справочными и регламентируемыми документами, а также приобрести навыки оформления текстовых и графических документов.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Для успешного выполнения курсовой работы студентам необходимо знание дисциплин электротехнического цикла «Теоретические основы электротехники», «Общая электротехника и электроника», «Электрические машины», «Электрические станции и подстанции», «Электроэнергетические системы и сети», а также другие дисциплины.

В ходе работы студенты должны научиться самостоятельно пользоваться справочной литературой при рассмотрении характеристик, составлении электрических принципиальных и других схем, расчёте параметров и выборе устройств электроснабжения в установившихся и аварийных режимах, а также освоить методику проектирования объектов электроэнергетики.

При этом могут быть использованы как теоретические сведения, содержащиеся непосредственно в методических указаниях, так и другие источники (лекции, учебники, справочники, информационные ресурсы и др.).

Целью курсовой работы является получение навыков в решении профессиональных задач, проверка усвоения студентом соответствующих разделов дисциплины «Электроснабжение». Приступать к выполнению работы следует после изучения необходимого материала. Рисунки, тексты, формулы, схемы и графики должны быть выполнены аккуратно, без помарок, оставляя в тетради поля для заметок преподавателя. Каждый этап решения должен иметь подробное пояснение – как это представлено в разделах рекомендации по выполнению курсовой работы (в т.ч. название формулы, формула, единицы измерения и т.д.).

На титульном листе курсовой работы должно быть указано наименование университета, кафедры («Электроэнергетика и автоматика», название дисциплины, фамилия, имя, отчество студента, а для студентов заочного обучения № учебного шифра).

В конце работы следует привести список использованной литературы, дату окончания работы и свою подпись. Курсовая работа подлежит защите.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Варианты заданий выдаются по усмотрению преподавателя для студентов очной формы обучения выборочно или по списку группы. Студенты заочной формы обучения выбирают вариант задания самостоятельно по последним двум цифрам индивидуального шифра.

Общие исходные данные

Электроснабжение цеха осуществляется от собственной трансформаторной подстанции ТП 10/0,4 кВ. Здание цеха расположено на расстоянии 1 км от заводской понизительной подстанции.

Цех имеет производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения.

Количество рабочих смен - 2.

Потребители электроэнергии в цехе (ЭП) 2 и 3 категории надёжности.

Высота основного помещения с размещённым технологическим оборудованием - 8 м. Высота вспомогательных помещений – 3,2 м. Размеры цеха устанавливаются студентом самостоятельно по расстояниям, указанным в мм.

Среда цеха, характеризуется, как нормальная в соответствии следующим критериям:

- 1) «относительная влажность воздуха не выше 60 %» . ПУЭ 1.1.6
- 2) «температура воздуха не выше 350° С» ПУЭ 1.1.10.
- 3) «технологическая пыль отсутствует» ПУЭ 1.1.11.
- 4) «агрессивные пары, жидкости и газы не применяются» ПУЭ 1.1.11.

Исходные данные для проектирования приведены на рисунках 1-4 в виде таблицы (а) с характеристиками электроприёмников (ЭП) и схемы (б) расположения основного технологического оборудования соответствующего цеха.

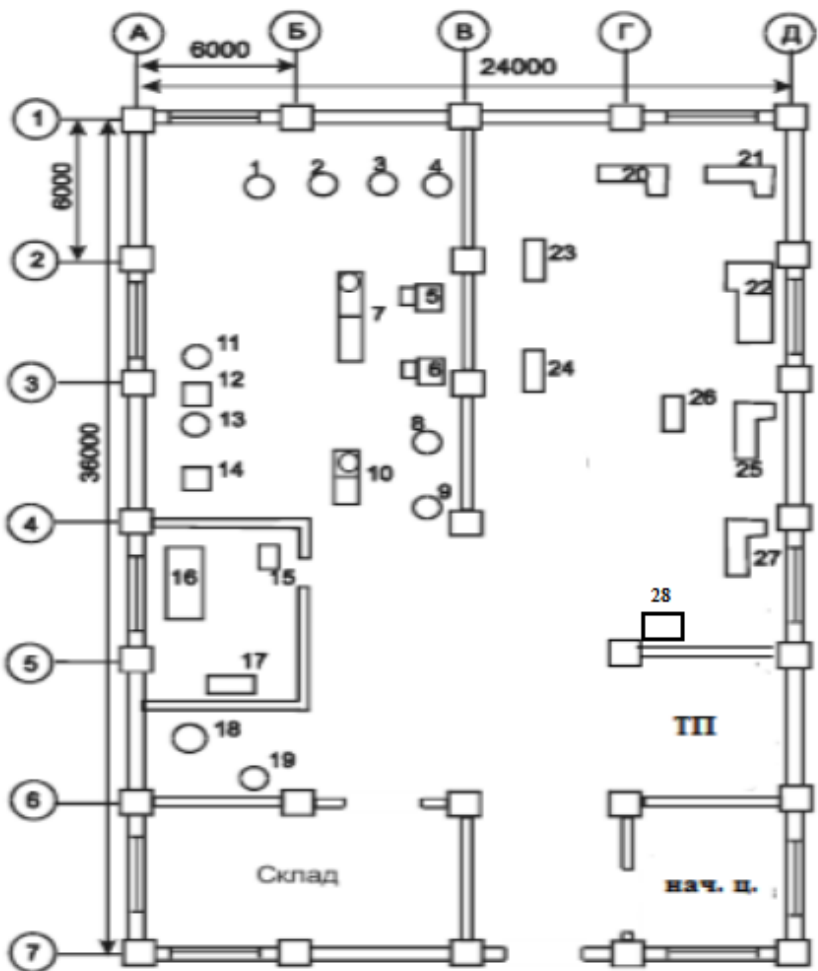
Курсовая работа выполняется на листах формата А4 согласно требованиям ЕСКД и ГОСТов по оформлению.

Графическая часть КР содержит 3 схемы формата А4.

1.Производственный рыбный цех

Исходные данные к вариантам 1-5

№ на плане	Наименование ЭО	№ варианта				
		Мощность ЭП Р, кВт				
		1	2	3	4	5
1	Установка отопления	40	34	28	26	35
2	Электроподогрев	5	4,5	4,8	3,4	4
4	Вентиляционная установка	5	6	7	5,5	6.5
3, 11,13, 15, 26	Водонагреватели горячей воды	5	4	6	5,5	4,5
5,6	Льдогенераторная установка	50	52	54	60	65
7,10	Линии филейной разделки рыбы и упаковки	20	12	16	18	15
8,9	Установка шоковой заморозки «фризер»	100	90	85	95	80
18,19	Компрессорно - холодильная установка	120	100	95	110	115
16	Установка охлаждения и оттайки	60	55	50	45	52
17, 23	Насосы подачи воды	8	6	7	6,5	8,5
12,14, 24	Насосы водоотведения	5	4	6	4,5	7
20	Камера холодильная сборная	7,5	7,9	7,7	7,6	7,4
21	Камера подморозки	10,5	12	14	11	13
22	Фаршемешалка ФМВ 015	7,4	7,6	7,8	7,2	7
25	Мясорубка производственная	2,5	2.2	3	2,8	1,5
27	Машинка упаковочная вакуумная	6	6,5	7,2	7,8	7
28	Кондиционер	5	4	4,5	3,5	3



6

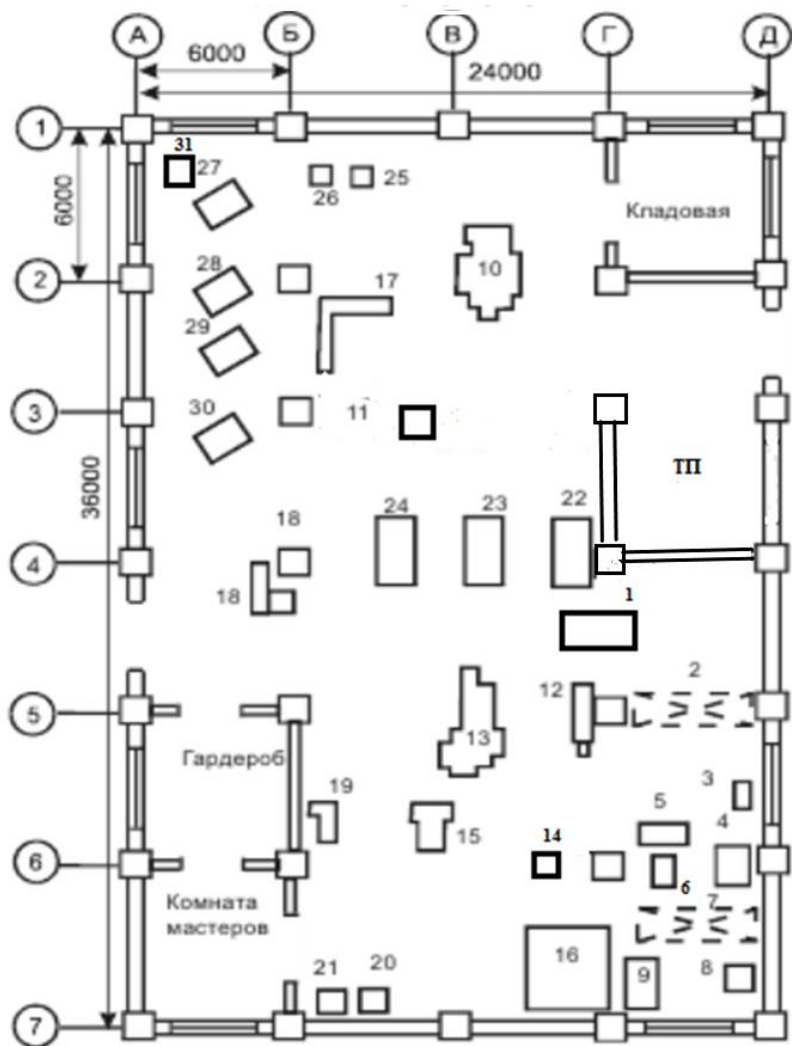
Рис. 1. Характеристики ЭП (а) и расположение основного оборудования производственного рыбного цеха (б)

2. Инструментальный цех

Исходные данные к вариантам 6-10

№ на плане	Наименование ЭО	№ варианта				
		Мощность ЭП Р, кВт				
		6	7	8	9	10
1,3,5,9,14	Поперечно-строгальные станки	6	7	5,5	8,5	7,5
2, 7	Кран-балки, ПВ 60%	5	6	7	8	9
8, 31	Вентиляторные установки	5	6	7	5,5	6,5
10,13	Горизонтально-фрезерные станки	8	9,5	9	10,5	10
11	Заточный станок	2,2	2,4	2,6	2,8	3
12	Токарно-револьверный станок	3,2	5	4,8	3,4	4
6,21	Одношпиндельные автоматы токарные	1,6	2	2,3	3,5	3
4,20	Ножницы дисковые концевые	10	10	10	10	10
15, 19	Гильотинные ножницы	5,5	6,5	7	8	9
16	Продольно-строганный станок	3	4	2,5	3,5	5
17-18	Пресс	30	30	30	30	30
22-24	Токарные полуавтоматы	4	5	6	5,5	4,5
25, 26	Вертикально-сверлильные станки	4,5	5	6	5,5	6,5
27-30	Токарно-винторезные	9	9,5	10	10,5	12

а



6

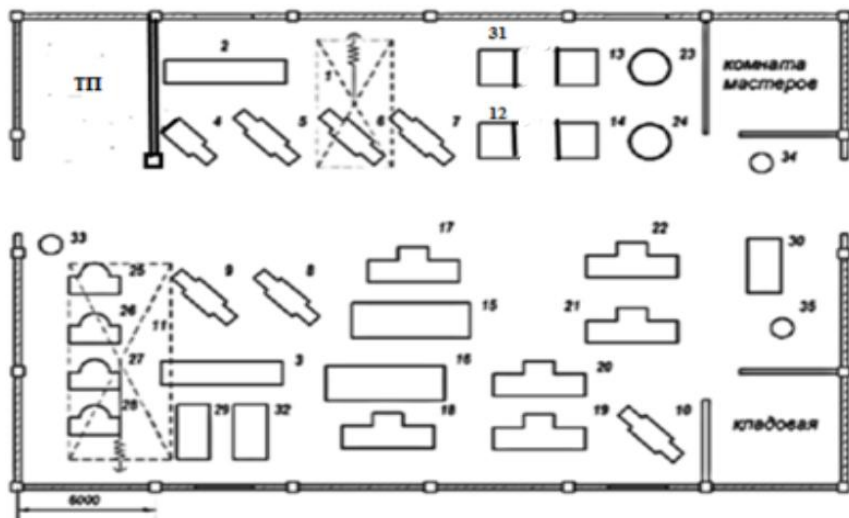
Рис. 2. Характеристики ЭП (а) и расположение основного оборудования инструментального цеха (б)

3. Электроремонтный цех

Исходные данные к вариантам 11-16

№ на плане	Наименование ЭО	№ варианта				
		Мощность ЭП Р, кВт				
1,11	Кран мостовой, ПВ 40%	15	14	13	12	11
2,3	Продольно-строгательные станки	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2
4-10	Обмоточные станки	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
12	Заточный станок	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
13-16	Радиально-сверлильные станки	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5
17-22	Сверлильные станки	5,8	5,7	5,9	5,6	5,5
23-34	Печи сопротивления	16	17	18	19	20
25-28	Расточные станки	5	6	7	8	9
29-32	Фрезерные станки	5	6	7	3	4
33-35	Вентиляторы	2	3	4	5	3,5

а



б

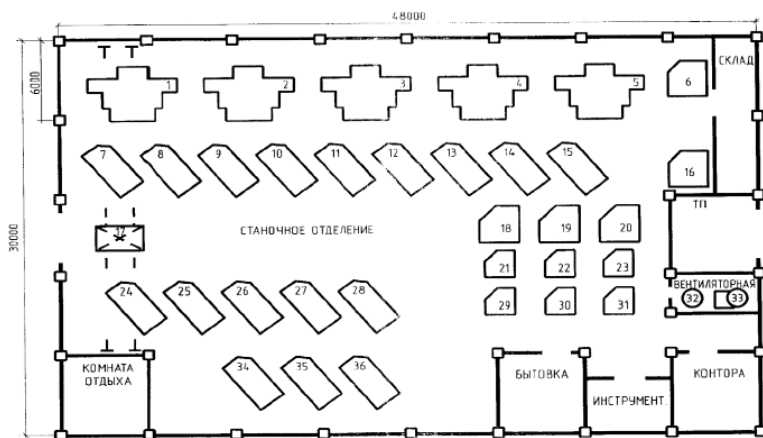
Рис. 3. Характеристики ЭП (а) и расположение основного оборудования электроремонтного цеха (б)

4. Механический цех

Исходные данные к вариантам 16-25 (механический цех)

№ на плане	Наименование ЭО	Кол-во шт.	№ варианта									
			Мощность ЭП Р, кВт									
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1....5	Шлифовальные станки	5	65	70	82	67	75	79	79	89	72	80
6,16, 18,19,20	Обдирочные станки	5	45	47	50	52	58	60	49	54	56	49
7....15	Продольно-строгательные станки	9	4	5	6	7	8	10	9	3	4	5
17	Кран мостовой, ПВ 40%	1	19	18	17	16	15	14	13	12	11	17
21,22,23, 29,30,31	Вертикально-сверильные станки	6	30	35	33	36	42	40	26	22	39	38
24-28, 34...36	Токарно-винторезные станки	8	18	12	10	14	11	16	20	19	22	17
32	Вентилятор вытяжной	1	15	17	16	18	20	22	24	26	28	25
33	Вентилятор приточный	1	17	19	20	22	24	25	26	30	32	28

а



б

Рис. 4. Характеристики ЭП (а) и расположение основного оборудования механического цеха (б)

ЗАДАНИЕ

1. Выбрать электродвигатели для технологического и другого оборудования цеха и указать их технические характеристики;
2. Разработать схему внутрицехового электроснабжения в соответствии с требованиями категории надёжности. Составить план расстановки РП, линий, РЩ.
3. Произвести расчёт электрических нагрузок технологического оборудования цеха.
4. Произвести расчёт освещения и осветительной сети цеха.
5. Рассчитать и выбрать силовые трансформаторы.
6. Произвести расчёт и выбор компенсирующего устройства для повышения коэффициента мощности согласно требованиям ПУЭ.
7. Осуществить расчёт и выбор силовых кабельных линий и осветительной сети;
8. Рассчитать токи короткого замыкания цеховой распределительной сети.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Исходные данные

Основная часть:

1. Выбор электродвигателей для оборудования цеха
2. План расстановки оборудования внутрицеховой системы электроснабжения
3. Расчет электрических нагрузок
4. Расчет освещения и осветительной сети
5. Расчёт и выбор цеховых трансформаторов
6. Расчет и выбор компенсирующего устройства
7. Выбор силового электрооборудования
8. Расчёт токов короткого замыкания в цеховой сети НН

Графическая часть:

- План расстановки технологического оборудования, размещения РП, ШС, линий и ЩО в цехе.
- План освещения цеха
- Принципиальная схема электрической сети цеха

Список использованной литературы

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Выбор электродвигателей для оборудования цеха

Выбор электродвигателя соответствующего типа и мощности выбирается по справочной литературе [3]. Для потребителей общепромышленных установок рекомендуется применить электродвигатели асинхронные или синхронные современных серий, с короткозамкнутым или с фазным ротором. Технические данные электродвигателей занести в таблицу, аналогичную табл. 1.

Таблица 1 - Энергетические характеристики ЭП

Наименование электроприёмника	Тип электродвигателя	Кол-во	Номинальная мощность $P_{ном}$, кВт	Номинальный ток, А	Пусковой ток, А	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	Коэффициент полезного действия η , %	Коэффициент использования K_u
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поперечно-строгальные станки	4A112M2	5	5,5	11	82,5	0,88	0,53	87,5	0,17
Токарно-револьверные станки	4A100L2	8	7,5	15,7	118	0,91	0,45	87,5	0,17
Одношпиндельные автоматы токарные	4A90L2	5	2,2	4,5	29,5	0,88	0,53	84,5	0,17
Токарные автоматы	4A100S2	9	4	7,6	57	0,91	0,45	87,5	0,17
Алмазно-расточные станки	4A90L2	6	3	6	38,5	0,89	0,51	86,5	0,17
Горизонтально-фрезерные станки	4A160S2	8	11	21	156,5	0,91	0,45	88	0,17
Наждачные станки	4A80B2	4	1,5	3,2	20,5	0,87	0,56	83	0,17
Кран-балки	4A112M2	2	5,5	12	89,5	0,88	0,53	87,5	ПВ=60 %
Заточные станки	4A90L2	6	3	6	38,5	0,89	0,51	86,5	0,17

Для заполнения таблицы необходимо произвести расчёт номинальных и пусковых токов. Если в справочнике не указана кратность пускового тока электродвигателя, принять её равной 5.

2. План расстановки оборудования внутрицеховой системы электроснабжения

При расчёте электрических нагрузок отдельных групп приёмников необходимо иметь представление (рассмотреть предполагаемую схему) о расположении распределительных пунктов, получающих питание от цеховой трансформаторной подстанции, расположения магистральных (ШМ) и распределительных (ШР) шинопроводов, щитов освещения, а также мест и способов прокладки кабельных линий, особенности и схемы которых рассмотрены ниже.

На плане цеха нужно расставить все электроприемники согласно схеме индивидуального задания, указать расположение РП (распределительных пунктов), подключённых к имеющейся ТП. Указать как проходят питающие линии от ТП до РП и от РП до каждого электроприёмника. Планы выполняются в масштабе, удобном для понимания взаимосвязи между элементами оборудования и облегчения анализа работы схемы электроснабжения:

- выбираем место расположения РП и ЩО (щитов освещения);
- прокладываем кабели от ТП до РП, учитывая способ прокладки (указать в таблице): в каналах, по стенам, по потолку, в трубах или шинопроводы;
- прокладываем кабели от РП до всех приёмников;
- определяем расстояние и длину одиночных (от РП до каждого отдельного электроприёмника), групповых (от ТП до каждого РП) и магистральных (от трансформатора до секции шин РУНН) кабелей с учётом изгибов и провисаний (+10-15 % от длины кабеля).

После этого выполняется таблица с указанием всех длин кабельных и воздушных линий. Длина линий потребуется в расчётах по выбору сечений и типов питающих кабелей.

Пример плана расстановки РП (РЩ) в цехе приведён на рис. 5.

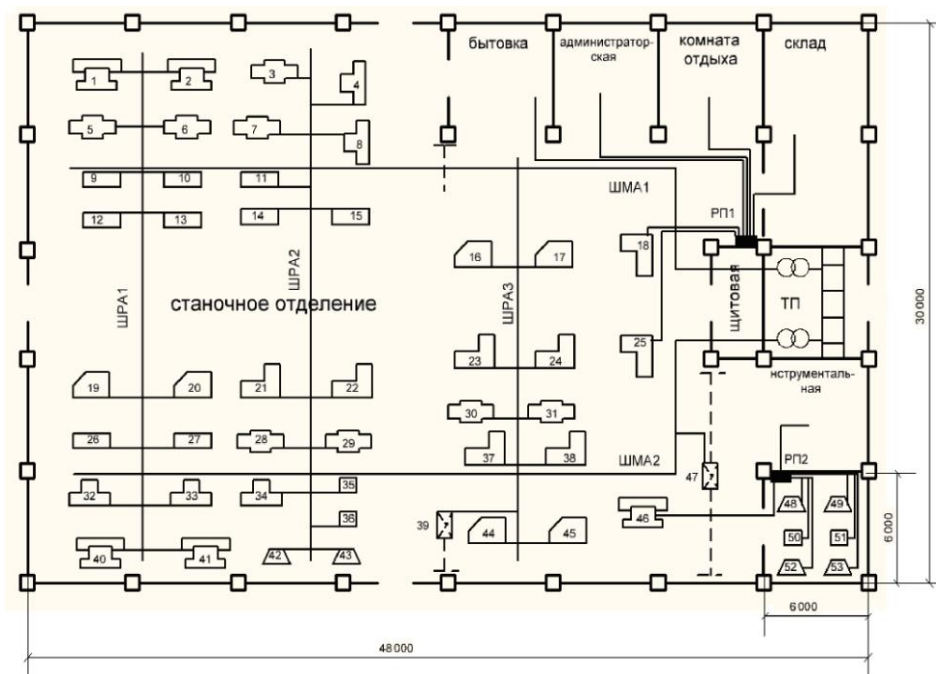


Рис.5. План расстановки РП:

1,2,40,41,46 - поперечно-строгальные станки; 3,5...7,28...31 – токарно-револьверные станки; 4,8,32,34 - одношпиндельные автоматы токарные; 9,15, 26,27 - токарные автоматы; 16,17,19,20,44,45 - алмазно-расточные станки; 18,21,25,37,38 - горизонтально-фрезерные станки; 35,36,50,51 - наждачные станки; 39,47 - кран-балки; 42,43,48,49,52,53 - заточные станки; ТП – цеховая трансформаторная подстанция; РП-1, РП-2 - распределительные пункты; ШМА-1, ШМА-2 - шинопроводы магистральные; ШРА-1, ШРА-2, ШРА-3 – шинопроводы распределительные.

3. Расчет электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок цеха ведётся по уровням проектирования. 1й уровень: расчёт нагрузок по каждому распределительному пункту или шинопроводу; 2й уровень: расчёт нагрузок на шинах НН ТП.

До расчета электрической нагрузки следует привести характеристики ЭП цеха согласно табл. 2.

Таблица 2 - Характеристики электроприемников цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование электроприем- ников	Номинальная мощность, P_n , кВт S_n , кВА	$\cos\varphi$	кпд, η , %	Номиналь- ный ток, I_n , А	Коэффициент использо- вания, K_n
1	2	3	4	5	6	7

При определении расчетных нагрузок цеха и отдельных узлов питания следует пользоваться ПРИЛОЖЕНИЕМ: табл. А1-А3.

Значения коэффициентов мощности и коэффициентов использования для характерных групп электроприемников приведены в табл. А3.

Номинальные токи электроприемников берутся из паспортных данных или определяются по формулам:

1) для трехфазных электродвигателей

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos\varphi \eta}, \text{ А}; \quad (1)$$

2) для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_n = \frac{\sum P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos\varphi \eta}, \text{ А}, \quad (2)$$

где $\sum P_n$ – суммарная номинальная мощность ЭП многодвигательного привода, кВт; $\cos\varphi$ и η – коэффициент мощности и кпд наиболее мощного ЭП данного привода;

3) для остальных трехфазных ЭП на 3-х фазное и однофазное напряжение

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos\varphi}, \text{ А}; \quad I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_\phi \cos\varphi}, \text{ А}; \quad (3)$$

Во всех формулах: P_n , S_n – номинальная мощность ЭП (P_n – в кВт, S_n – в кВА).

Расчет электрических нагрузок цеха и любого другого узла системы электроснабжения (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, секции шин) необходимо произвести по методу коэффициента расчетной активной мощности (K_p). Расчетная активная мощность (P_p) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке (I_p), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

При расчете электрических нагрузок цеха или другого узла питания все ЭП распределяются на характерные группы с одинаковыми K_n и $\cos\varphi$. При этом резервные ЭП в расчете не учитываются и номинальные мощности ЭП с повторно-кратковременным режимом работы не приводятся к длительному режиму ($P_B = 100 \%$).

Для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если среди этих электродвигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП с номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

Для каждой характерной группы ЭП определяются средние активная (P_c) и реактивная (Q_c) мощности по формулам:

$$P_c = K_n P_n, \text{ кВт}, \quad (4)$$

$$Q_c = K_n P_n \operatorname{tg}\varphi, \text{ кВАр}. \quad (5)$$

Коэффициент расчетной активной мощности зависит от значения группового коэффициента использования $K_{н\text{ гр.}}$ (данные K_n отдельных приёмников – в табл. А3), эффективного числа ЭП (n_s) и постоянной времени нагрева (T_0).

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{н\text{ гр.}} = \frac{\sum K_n P_n}{\sum P_n}. \quad (6)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_3 = \left(\sum_{i=1}^n p_{ni} \right)^2 / \sum_{i=1}^n n p_{ni}^2, \quad (7)$$

где n_3 – число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума (P_p), что и группа из реального числа ЭП (n), различных по мощности и режиму работы;

$\sum_{i=1}^n p_{ni}$ – суммарная установленная мощность ЭП узла питания, кВт;

p_{ni} – номинальная (установленная) мощность i -го ЭП, кВт.

При большом числе ЭП цеха допускается определять эффективное число электроприемников по упрощенной формуле:

$$n_3 = 2 \left(\sum_{i=1}^n p_{ni} \right) / p_{n \max}, \quad (8)$$

где $p_{n \max}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП цеха.

Найденное по формулам (7) или (8) n_3 округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Постоянные времени нагрева принимаются следующие:

– $T_0 = 10$ мин. – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, щиты.

– Значения K_p для этих сетей в зависимости от K_{igr} и n_3 принимаются по табл. 1 ПРИЛОЖЕНИЯ;

– $T_0 = 2,5$ ч. – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов; значения K_p принимаются по табл. 2.П.

Расчетная активная мощность узла питания определяется по формуле:

$$P_p = K_p \sum K_n P_n, \quad \text{кВт.} \quad (9)$$

Расчетная реактивная мощность для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 определяется по формулам:

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi, \quad \text{кВАр}; \quad (10)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi, \quad \text{кВАр}. \quad (11)$$

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от n_3 определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi, \quad \text{кВАр}. \quad (12)$$

Полная расчетная мощность узла питания

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad \text{кВА}. \quad (13)$$

На шинах низкого напряжения цеховой ТП при совместном питании силовой и осветительной нагрузки полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{роу}})^2 + (Q_p + Q_{\text{роу}})^2}, \quad \text{кВА}. \quad (14)$$

Расчетный ток узла питания

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n}, \text{ А}, \quad (15)$$

При определении расчетной нагрузки цеха или другого узла питания необходимо учесть наличие однофазных электроприемников. Подробно методики и особенности расчёта электрических нагрузок представлены в [1].

Расчет силовых нагрузок цеха производим «методом коэффициента расчетной мощности», который выполняется по форме Ф636-92 (табл.4) и производится для каждого узла питания (распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом.

Пример расчёта по данной методике показан для схемы цеха по рис.2 и исходных данных табл. 3.

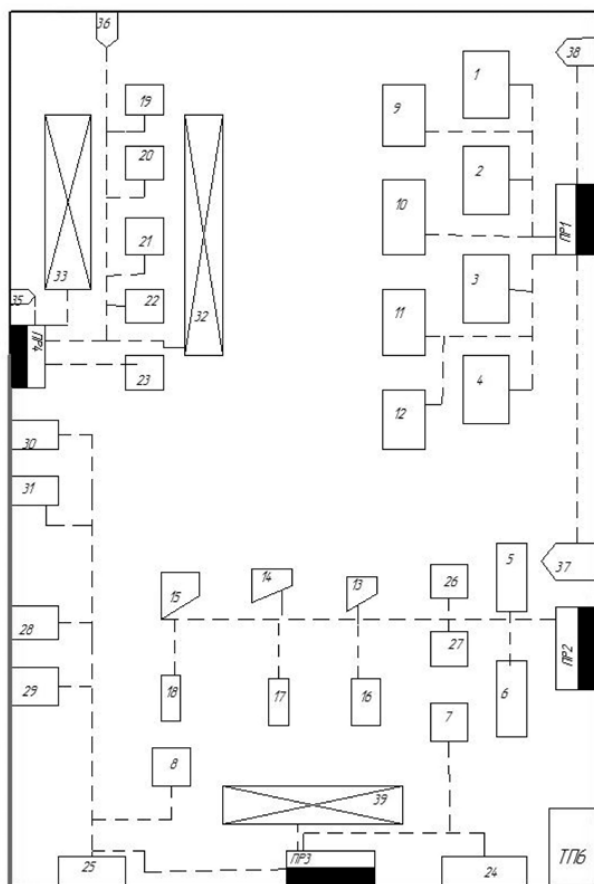


Рис. 6 .Расстановка ТП и линий на плане цеха к расчёту электрических нагрузок

Для расчета нагрузок по справочным данным [1, табл. П 2.1] найдем коэффициенты использования и мощности всех электроприёмников данного цеха и занесём в таблицу 3.

Таблица 3 - Электрические нагрузки цеха (по рис.6)

№	Кол - во	Наименование электрообору- дования	P _{ном} , кВт	K _и	cosφ
1-4	4	Вымотка приемная	17,5	0,3	0,7
5, 6	2	Тянущие устройство	9	0,6	0,7
7, 8	2	Установка сушки полителена	68,5	0,6	0,95
9-12	4	Вымотка отдающая	17	0,3	0,7
13-15	3	Экструдер	19	0,55	0,75
16-18	3	Бронировочная машина	14	0,2	0,6
19-23	5	Установка мойки полителена	12	0,55	0,8
24,25	2	Острильно- затяжной станок	19,25	0,24	0,65
26,27	2	Сварочная машина для проводов	8	0,3	0,3
28,29	2	Нагреватель воды	7	0,75	0,95
30,31	2	Машина контактной сварки ПВ=40%	60	0,1	0,5
32,34	3	Кран-балка ПВ=25%	10	0,06	0,5
35-38	4	Вентилятор	7	0,6	0,8
39	1	Кран-балка ПВ 40%	21	0,1	0,5

*Пример определения расчетной электрической нагрузки для ПР1
цеха по производству кабельной продукции*

Вымотка приемная:

$$P_n = n \cdot p_n = 4 \cdot 17,5 = 70, \text{ кВт};$$

$$P_{cm} = k_n \cdot P_n = 0,3 \cdot 70 = 21, \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi = 21 \cdot 1,02 = 21,42, \text{ кВАр}$$

Вымотка отдающая:

$$P_n = n \cdot p_n = 4 \cdot 17 = 68, \text{ кВт};$$

$$P_{cm} = k_n \cdot P_n = 0,3 \cdot 68 = 20,4, \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi = 20,4 \cdot 1,02 = 20,81, \text{ кВАр}.$$

Вентилятор:

$$P_n = n \cdot p_n = 2 \cdot 7 = 14, \text{ кВт};$$

$$P_{cm} = k_n \cdot P_n = 0,6 \cdot 14 = 8,4, \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi = 8,4 \cdot 0,75 = 6,3, \text{ кВАр}.$$

Итого по ПР1 общая нагрузка будет складываться из суммы всех мощностей электроприёмников:

$$\Sigma P_n = 70 + 68 + 14 = 152, \text{ кВт};$$

$$\Sigma P_{cm} = 21 + 20,4 + 8,4 = 49,8, \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_{\text{см}} = 21,42 + 20,81 + 6,3 = 48,54, \text{ кВАр},$$

Средневзвешенный (групповой) коэффициент использования для данного узла питания:

$$k_{\text{н.гр}} = \frac{\Sigma P_{\text{см}}}{\Sigma P_{\text{н}}} = \frac{48,54}{152} = 0,33$$

Эффективное число электроприёмников по методу 1 для ПР1:

$$n_3 = \frac{P_{\text{н.макс}}}{P_{\text{н.мин}}} = 2,5 \leq 3$$

Следовательно: $n_3 = n = 10..$

По данным [1, табл. 3.3] найдем коэффициент расчетной нагрузки K_p :

$$K_p = 1,19 - (0,33 - 0,4) \cdot (1,19 - 1,1) / (0,4 - 0,3) = 1,253$$

Расчетная нагрузка цеха:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_{\text{см}} = 1,253 \cdot 49,8 = 62,4, \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \Sigma P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi = 1,1 \cdot 49,8 \cdot 1,02 = 53,39, \text{ кВАр};$$

Расчётный ток ПР1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{82,12}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 124,7, \text{ А}.$$

Аналогично рассчитываются другие РП. Данные расчёта заносятся в таблицу 4.

Расчетную нагрузку осветительных приемников определяем по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{\text{ро}} = P_{\text{но}} \cdot K_{\text{со}},$$

$K_{\text{со}}$, принимаем равным 0,85 [1, табл. ПЗ.1]. Величину $P_{\text{но}}$ находим:

$$P_{\text{но}} = P_{\text{уд}} \cdot F,$$

Удельную плотность осветительной нагрузки принимаем 16 Вт/м² [1, табл. ПЗ.2].

$F = 3123 \text{ м}^2$ – площадь цеха (по плану).

Номинальная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{\text{но}} = P_{\text{уд}} \cdot F = 15 \cdot 2,07 = 31,05, \text{ кВт};$$

Расчетная максимальная нагрузка от электрического освещения:

$$P_{\text{ро}} = P_{\text{но}} \cdot K_{\text{со}} = 31,05 \cdot 0,95 = 29,5, \text{ кВт}.$$

Результаты расчета всего цеха занесены в таблицу 4.

Таблица 4 - Расчет методом коэффициента расчетной активной мощности

№	наименование ЭП	кол- во ЭП	Исходные данные			расчетные величины			пз	Кр	нагрузка		Ток	
			один ЭП,кВт	Сумма ЭП,кВт	Ки	cosφ/γ	Р _{см} ,кВт	Q _{см} ,кВт	н ² рн ²		Р _р ,кВт	Q _р ,кВт	Sp,кВА	Ip,А
ПР1														
1	Вымотка приемная	4	17,5	70,00	0,30	0,7/1,02	21,00	21,42	1225,00	-	-	-	-	-
2	Вымотка отдающая	4	17	68,00	0,30	0,7/1,02	20,40	20,81	1156,00	-	-	-	-	-
3	Вентилятор	2	7	14,00	0,60	0,8/0,75	8,40	6,30	98,00	-	-	-	-	-
ПР2	итого по ПР1	10	7-17,5	152,00	0,33	-	49,80	48,54	2479,00	10,00	1,25	62,40	53,39	82,12
4	Сварочная машина для проводов	2	8	16,00	0,30	0,7/1,02	4,80	4,90	128,00	-	-	-	-	-
5	Экструдер	3	19	57,00	0,55	0,75/0,88	31,35	27,65	1083,00	-	-	-	-	-
6	Бронировочная машина	3	14	42,00	0,20	0,65/1,17	8,40	9,82	588,00	-	-	-	-	-
7	Тянущие устройство	2	9	18,00	0,60	0,7/1,02	10,80	11,02	162,00	-	-	-	-	-
ПР3	итого по ПР2	10	8-19,0	133,00	0,42	-	55,35	53,38	1961,00	10,00	1,12	61,77	58,72	85,23
8	Острильно-затяжной станок	2	19,25	38,50	0,24	0,65/1,17	9,24	10,80	741,13	-	-	-	-	-
9	Кран-балка ПВ 40%	1	13,28	13,28	0,10	0,5/1,73	1,33	2,30	176,36	-	-	-	-	-
10	Машина контактной сварки ПВ=40%	2	18,97	37,94	0,10	0,5/1,73	3,79	6,57	719,72	-	-	-	-	-
11	Установка сушки полиэтилена	2	68,5	137,00	0,60	0,95/0,33	82,20	27,02	9384,50	-	-	-	-	-
12	Нагреватель воды	2	7	14,00	0,75	0,95/0,33	10,50	3,45	98,00	-	-	-	-	-
ПР4	итого по ПР3	9	7-68,5	240,72	0,44	-	107,06	50,14	11119,71	3,00	1,52	162,31	55,16	171,42
13	Установка мойки полиэтилена	5	12	60,00	0,55	0,8/0,75	33,00	24,75	720,00	-	-	-	-	-
14	Кран-балка ПВ=25%	2	5	10,00	0,06	0,5/1,73	0,60	1,04	50,00	-	-	-	-	-
15	Вентилятор	2	7	14,00	0,60	0,8/0,75	8,40	6,30	98,00	-	-	-	-	-
итого по ПР4		9	5-12,0	84,00	0,50	-	42,00	32,09	868,00	9,00	1,08	45,36	35,30	57,48
итого по пр1+пр2+пр3+пр4		38	5-68,5	609,72	0,42	-	254,21	184,15	16427,71	18,00	0,85	216,08	184,15	283,91
осветительная нагрузка		-	-	31,05	-	-	-	-	-	-	-	29,50	-	-
ИТОГО		-	-	640,77	-	-	254,21	-	-	-	-	245,58	184,15	306,95
														466,37

4. Расчет освещения и осветительной сети

Конечной целью расчета освещения является:

- выбор осветительных приборов;
- определение количества светильников и их расположение (расстояние между светильниками, высота подвеса).

ПУЭ предусматривает три системы освещения (общее, местное и комбинированное) и два вида освещения (рабочее и аварийное).

При общем освещении освещенность рабочих поверхностей и всего помещения обеспечивается светильниками, размещенными равномерно по всей площади помещения или локализовано путем группировки их в местах, требующих повышенной освещенности.

При местном освещении требуемую освещенность создают только на рабочих поверхностях. Светильники местного освещения чаще устанавливают в непосредственной близости к рабочему месту. Местное освещение рассчитывается, как правило, на напряжение 12 и 40 В.

При комбинированном освещении необходимую освещенность рабочих поверхностей обеспечивают светильниками общего и местного освещения. Их применяют для особо точных работ.

Применение только одного местного освещения ПУЭ [2] запрещают.

Рабочее освещение создает требуемую по нормам освещенность, обеспечивая этим необходимые условия работы при нормальной эксплуатации.

Аварийное освещение должно давать возможность в одних помещениях продолжать работу при сниженной освещенности (аварийное освещение для продолжения работы), в других - безопасно выйти людям из помещения (эвакуационное аварийное освещение) при отключении рабочего освещения.

Аварийное освещение для продолжения работы предусматривают для помещений и на открытых площадках, где отсутствие света может стать причиной взрыва, пожара, или привести к длительному нарушению технологического процесса или вызвать опасность травматизма в местах большого скопления людей.

Наименьшая допустимая освещенность рабочих поверхностей, требующих обслуживания при аварийном освещении должна

составлять не менее 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк.

Необходимо учитывать, что для производственных помещений, освещения взрывоопасных помещений, наружного освещения выбираются светильники определенного типа.

Для производственных помещений применяют светильники:

- с лампами накаливания - НСПО3Х100, НСП-22(УП24), УПД, ППД-100, ППД-200, ППД-500, ГСП15, Н4Т14, НСП-19;
- с лампами ДРЛ - СД2ДРЛ, С34ДРЛ, С35ДРЛ, УПДДРЛ, РСП07, РСП-08, РСП-10, РСП11-001, РСП-002, РСП05, РСП005, РСП15, ГСП18, СЗЛ;
- с люминесцентными лампами - ПВЛМ, ЛОУ1П, ЛД, ЛСП02, ЛСП04, ЛСП06, ПВЛП, ЛСП13, ЛСП18, ЛВП02.

При расчетах освещения используют методы: точечный и коэффициента использования светового потока.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей и при отсутствии крупных затеняющих предметов. Точечный метод служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом распределении освещенности.

Таблица 5 - Высота установки светильников h на территории промышленных предприятий по условиям слепящего действия

Суммарный световой поток ламп, лм	Наименьшая высота установки светильников, м , с лампами		
	накаливания натриевыми	ДРЛ ДРИ	люминесцентными
5000	6	6	6
5000 – 10000	6	6	6,5
10000 - 20000	6,5	7	7,5
20000 - 30000	7,5	8,5	9
30000 - 40000	9	10	10,5
40000	10,5	11	12

4.1.Методика расчета освещенности методом коэффициента использования светового потока

1.Определяем площадь освещаемого помещения по формуле
$$S = a \cdot b, \quad (16)$$

где S - площадь освещаемого помещения, м^2 ;

a, b - длина , ширина помещения, м .

2. Выбрать тип светильника в соответствии с освещаемым объектом (Таблицы В.1 - В.4 Приложения В).

3. Равномерно разместить светильники по площади помещения.

При размещении светильников необходимо придерживаться следующих принципов:

- расстояние между светильниками в ряду должно быть 4-6 м;
- межрядное расстояние между светильниками должно быть 6-8 м;
- минимальное расстояние от стены до светильника - 2 м;
- на чертеже должны быть указаны расстояния между светильниками и расстояние крайних светильников от стен помещения;
- допускается на чертеже не изображать все светильники в ряду, а только первые и последние два из них, соединенные штриховой линией взаимосвязи с указанием над ней общего числа светильников.

4.Исходя из чертежа расположения светильников определить их количество n , шт;

5. Определяем показатель помещения по формуле

$$i = a \cdot b / h \cdot (a + b) \quad (17)$$

где i - показатель помещения;

b - длина, ширина помещения, м .

h - высота подвеса светильников, выбирается по условиям слепящего действия (см. табл. 5).

6.Определяем коэффициенты отражения стен P_c , %, потолка P_n , %, рабочей поверхности P_p , %, по таблице В.12, приложения В.

7.Определяем для принятого светильника значение коэффициента использования светового потока $K_{ис}$, % по таблицам технических характеристик промышленных светильников конкретного типа, используя доступные справочные ресурсы [11].

8.Находим минимальную допустимую освещенность E_n , определяемую по таблице В.11 Приложения В.

9. Определяем коэффициент запаса K_z по таблице В.10.

10.Определяем световой поток от светильников по формуле

$$F=1,15 E_n S K_3 / n K_{uc} , \quad (18)$$

где F - световой поток от светильников, лм;

E_n - минимальная допустимая освещенность помещения, лк;

S - площадь освещаемого помещения, м²;

K_3 - коэффициент запаса;

n - количество светильников, шт;

K_{uc} - коэффициент использования светового потока, выраженный не в процентах, а в долях единицы.

11. По таблицам В.6-9, приложения В определяем лампу со световым потоком $F_{л}$, лм. Поток лампы не должен отличаться от расчетного значения потока F более чем на -10...+20%. Если невозможно подобрать лампу, поток которой отличался от расчетного в указанных пределах, необходимо изменить количество ламп и произвести перерасчет.

12. Определяем фактическую освещенность помещения от принятых ламп по формуле

$$E_{\phi} = F_{л} n K_{uc} / 1,15 S K_3 \quad (19)$$

где $F_{л}$ - световой поток выбранной лампы, лм;

n - количество светильников, шт;

K_{uc} - коэффициент использования светового потока, выраженный не в процентах, а в долях единицы;

S - площадь освещаемого помещения, м²

K_3 - коэффициент запаса.

13. Полученное значение E_{ϕ} должно быть больше чем минимальная допустимая освещенность помещения E_n , лк.

4.2. Расчет мощности, необходимой для питания осветительной сети

1. Определяем значения коэффициента мощности светильника $\cos \varphi_{св}$, коэффициент полезного действия светильника $\eta_{св}$ по таблице 6.

Таблица 6 - Значения коэффициента мощности светильников $\cos\varphi_{св}$, коэффициент полезного действия светильников $\eta_{св}$ для различных типов ламп

Параметр	Лампы накаливания	Лампы ДРЛ	Лампы люми- несцентные	Лампы ДКсТ
$\cos\varphi_{св}$	1,0	0,57	0,9.0,95	0,95
$\eta_{св}$	1,0	0,82....0,87	0,83	0,8....0,98

2. Определяем мощность, необходимую для питания осветительной сети по формуле:

$$S_{oc} = n P_{л} \cdot 10^{-3} / 0,95 \cos\varphi_{св} \cdot \eta_{св} , \quad (20)$$

где S_{oc} - мощность для питания осветительной сети, кВА;

n - количество светильников, шт;

$P_{л}$ - мощность выбранного светильника, кВт;

$\cos\varphi_{св}$ - коэффициента мощности светильников;

$\eta_{св}$ - коэффициент полезного действия светильников.

По характеру работы и среды помещения (цеха) выбирается вид системы освещения с источниками света.

Наиболее экономичными являются газоразрядные источники света и комбинированная система освещения.

Пример расчёта освещения и осветительной сети

Пример расчёта освещения и осветительной сети сделан на примере механического цеха. План расстановки оборудования, силовых и осветительных щитов рассматриваемого механического цеха представлен на рис.7.

Цифрами на рисунке 7 обозначены:

в числителе - номера электроприёмников: 1-3 - карусельные фрезерные станки; 4,5 - заточные станки; 6 - наждачный станок; 8 – вентилятор приточный; 9 - вентилятор вытяжной; 10 – продольно-строгальный станок; 11,12 - плоскошлифовальный станок; 13...15 - продольно- фрезерные станки;

в знаменателе - номинальный ток статора.

Расчет производим методом коэффициента использования светового потока.

Станочное отделение имеет исходные данные:

- длина $A = 48\text{м}$;
- ширина $B = 24\text{м}$;
- высота $H = 8\text{м}$;
- минимальная освещенность $E_{\min} = 200\text{лк}$ (СНиП 2.08.02- 89.)

Основная формула для расчета

$$F = E_{\min} \cdot K_3 \cdot S \cdot Z / N \cdot \eta, \text{ где}$$

F - световой поток одной лампы (лм);

K_3 - коэффициент запаса мощности (принимается 1,5 - для ДРЛ);

S - площадь помещения (м^2);

Z - коэффициент неравномерности освещенности (принимается 1,3 – для газоразрядных ламп, расположенных в ряд);

N - число источников света ;

η - коэффициент использования светового потока , %

Находим индекс помещения по формуле:

$$i = A \cdot B / h \cdot (A+B) = 48 \cdot 24 / 6,2 \cdot (48+24) = 2,58$$

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью

$$h = H - h_p - h_c = 8 - 0,8 - 1 = 6,2 \text{ м}$$

h_p - расстояние от рабочей поверхности до пола (принимается 0,8м),

h_c - расстояние от потолка до светильника (принимается 1м).

По индексу помещения и коэффициентам отражения

$P_{\text{пот}} = 50\%$, $P_c = 30\%$, $P_{\text{пола}} = 10\%$ соответственно потолка, стен, пола;

Находим коэффициент использования светового потока: $\eta = 6$ (СП52.13330.2011).

Находим расстояние между светильниками

$$L = h \cdot \gamma = 6,2 \cdot 1,4 = 8 \text{ м},$$

где γ - относительное расстояние между светильниками принимаем 1,4;

- число рядов светильников в помещении $N_b = B/L = 24/8 = 3 \text{ шт.}$;

- число светильников в ряду $N_a = A/L = 48/8 = 6 \text{ шт.}$;

- общее число светильников $N = N_a \cdot N_b = 6 \cdot 3 = 18 \text{ шт.}$,

тогда $F = 200 \cdot 1,5 \cdot 1152 \cdot 1,3 / 18 \cdot 0,61 = 40918 \text{ лм}$.

Выбираем ДРЛ-1000 со световым потоком 5000 лм и пересчитываем количество светильников:

$$F = E_{\min} \cdot K_3 \cdot S \cdot Z / N \cdot \eta = 14,7 \text{ шт.}$$

Результаты выбора типов светильников сводим в табл.8.

Окончательно принимаем три ряда по 5 штук в каждом ряду для станочного отделения.

В бытовых и малых помещениях цеха используем люминесцентные светильники ПВЛМ.

Таблица 7 - Нормы освещенности помещений и площадь помещений

Наименование помещения	E_{min} , лк	A, м	B, м	S, м ²
1	2	3	4	6
ТП	75	6	8	48
РУ	75	6	4	24
Кабинет начальника цеха	300	6	6	36
Склад	100	8	8	64
Фрезерная	150	6	8	48
Заточная	150	6	4	24
Бытовка	200	6	4	24
Бытовка 2	200	8	4	32
Вентиляционная	150	4	4	16
Станочное отделение	200	48	24	1152

Находим мощность всех ламп станочного помещения, необходимых для равномерного освещения площади, для этого используем формулу:

$$P_{осе} = P_n \cdot N = 1000 \cdot 15 = 15000 \text{ Вт.}$$

Выбор питающих линий осветительной сети производим по длительно допустимому току нагрузки:

$$I_{ном} = P_{ном} \cdot K_{сп} / U_{ном} \cdot \cos \varphi,$$

$P_{ном}$ - номинальная мощность светильника, Вт;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение светильника, В;

$K_{сп}$ - коэффициент спроса светильника ($K_{сп}=0,9-0,95$),

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности.

На план цеха заносятся светильники и питающие сети рабочего освещения (рис.8).

Расчёт аварийного освещения производится аналогично рабочему освещению, при этом освещённость для аварийного освещения принимается равной 5-10% от освещённости рабочего освещения.

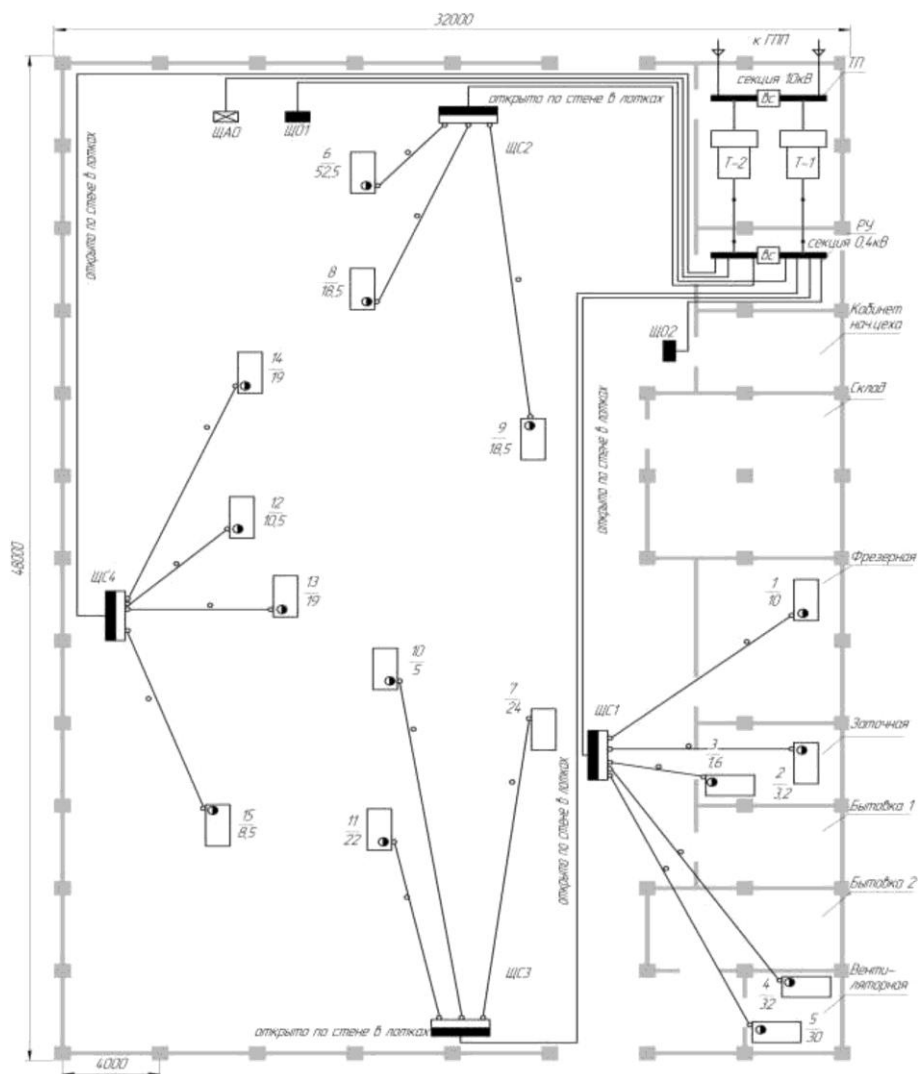


Рис.7. План расстановки ШС и ЩО в механическом цехе

Таблица 8 - Результаты расчета количества и типа светильников

Наименование помещения	P _о , Вт	N, шт.	Тип светильника
ТП	240	3	ПВЛМ 2х40
РУ	160	2	ПВЛМ 2х40
Кабинет начальника	720	9	ЛП002 2х40
Склад	480	6	ПВЛМ 2х40
Фрезерная	480	6	ПВЛМ 2х40
Заточная	240	3	ПВЛМ 2х40
Бытовка	320	4	ЛП002 2х40
Бытовка 2	480	6	ЛП002 2х40
Вентиляционная., коридор	320	4	ПВЛМ 2х40
Станочное отделение	15000	15	ДРЛх1000Вт

$$I_{ном} = 0,24 \cdot 1000 \cdot 0,8/220 \cdot 0,9 = 1A$$

По экономической плотности тока:

$$S_{эк} = I_{раб} / J_k, \text{ где } J_k - \text{экономическая плотность тока, А/мм}^2$$

Так как, предприятие работает в одну смену, то $T_{max} = 2000 \text{ ч}$,

$$J_k = 1,6 \text{ А/мм}^2.$$

$$S_{эк} = 1/1,6 = 0,6 \text{ мм}.$$

По допустимым потерям напряжения:

$$S_{\Delta U} = I_{раб} \cdot L \cdot \cos \varphi / \gamma \cdot \Delta U_{доп}.$$

$$S_{\Delta U} = 1 \cdot 30 \cdot 0,9/32 \cdot 11 = 0,07 \text{ мм}^2,$$

где $I_{раб}$ - рабочий ток светильника, А;

L - длина кабеля, м;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности;

γ - удельная проводимость, м/Ом· мм²; для алюминия $\gamma = 32$;

$\Delta U_{доп}$ - допустимые потери напряжения,

$$\Delta U_{доп} = 0,05 \cdot U_{ном} = 0,05 \cdot 220 = 11 \text{ В}.$$

Выбираем кабель АВВГ 3*1,0, так как 0,6 мм < 1,0 мм (табл.9).

Таблица 9 - Выбор кабелей для осветительной сети

ЭП	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	L, м	$S_{\Delta U}$, мм ²	$S_{эк}$, мм ²	K_n	$\cos \varphi$	Марка кабеля
ТП	0,24	1	30	0,07	0,61	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
РУ	0,16	0,65	20	0,03	0,40	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Кабинет нач. цеха	0,8	3,23	15	0,12	2,02	0,8	0,9	АВВГ 3*2,5
Склад	0,48	1,94	20	0,10	1,21	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Фрезерная	0,48	1,94	25	0,12	1,21	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Заточная	0,24	0,97	30	0,07	0,61	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Бытовка-1	0,32	1,29	35	0,12	0,81	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Бытовка-2	0,48	1,94	40	0,20	1,21	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Вентиляторная	0,32	1,29	50	0,17	0,81	0,8	0,9	АВВГ 3*1,0
Станочное отделение: 1-я гр.	1, 2	4,85	60	0,74	3,03	0,8	0,9	АВВГ 3*2,5
ЩО 2	3,4	13,58	30	1,04	8,48	0,8	0,9	АВВГ 4*2,5
ЩО 1	10,5	42,42	30	3,25	26,52	0,8	0,9	АВВГ 4*4
ЩАО	0,1	0,40	40	0,04	0,25	0,8	0,9	АВВГ 4*1,5

4.2. Выбор аппаратов управления и защиты осветительной сети

Расчёт производим на примере одного из осветительных приборов, полученные данные сводим в таблицу 10.

1. Рассчитываем ток на каждую фазу осветительного прибора:

$$I_{ном} = P_{ном} \cdot K_{сп} / U_{ном} \cdot \cos \varphi,$$

$P_{ном}$ - номинальная мощность светильника, Вт.

$U_{ном}$ - номинальное напряжение светильника, В.

$K_{сп}$ - коэффициент спроса светильника

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности.

Пример:

$$\cos \varphi = 0,95. \quad I_{ном} = 0,24 \cdot 1000 / 220 \cdot 0,95 = 1,15 \text{ А.}$$

2. Рассчитываем ток отсечки, считая кратность равной 5:

$$I_{отс} = I_{раб} \cdot K_{пуск} = 1,15 \cdot 5 = 5,74 \text{ А, где}$$

$K_{пуск}$ - кратность пускового тока.

3. Выбираем автоматический выключатель:
 АЕ2010; $I_{ном} = 1,5A$ ($1,5 > 1,15$), кратность тока отсечки равна 7,
 поэтому
 $I_{отс} = 1,5 \cdot 7 = 10A$ ($10 > 5,74$)
 Дальнейшие расчеты аналогичны, поэтому остальные данные в
 табл. 10.

Таблица 10 - Выбор аппаратов управления и защиты осветительной
 сети

Потребитель	$P_{ном},$ кВт	$I_{раб},$ А	$\cos \varphi$	$I_{уст},$ А	$I_{отс},$ А	Автомат	$I_{авт},$ А
ТП	0,24	1,15	0,95	1,21	9,00	ABB S280	1,5
РУ	0,16	0,77	0,95	0,80	9,00	ABB S280	1,5
Кабинет началь- ника цеха	0,8	3,83	0,95	4,02	24,00	ABB S280	4
Склад	0,48	2,30	0,95	2,41	15,00	ABB S280	2,5
Фрезерная	0,48	2,30	0,95	2,41	15,00	ABB S280	2,5
Заточная	0,24	1,15	0,95	1,21	9,00	ABB S280	1,5
Бытовка-1	0,32	1,53	0,95	1,61	15,00	ABB S280	2,5
Бытовка-2	0,48	2,30	0,95	2,41	15,00	ABB S280	2,5
Вентиляторная	0,32	1,53	0,95	1,61	9,00	ABB S280	1,5
Станочное отделение: I группа	1, 2	5,74	0,95	6,03	36,00	ABB S280	6
ЩО1	3,4	16,27	0,95	17,08	120,0	ABB S280	20
ЩО2	10,5	50,24	0,95	52,75	378,0	ABB S280	63
ЩАО	0,1	0,48	0,95	0,50	9,00	ABB S280	1,5

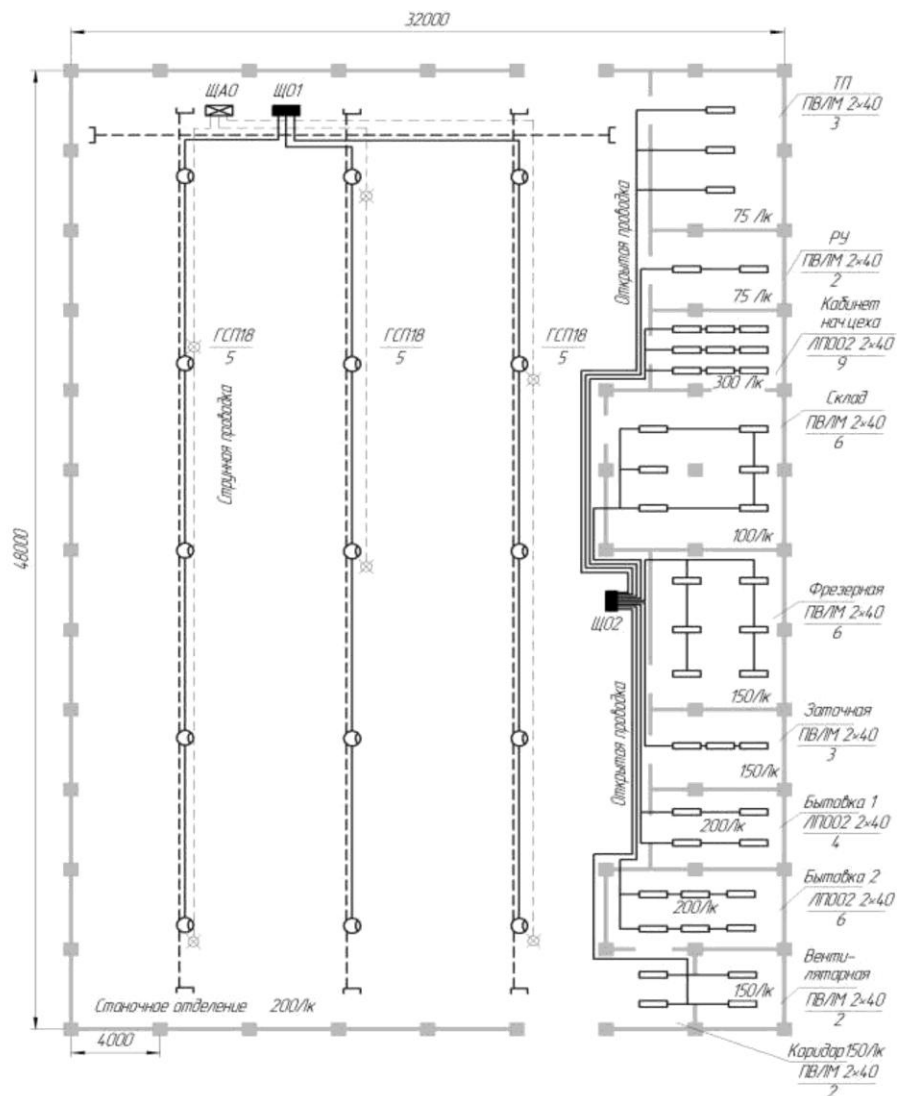


Рис. 8 План освещения механического цеха

5. Расчёт и выбор цеховых трансформаторов

5.1. Выбор схемы силовой сети цеха

Внутрицеховые сети выполняют по радиальной, магистральной или смешанной схемам. На выбор схемы влияют категория потребителей по надежности электроснабжения, взаимное расположение ЭП по площади цеха, их единичная мощность, связанность электроприемников единым технологическим процессом и характеристика окружающей среды.

Радиальные схемы применяют в помещениях с любой окружающей средой. Данные схемы характерны тем, что от источника питания (КТП) прокладывают линии, питающие непосредственно ЭП большой мощности или комплектные распределительные устройства (шкафы, пункты, сборки, щиты), от которых по отдельным линиям питаются электроприемники малой и средней мощности. Распределительные устройства следует располагать в центре электрических нагрузок данной группы потребителей (если позволяет окружающая среда) с целью уменьшения длины распределительных линий. Линии, по которым запитываются распределительные устройства, называются питающими и выполняются, как правило, кабелями. Радиальные схемы требуют установки на цеховых подстанциях большого числа коммутационных аппаратов и значительного расхода кабелей.

Радиальные схемы следует применять:

- для электроснабжения потребителей I категории;
- для электроснабжения мощных ЭП, не связанных единым технологическим процессом;
- для электроснабжения потребителей, взаимное расположение которых делает нецелесообразным питание их по магистральной схеме;
- для питания насосных и компрессорных станций;
- во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях, в которых распределительные устройства должны быть вынесены в отдельные помещения с нормальной средой.

На рис. 9 приведен пример выполнения радиальной схемы. Наиболее экономичными являются магистральные схемы. Широкое применение получили схемы «блок трансформатор – магистраль» (БТМ) без распределительных устройств на подстанциях. В

схемах БТМ целесообразно использование комплектных шинопроводов: в питающей сети – магистральных шинопроводов серии ШМА, в распределительной сети – распределительных шинопроводов серии ШРА. Магистральные схемы с шинопроводами обеспечивают высокую степень надежности электроснабжения. Их основными достоинствами являются универсальность и гибкость, позволяющие производить изменения технологического процесса и перестановку технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей.

Магистральные схемы применяют:

- для питания электроприемников, связанных единым технологическим процессом, когда прекращение питания одного электроприемника вызывает необходимость прекращения всего технологического процесса;
- для питания большого числа малых электроприемников, не связанных единым технологическим процессом, равномерно распределенных по площади цеха.

На рис. 10 приведена схема БТМ для двухтрансформаторной подстанции. Магистральные шинопроводы подключаются к вводным автоматическим выключателям. Непосредственно к трансформатору допускается присоединять некоторые ЭП или освещение для бесперебойного их питания при отключении главной магистрали.

Магистральные шинопроводы прокладываются в цехе на высоте $4 \div 4,5$ метров от пола, распределительные шинопроводы для удобства эксплуатации устанавливаются, как правило, на высоте $2,5 \div 3$ метров.

На практике наибольшее распространение получили смешанные схемы.

Если проектируемый объект относится ко 2-ой категории надежности электроснабжения, то он получает питание по комбинированной схеме, сочетающей в себе элементы радиальных и магистральных схем и пригодные для любой категории электроснабжения. Согласно требованиям ПУЭ электроприемники 2-ой категории должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников по двум взаиморезервируемым линиям. Для реализации этих требований в схеме предусмотрены два силовых трансформатора Т-1 и Т-2 и два магистральных шинопровода ШМА-1 ШМА-1 и ШМА-2, подключённых непосредственно к выводам

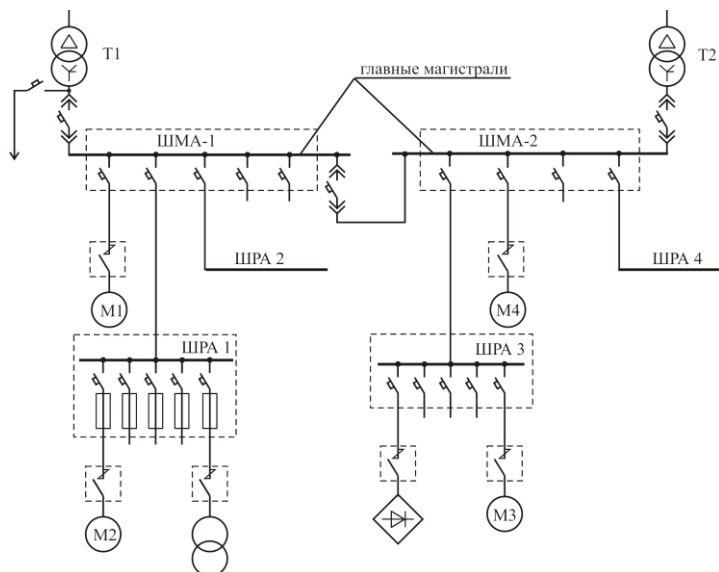


Рис. 9. Пример радиальной схемы для ЭП различных категорий по надёжности электроснабжения

низкого напряжения трансформаторов по схеме БТМ (блок «трансформатор-магистраль»). Количество магистральных шинопроводов не должно превышать число трансформаторов на подстанции. Это требование в разработанной схеме соблюдено. Для взаиморезервирования магистральных шинопроводов в помещении цеховой ТП предусмотрена резервная перемычка с автоматическим выключателем, приводимым в действие дежурным персоналом, как это предписывается требованиям ПУЭ относительно электроприёмников 2-ой категории надёжности. Питающие сети конструктивно представлены двумя магистральными шинопроводами ШМА-1 и ШМА-2. Распределительные сети конструктивно выполнены в виде распределительных шинопроводов ШРА-1, ШРА-2 и ШРА-3, а также в виде распределительных пунктов РП-1 и РП-2.

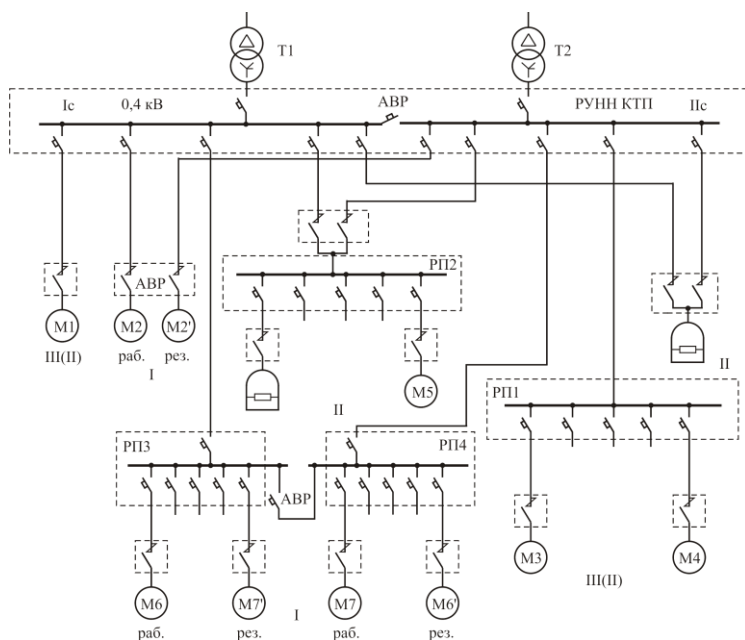


Рис. 10. Пример выполнения магистральной схемы при двухтрансформаторной КТП

Электроснабжение трёх ШРА и двух РП осуществляется непосредственно от магистральных шинопроводов с учётом требований равномерности нагрузки. Целесообразно применить ШРА, если проектируемый нами объект имеет тенденцию к частым изменениям технологического процесса и перестановке оборудования. В случае, когда проектируемый объект относится к небольшим по размеру цехам, то питание осветительной сети осуществляется от распределительного пункта по схеме «фаза-нейтраль». Так как уровень питающего напряжения равен 380 В, то установка осветительного трансформатора не требуется

Таким образом, вид схемы электроснабжения зависит от расположения ЭП:

а) если электроприемники расположены упорядоченно, то выбирается магистральная схема, которая выполняется шинопроводами.

Количество трансформаторов зависит от категории электроприемников:

1. первая категория - $n > 2$;
2. вторая категория - $n < 2$;
3. третья категория - $n = 1$.

В случае двухтрансформаторной ТП, нагрузка на трансформаторы должна быть равномерной.

б) Если электроприемники расположены неупорядоченно, то выбирается радиальная схема, которая выполняется кабелями, идущими от распределительных пунктов.

в) Также существует смешанная схема - это когда часть электроприемников запитывается от распределительных пунктов, а другая часть - от шинопровода.

Если, например, в механическом цехе электроприемники расположены упорядочено, то для проектирования выбирают магистральную схему ЭСН. Электроприемники механического цеха относятся ко 2 и 3 категории надежности, следовательно, для проектирования выбираем однострансформаторную цеховую ТП с вводом резерва на секцию шин низкого напряжения (НН) от цеховой ТП другого цеха (рис.11).

5.2. Методика выбора трансформаторов

На выбор числа трансформаторов влияет категория потребителей по надежности электроснабжения, график нагрузки цеха и удельная мощность нагрузки. Однострансформаторные подстанции при наличии складского резерва можно использовать для питания электроприемников III и даже II категории. Однострансформаторные КТП можно применить и для питания электроприемников I категории, если их мощность не превышает 15–20 % мощности трансформатора и возможно резервирование подстанций на вторичном напряжении переключателями с АВР.

Двухтрансформаторные цеховые подстанции применяют при преобладании электроприемников I и II категории и в энергоемких цехах при большой удельной мощности нагрузки $0,5 \div 4 \text{ кВА/м}^2$.

Двухтрансформаторные КТП используют для питания электроприемников любой категории по надежности электроснабжения в следующих случаях:

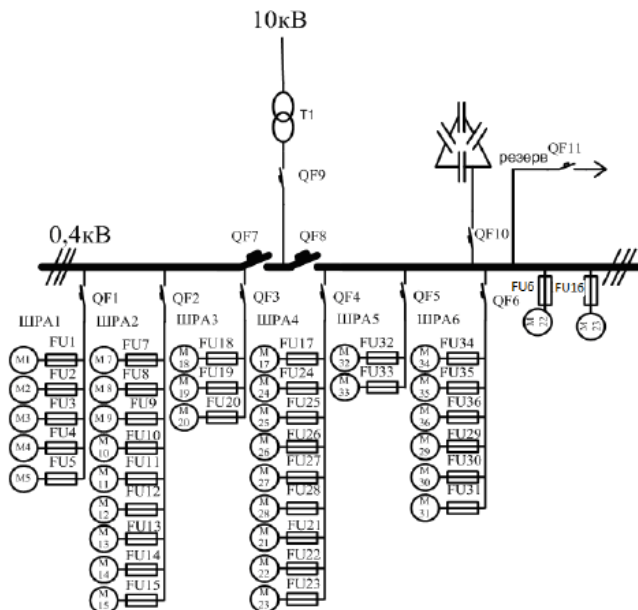


Рис. 11. Принципиальная схема электрической сети цеха

1. суточный или годовой график нагрузки цеха очень неравномерен (например, односменная работа цеха, когда выгодно в ненагруженные часы отключать один трансформатор);
2. возможен дальнейший быстрый рост нагрузки;
3. удельная мощность нагрузки не менее $0,4 \text{ кВА/м}^2$.

Более двух трансформаторов используют для питания цеховых ЭП при необходимости раздельного питания силовой и осветительной нагрузки цеха; если имеются мощные ЭП, требующие блочного питания, или нагрузка цеха превышает нагрузочную способность двухтрансформаторной КТП с трансформаторами мощностью 2500 кВА (приблизительно $> 3500 \text{ кВА}$).

Следует учесть, что если нагрузка цеха не более 400 кВА, то экономически нецелесообразно устанавливать собственную КТП в этом цехе.

Мощность трансформатора в однотрансформаторной КТП выбирается по условию:

$$S_{\text{нт}} \geq S_p \quad (21)$$

где $S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

S_p – расчетная нагрузка цеха, кВА.

Для двухтрансформаторных подстанций

$$S_{\text{нт}} = \frac{S_p}{2K_3}, \quad (22)$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформатора, принимаемый при преобладании потребителей I категории (до 80 %) в пределах $0,6 \div 0,7$; при преобладании потребителей II категории – $0,75 \div 0,85$; для III категории – $0,9 \div 1$.

В последние годы ведется поиск наиболее эффективных методов выбора цеховых трансформаторов. Один из подходов к решению этой задачи основан на применении комплексного метода расчета электрических нагрузок (прогноз увеличения нагрузки во времени и в зависимости от технологических показателей цеха). В этом случае выбор мощности цеховых трансформаторов можно произвести по удельной плотности нагрузки ($S_{\text{руд}}$):

$S_{\text{руд}}$, кВА/м ² ... менее 0,2;	0,2 ÷ 0,5;	более 0,5
$S_{\text{нт}}$, кВА..... до 1000;	1000 ÷ 1600;	1600 ÷ 2500

Далее по табл. С1 Приложения следует выбрать тип трансформатора и привести его технические характеристики.

При выборе двухтрансформаторной КТП необходимо определить нагрузку секций шин, распределив ЭП цеха между цеховыми трансформаторами. Цеховые ЭП могут питаться либо от шин КТП непосредственно, либо через силовые распределительные пункты в зависимости от их единичной мощности. Линейные панели РУНН КТП комплектуются автоматическими выключателями (АВ) с номинальным током $I_{\text{на}} \geq 250 \text{ А}$, снабженные тепловыми расцепителями с номинальным током $I_{\text{нтр}} \geq 100 \text{ А}$. Силовые распределительные пункты (РП) комплектуются АВ с $I_{\text{на}} \leq 250 \text{ А}$ с $I_{\text{нтр}} \leq 250 \text{ А}$.

В связи с этим мощные ЭП с номинальным током $I_{\text{на}} > 250 \text{ А}$ можно питать только от шин КТП непосредственно, ЭП с $I_{\text{н}} \leq 80 \text{ А}$ – только через распределительные пункты, ЭП с $80 < I_{\text{н}} \leq 250 \text{ А}$ можно питать либо от шин КТП непосредственно, либо через РП.

ЭП малой и средней мощности объединяют в группы по территориальному признаку и питают либо от распределительных шинопроводов (ШРА) при магистральных схемах цеховых сетей, либо от РП при радиальных схемах. Нагрузки ШРА и РП, а также секций шин определяют по методу коэффициента расчетной активной мощности и результаты сводят в таблицу, аналогичную табл. 4.

Далее следует определить потери напряжения во вторичных обмотках цеховых трансформаторов по формуле:

$$\Delta U_{\text{т}} = \beta (U_{\text{ка}} \cos \varphi_{\text{ср}} + U_{\text{кр}} \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad \%, \quad (23)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_{\text{ка}}$, $U_{\text{кр}}$ – соответственно активная и индуктивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, %;

$\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

$$\beta = \frac{S_{\text{рт}}}{S_{\text{нт}}}, \quad (24)$$

где $S_{\text{рт}}$ – расчетная нагрузка трансформатора.

$$U_{\text{ка}} = \frac{P_{\text{к}}}{S_{\text{нт}}} \cdot 100, \quad \%, \quad (25)$$

где $P_{\text{к}}$ – мощность потерь короткого замыкания, кВт.

$$U_{\text{кр}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{ка}}^2}, \quad \%, \quad (26)$$

где $U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

5.3. Выбор схемы и компоновки цеховой КТП

Цеховые трансформаторные подстанции, как правило, не имеют распределительного устройства высокого напряжения (РУВН) и состоят из шкафов ввода высокого напряжения, трансформаторов и распределительного устройства низкого напряжения (РУНН).

В состав подстанции может входить РУВН, если в цехе имеются высоковольтные электроприемники (двигатели, электротехнологические установки), либо если цеховые трансформаторы запитаны

по магистральной схеме. Цеховая трансформаторная подстанция может не иметь РУНН, если цеховые электрические сети выполняются по схеме «блок трансформатор – магистраль» (БТМ). В этом случае функцию распределительного устройства низкого напряжения выполняет магистральный шинопровод (ШМА), проложенный в цехе.

На стороне 0,4 кВ применяется радиальная схема электроснабжения, что связано с категорией надёжности потребителей предприятия и значительно повышает условия надёжности.

В распределительном устройстве используются распределительные шкафы типов:

- ШНВ-2 (шкаф низковольтный вводной);
- ШНЛ-2 (шкаф низковольтный линейный);
- ШНС-2 (шкаф низковольтный секционный).

Во всех шкафах устанавливаются автоматические выключатели марки ВА (во вводных шкафах – вводные выключатели, в линейных – линейные выключатели и в секционном – секционные).

Линейные панели РУНН комплектуются трансформаторами тока, амперметрами и коммутационно-защитной аппаратурой следующих видов:

- 1.блоки рубильник – предохранитель ($2 \times 100 + 2 \times 250$; 4×250 ; $2 \times 250 + 2 \times 400$) с $I_{на} = 100; 250; 400 \text{ A}$;
- 2.рубильник, предохранитель с $I_{на} = 600 \text{ A}$;
3. рубильники, автоматические выключатели (6×100 ; 4×250 ; 2×600 ; 4×100) с $I_{нтр} \geq 100 \text{ A}$;
- 4.автоматические выключатели с $I_{нтр} \geq 100 \text{ A}$ (6×100 ; 4×250 ; 2×600 ; 4×100);
- 5.разъединитель, автоматический выключатель (1×400 ; 1×1000) с $I_{нтр} = 400; 1000 \text{ A}$.

К низковольтным линейным шкафам через автоматические выключатели подключаются питающие кабели.

Для учета электроэнергии, а также с целью измерения напряжения и тока, во всех фазах вводных шкафов низкого напряжения устанавливаются трансформаторы, а для учета электроэнергии – трёхфазные счетчики активной и реактивной электроэнергии.

После разработки схемы следует дать её описание по следующему плану:

1. Указать, в соответствии с какой категорией надёжности электроприёмники проектируемого объекта получают питание.
2. Пояснить, какие требования ПУЭ предъявляются к схемам электроснабжения объектов указанной категории надёжности и как эти требования реализованы на разработанной схеме.
3. Пояснить, чем конструктивно представлены на разработанной схеме питающие и распределительные сети проектируемого объекта.
4. Указать, сколько РП и ШРА имеется в схеме, как осуществляется их электроснабжение, обосновать выбор ШРА (если имеется).
5. Пояснить, чем конструктивно представлены осветительные сети и как осуществляется их электроснабжение (шинопровод осветительный, щит освещения, РУ осветительной сети и т.д.); если для питания сети освещения необходимы осветительные трансформаторы, то следует обосновать причину их установки.

5.4. Методики расчёта мощности и выбора трансформаторов

1. Трансформатор выбираем по активной расчётной нагрузке

$$S_T = P_M / \beta * N, \quad (27)$$

где P_M - максимальная активная мощность, кВт, (таблица 4 - Расчет электрической нагрузки); β - коэффициент загрузки трансформатора, зависящий от категоричности ЭП цеха: $\beta = 1$ для ЭП III категории, 0,9 - для II категории и 0,7 - для I категории; N - число трансформаторов; $N = 1$ для II и III категории и $N = 2$ для I категории.

2. Определяется тип и параметры трансформатора (по табл. С1).

3. Определяется реактивная мощность, которая вырабатывается трансформатором:

$$Q_T = \sqrt{((1 \cdot S_T \cdot \beta \cdot N)^2 - P_M^2)}, \quad (28)$$

где S_T - полная мощность выбранного трансформатора, кВА;

β - коэффициент загрузки трансформатора;

N - количество трансформаторов, зависящее от категоричности электроприёмников объекта;

P_M - максимальная активная мощность, кВт,

1,1- коэффициент учитывающий по ГОСТ 14209-85 допустимую нагрузку трансформатора в течении смены.

4. Определяем необходимость компенсационной установки

$$Q_{\text{кy}} = Q_{\text{м}} - Q_{\text{т}} \quad (29)$$

где $Q_{\text{т}}$ - реактивная мощность, которая вырабатывается трансформатором, кВАр;

$Q_{\text{м}}$ - реактивная мощность необходимая для работы объекта, кВАр.

Если значение $Q_{\text{кy}}$ отрицательно, то устанавливать компенсационную установку нет необходимости, если значение $Q_{\text{кy}}$ положительно, то компенсационная установка нужна.

Расчёт мощности и выбор трансформаторов можно также производить методом коэффициента использования по данному алгоритму:

1. Рассчитать активную мощность $P_{\text{расч.}}$ каждого электроприёмника, используя одну из следующих формул:

Для электроприёмников, работающих в длительном режиме:

$$P_{\text{расч.}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{и}} \cdot n, \text{ где } n - \text{количество электроприёмников}$$

Для электроприёмников, работающих в повторно-кратковременном режиме:

$$P_{\text{расч.}} = P_{\text{ном}} \cdot \sqrt{ПВ} \cdot n, \text{ где } ПВ - \text{продолжительность включения, о.е. (табл.1 данного пособия)}$$

Для электроприёмников, работающих в длительном режиме, мощность которых задана полной мощностью: $P_{\text{расч.}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot n$

Для электроприёмников, работающих в ПКР, мощность которых задана полной мощностью: $P_{\text{расч.}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{ПВ} \cdot n$

2. Рассчитать реактивную мощность $Q_{\text{расч.}}$ каждого электроприёмника по формуле: $Q_{\text{расч.}} = P_{\text{расч.}} \cdot \tan\varphi$

3. Сложить активные мощности всех электроприёмников.

4. Сложить реактивные мощности всех электроприёмников.

5. Рассчитать полную мощность всех электроприёмников по формуле: $S_{\text{расч.}} = \sqrt{(\sum P_{\text{расч.}})^2 + (\sum Q_{\text{расч.}})^2}$

6. Выбрать количество, тип и мощность трансформатора, расшифровать его марку.

7. Проверить коэффициент загрузки трансформатора в нормальном и аварийном режимах:

$$\beta_{\text{ав.}} = S_{\text{расч.}} / S_{\text{ном.тр-ра}}$$

$$\beta_{\text{нор.}} = S_{\text{расч.}} / 2S_{\text{ном.тр-ра}} \quad (30)$$

Пример выбора трансформаторов цеховой подстанции
 Рассчитываем мощность и выбираем трансформаторы для цеховой ТП (исходные данные табл.11), напряжение сети внешнего электроснабжения 10 кВ, напряжение ЭП цеха 0,4 кВ.

Решение:

1.Расчётная активная мощность электроприёмников:

для вентилятора: $P_{расч.1} = P_{ном} \cdot K_u \cdot n = 18,5 \cdot 0,9 \cdot 3 = 50 \text{ кВт};$

для печки: $P_{расч.2} = S_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot n = 75 \cdot 0,97 \cdot 2 = 145,5 \text{ кВт};$

для щита, освещения: $P_{расч.3} = P_{ном} \cdot K_u \cdot n = 15 \cdot 1 \cdot 1 = 15 \text{ кВт};$

для сварочного трансформатора:

$P_{расч.4} = S_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{ПВ} \cdot n = 30 \cdot \sqrt{0,6} \cdot 0,8 \cdot 2 = 37,5 \text{ кВт}.$

Таблица 11 - Исходные данные для выбора трансформаторов ТП

Оборудование	Количество	Категория надёжности	K_u	$tg\varphi$	$P_{ном}, \text{кВт}$ $S_{ном}, \text{кВА}$	ПВ, %
вентилятор	3	1	0,9	0,62	18,5 кВт	ДР
печка	2	1	0,75	0,25	75 кВА	ДР
Щит освещения	1	1	1	0,9	15 кВт	ДР
Сварочный трансформатор	2	3	0,6	0,75	30 кВА	60

2.Расчётная реактивная мощность электроприёмников:

для вентилятора: $Q_{расч1} = P_{расч} \cdot tg\varphi = 50 \cdot 0,62 = 31 \text{ кВАр};$

для печки: $Q_{расч2} = P_{расч} \cdot tg\varphi = 145,5 \cdot 0,25 = 36,5 \text{ кВАр};$

для щита освещения: $Q_{расч3} = P_{расч} \cdot tg\varphi = 15 \cdot 0,9 = 13,5 \text{ кВАр};$

для сварочного трансформатора:

$Q_{расч.4} = P_{расч} \cdot tg\varphi = 37,5 \cdot 0,75 = 28 \text{ кВАр}.$

3.Суммарная активная мощность всех электроприёмников:

$\Sigma P_{расч} = P_{расч.1} + P_{расч.2} + P_{расч.3} + P_{расч.4} = 50 + 145,5 + 15 + 37,5 = 248 \text{ кВт}.$

4.Суммарная реактивная мощность всех электроприёмников:

$\Sigma Q_{расч} = Q_{расч1} + Q_{расч2} + Q_{расч3} + Q_{расч4} = 31 + 36,5 + 13,5 + 28 = 109 \text{ кВАр}.$

5.Полная расчётная мощность всех электроприёмников:

$S_{расч} = \sqrt{(\Sigma P_{расч})^2 + (\Sigma Q_{расч})^2} = \sqrt{(248)^2 + (109)^2} = \sqrt{73385} = 271 \text{ кВт}.$

6.Полная расчётная мощность электроприёмников 1-й и 2-й категории:

$S_{расч.1 \text{ и } 2 \text{ кат.}} = \sqrt{(\Sigma P_{расч.1 \text{ и } 2 \text{ кат.}})^2 + (\Sigma Q_{расч.1 \text{ и } 2 \text{ кат.}})^2} = \sqrt{(50 + 145,5 + 15)^2 + (31 + 36,5 + 13,5)^2} = \sqrt{50871,25} = 225,5 \text{ кВА}.$

7.Так как в цехе имеются электроприёмники 1 категории, то выбираем два трансформатора с номинальной мощностью, величина которой является ближайшей большей к расчётной мощности электроприёмников 1-й и 2-й категорий. Подходят трансформаторы типа ТМ-250/10/0,4, где Т - трёхфазный, М

- масляный, 250 - номинальная мощность трансформатора, кВА; 10 – напряжение обмотки высшего напряжения (первичной), кВ; 0,4 - напряжение обмотки низшего напряжения (вторичной), кВ.

8.Коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном и аварийном режимах:

$$\beta_{ав.} = S_{расч. 1 и 2 кат.} / S_{ном.тр-ра} = 225,5 / 250 = 0,9.$$

$$\beta_{нор..} = S_{расч.} / 2S_{ном.тр-ра} = 271 / 2 \cdot 250 = 0,54.$$

В нормальном режиме трансформаторы работают с недогрузкой, поэтому есть возможность подключения электроприёмников 3-й категории.

ПУЭ предъявляют к величине коэффициента загрузки следующие требования:

- Для потребителей 1-ой категории - $\beta_{ав.} = 0,8-0,9$; $\beta_{норм.} = 0,65-0,7$
- Для потребителей 2-ой категории - $\beta_{ав.} = 0,8-0,9$; $\beta_{норм.} = 0,7-0,8$
- Для потребителей 3-й категории - $\beta_{норм.} < 0,95$.

Расчёт токов первичной и вторичной обмоток и коэффициента мощности:

$$I_{ном.1} = 1,1 S_{ном} / \sqrt{3} \cdot U_{ном.1} = 1,1 \cdot 250 / \sqrt{3} \cdot 10 = 16A;$$

$$I_{ном.2} = 1,1 S_{ном} / \sqrt{3} \cdot U_{ном.2} = 1,1 \cdot 250 / \sqrt{3} \cdot 0,4 = 397A$$

$$\cos \varphi = \Sigma P_{расч} / \Sigma S_{расч} = 248 / 271 = 0,915 .$$

Составляем таблицу с данными трансформатора по форме табл. 12.

Таблица 12 - Технические данные трансформатора

Тип	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	I _{ном.1} , А	I _{ном.2} , А	Потери, кВт		U _{кз} , %	cos φ	β
					P _x	P _к			
ТМ-250/10	10	0,4	16	397	0,94	3,7	4,5	0,915	0,54

6. Расчет и выбор компенсирующего устройства

Компенсирующие устройства (КУ) предназначены для компенсации реактивной мощности и реактивных параметров передачи в электрических сетях.

На промышленных предприятиях применяют следующие КУ:

- для компенсации реактивной мощности - синхронные двигатели и параллельно включаемые батареи силовых конденсаторов;
- для компенсации реактивных параметров передачи - батареи силовых конденсаторов последовательного включения.

В цеховых ТП для компенсации реактивной мощности целесообразно применять конденсаторы, а также составленные из них батареи и конденсаторные установки, т.к. их отличительными особенностями от других КУ являются простота эксплуатации, простота монтажных работ вследствие малой массы, а также малые потери активной мощности при выработке реактивной.

ПУЭ рекомендует величину коэффициента мощности :

$\cos\varphi_{ном} = 0,95-0,97$, а $tg\varphi_{ном} = 0,25-0,28$.

Пример расчёта и выбора КУ

Исходные данные: активная и реактивная мощности за смену:

$P_{см} = 209,91 \text{ кВт}$, $Q_{см} = 287,77 \text{ кВАр}$, $tg\varphi = 1,37$.

Расчетная реактивная мощность компенсирующего устройства определяется из соотношения:

$$Q_{КУ} = P_{см} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (31)$$

где $P_{см}$ - средняя нагрузка за смену, кВт;

$tg\varphi$, $tg\varphi_k$ - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Компенсиацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения $\cos\varphi_k = 0,92.....0,95$.

Принимаем $\cos\varphi_k = 0,95$, откуда $tg\varphi_k = 0,33$.

Значения $P_{см}$, $tg\varphi$ определяются по таблице 4 (эл. нагрузки).

По формуле (31) определяем расчетную реактивную мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{КУ} = 209,91 \cdot (1,37 - 0,33) = 218,3 \text{ кВАр}.$$

Конденсаторные установки следует выбирать комплектными в соответствии с табл. 13.

Таблица 13 – Данные комплектных конденсаторных установок

N п/п	Тип ККУ	U _{ном} , В	Q _{ном} , квар
1	УКН-0,38-75УЗ	380	75
2	УКТ-0,38-108УЗ	380	108
3	УКН-0,38-150УЗ	380	150
4	УКЛ(П)Н-0,38-216-108УЗ	380	216
5	УКЛ(П)Н-0,38-324-108УЗ	380	324
	УКЛ(П)Н-0,38-432-108УЗ	380	432
	УКЛ(П)-0,38-300-150УЗ	380	300
	УКЛ(П)-0,38-450-150УЗ	380	450
	УКЛ(П)Н-0,38-600-150УЗ	380	600
	УКЛ(П)Н-0,38-108-36УЗ	380	108
	УКЛ(П)Н-0,38-216-36УЗ	380	216
	УКЛ(П)Н-0,38-150-50УЗ	380	150
	УКЛ(П)Н-0,38-300-50УЗ	380	300

Примечание. УК- установка конденсаторная; Л(П)-левое(правое) расположение вводной ячейки; Н,Т -параметр регулирования ,соответственно напряжение и ток; УЗ- для внутренней установки.

По полученному значению в качестве компенсирующего устройства выбираем комплектную конденсаторную установку типа УКЛ(П)Н-0,38-216-108УЗ, где стандартное значение мощности компенсирующего устройства:

$$Q_{КУсм} = I \cdot 216 = 216 \text{кВАр.}$$

Фактические значения $tg\varphi_\phi$ и $\cos\varphi_\phi$ после компенсации реактивной мощности определяются по формулам:

$$tg\varphi_\phi = (Q_{см} - Q_{КУсм}) / P_{см} \quad \text{и} \quad \cos\varphi_\phi = \cos(\arctg\varphi_\phi). \quad (32)$$

Определяем фактические значения $tg\varphi_\phi$ и $\cos\varphi_\phi$:

$$tg\varphi_\phi = (287,77 - 216) / 209,91 = 0,34$$

$$\cos\varphi_\phi = \cos(\arctg 0,34) = 0,94 .$$

Или можно выбрать в качестве компенсирующего устройства батарею конденсаторов типа КМ (некомплектную конденсаторную установку) с соединением конденсаторов по схеме «треугольник» и параметрами $U_{ном}$, Q_C и C_K .

Тогда необходимо определить ёмкость на одну фазу:

$$C_\phi = Q_{КУ} \cdot 10^3 / (3 U_{ном}^2 \cdot 2\pi f), \text{ Ф} \quad (33)$$

Количество конденсаторов на фазу:

$$n = C_\phi / C_K, \text{ шт.} \quad (34)$$

Общее число конденсаторов в конденсаторной батарее:

$$m = 3 \cdot n, \text{ шт.}$$

Фактическая мощность конденсаторной установки (должна быть больше необходимой мощности , т.е. $Q_{КУфакт} > Q_{КУ}$, тогда имеется

резерв реактивной мощности, позволяющей поддерживать требуемую величину $\cos\varphi$ с некоторым запасом) :

$$Q_{КУфакт.} = m \cdot Q_C, \text{ кВАр.} \quad (35)$$

Далее определяются фактические значения $\operatorname{tg}\varphi_\phi$ и $\cos\varphi_\phi$, значения которых также должны быть больше, чем до компенсации:

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = (Q_{см} - Q_{КУсм}) / P_{см};$$

$$\cos\varphi_\phi = \cos(\operatorname{arctg}\varphi_\phi).$$

После выбора КУ производится уточнение расчётной нагрузки цеха. Выбранные трансформаторы проверяются на допустимость режима, т.е. обмотка НН не должна перегружаться (в данной курсовой работе эти расчёты допускается не приводить).

7. Выбор силового электрооборудования

7.1. Выбор способов прокладки силовой сети цеха

В зависимости от выбранной схемы цеховых сетей они конструктивно могут быть выполнены комплектными шинопроводами или кабельными линиями, проложенными открыто или скрыто. На выбор способов прокладки кабелей влияют количество линий, совпадающих по трассе, и характеристика окружающей среды. В соответствии с ПУЭ производственные помещения в зависимости от характеристики окружающей среды делят на сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, с химически активной средой, пыльные, пожаро- и взрывоопасные. В любой среде возможна прокладка кабелей открыто по строительным конструкциям (не более шести кабелей, идущих в одном направлении) с учётом следующих ограничений:

- в помещениях с химически активной средой необходимо использовать кабели с изоляцией, инертной к химически агрессивной среде (например, поливинилхлоридную);
- в пожароопасных — кабели с негорючим наружным слоем: например, защитные герметичные оболочки кабелей из негорючей резины (АНРГ) или негорючего поливинилхлорида (АПВВнг-LS, АПВВГнг);
- во взрывоопасных зонах любого класса использовать только бронированные кабели;

- во взрывоопасных зонах классов В-I и В-IIа использовать бронированные кабели только с медными жилами;
- во взрывоопасных зонах всех классов запрещается использовать кабели с полиэтиленовой изоляцией и полиэтиленовой защитной оболочкой.

Для питания передвижных ЭП (крановых электродвигателей тельферов, мостовых кранов, кран-балок) применяют троллейные линии, выполненные из профильной стали или алюминиевых шин, а также троллейными шинопроводами типа ШТМ. Возможно использовать для их питания гибкие кабели.

7.2. Выбор и проверка комплектных шинопроводов

Сечение шин выбирают по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки по условию:

$$I_p \leq I_n, \quad (36)$$

где I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Технические характеристики магистральных шинопроводов приведены в табл. D1, распределительных – в табл. D2.

Для оценки уровня напряжения, подводимого к ЭП, запитанным от шинопроводов, необходимо учитывать потери напряжения в шинопроводах.

Потери напряжения в шинопроводах определяют по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}) \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot l_i, \quad \%, \quad (37)$$

где r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, Ом/км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент нагрузки шинопровода; I_{pi} – ток расчётный i -той нагрузки, А; l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -той нагрузки, км.

При токе нагрузки, близком к номинальному току шинопровода, потери напряжения допускается определять по линейной потере напряжения на 100 м шинопровода по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{лш}} \cdot l_{\text{ш}}}{U_n}, \quad \%, \quad (38)$$

где $\Delta U_{\text{лш}}$ – линейная потеря напряжения шинопровода, В;
 $l_{\text{ш}}$ – длина шинопровода до точки подключения нагрузки, м;
 U_n – номинальное напряжение, В.

После расчета токов короткого замыкания необходимо сделать проверку выбранных сечений шинопроводов по термической и электродинамической стойкости. Для этого ток трехфазного КЗ ($I_k^{(3)}$), рассчитанный в начале шинопровода следует сравнить с термической стойкостью шинопровода, а ударный ток – с электродинамической стойкостью по условиям:

$$\begin{aligned} I_k^{(3)} &\leq i_{тс}, \text{ кА}, \\ i_{уд} &\leq i_{уд \text{ доп.}}, \text{ кА}, \end{aligned} \quad (39)$$

где $i_{тс}$ – термическая стойкость шинопровода, кА; $i_{уд \text{ доп.}}$ – электродинамическая стойкость шинопровода, кА, взятые из технических характеристик.

7.3. Выбор силовых распределительных пунктов

В качестве силовых распределительных пунктов (РП) можно выбирать щиты распределительные (корпуса для электрощитового ЭО), либо типовые РП. Типовые РП комплектуются либо предохранителями (серии ШР11 и ШРС1), либо автоматическими выключателями (серии ПР8501, ПР8503, ПР11 и др.)

Распределительные пункты выбирают по степени защиты, по номинальному току ввода, по количеству отходящих линий, типу защитного аппарата (с предохранителями или с автоматическими выключателями) и номинальному току аппаратов для присоединений [1].

Подробно методика выбора цехового распределительного оборудования, сечений питающих линий и защитной аппаратуры рассмотрена в [1].

Расчёт показан на примере схемы цеха рис.6 с электрическими нагрузками табл. 4.

В качестве силовых распределительных пунктов в цехе выбираем типовые РП серии ПР8503 с автоматическими выключателями [1. Стр.248], данные которых сведены примем тип распределительных пунктов и сведем данные в таблицу 14.

Таблица 14 - Распределительные пункты цеха

№ Шкафа	I_p , А	Отх. лин, шт	Тип	АВ Ввод	АВ Вывод	I_n , А	Отх. лин тах, шт
ПР1	214,77	10	ПР8503-1203-2	ВА57-35	ВА57-35	500	12
ПР2	223,42	10	ПР8503-1203-2	ВА57-35	ВА57-35	500	12
ПР3	487,91	9	ПР8503-2203-2	ВА57-39	ВА57-35	500	12
ПР4	155,83	9	ПР8503-1203-2	ВА57-35	ВА57-35	500	12

7.4. Выбор аппаратов защиты цеховой сети

Все электрические сети должны иметь защиту от токов КЗ по возможности с наименьшим временем отключения и обеспечением селективности последовательно включенных аппаратов защиты. Защита при этом должна обеспечивать отключение аварийной линии при КЗ на любом её участке, включая КЗ в конце линии.

Защита производится автоматическими выключателями.

Условия выбора автоматических выключателей:

Выбор номинального тока автомата:

$$I_{ном. АВ} \geq K_{зап} \cdot I_{длит}; \quad (40)$$

Выбор номинального тока теплового расцепителя автомата:

$$I_{ном. тепл} \geq K_{зап} \cdot I_{длит}; \quad (41)$$

Проверка по току срабатывания (уставки) электромагнитного расцепителя:

- Для группы ЭП:

$$I_{ном. Э.О} \geq 1,25 \cdot I_{пик}; \quad (42)$$

- Для отдельного ЭП:

$$I_{ном. Э.О} \geq 1,5 \cdot I_{пуск}; \quad (43)$$

где $I_{ном. АВ}$ – номинальный ток АВ;

$I_{ном. тепл.}$ – номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{ном. Э.О.}$ – ток срабатывания (ток уставки) электромагнитного расцепителя;

$I_{длит.}$ – длительный максимальный рабочий ток линии;

$I_{пик.}$ – пиковый ток группы ЭП;

$I_{пуск.}$ – пусковой ток ЭП;

$K_{зап}$ – коэффициент запаса, принимаемый по [3].

Для комбинированных расцепителей:
 одиночные ЭП: $K_{зан} = 1,15$; группа ЭП: $K_{зан} = 1,1$.

Ток уставки электромагнитного расцепителя определяется по выражению: (44)

$$I_{ном.Э.О} = I_{ном.мотор} \cdot K_{КЗ};$$

где $K_{КЗ}$ - уставка срабатывания в зоне КЗ (выбирается по справочным данным выключателя).

Пиковый ток группы электроприемников:

$$I_{пик} = I_{пуск. max} + (I_{расч} - K_{и} \cdot I_{ном. max}); \quad (45)$$

где $I_{пуск. max}$ - наибольший из пусковых токов двигателей в группе по паспортным данным;

$I_{ном. max}$ - номинальный (приведенный к ПВ = 100%) ток двигателя с наибольшим пусковым током;

$K_{и}$ - коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;

$I_{расч.}$ - расчетный ток нагрузки всей группы электроприемников.

При числе двигателей в группе меньше 6 вместо расчетного тока группы используют сумму номинальных токов всех двигателей, и не учитывают коэффициент использования:

$$I_{пик} = I_{пуск. max} + (\sum I_{ном} - I_{ном. max}); \quad (46)$$

Номинальный ток отдельного электроприемников:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \phi \cdot \eta},$$

Где $\eta = 0,8$ - для электроприемников с $P_{ном} \leq 10$ кВт;

$\eta = 0,9$ - для электроприемников с $P_{ном} > 10$ кВт.

Пусковые токи электроприемников:

$$I_{пуск} = k \cdot I_{ном}, \quad (47)$$

где $k = 5 \div 7$ - кратность пускового тока, принимается для всех электроприемников с асинхронным приводом.

Пример выбора выключателя для защиты тянущего устройства:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{9}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7 \cdot 0,8} = 24,42 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq K_{\text{зат}} \cdot I_{\text{длит}} = 1,15 \cdot 24,42 = 28,08 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq K_{\text{зат}} \cdot I_{\text{длит}} = 1,15 \cdot 24,42 = 28,08 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ЭО}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 5 \cdot 24,42 = 183,15 \text{ А};$$

Используя справочную литературу [1], выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35, у которого

$$I_{\text{ном..тепл.}} = 31,5 \text{ А}, I_{\text{ном.АВ}} = 250 \text{ А}.$$

$$I_{\text{КЗ..}} = 6 I_{\text{ном..тепл.}} = 189 \text{ А}.$$

Для остальных ЭП расчеты представлены в таблице 16.

Пример выбора выключателя для защиты ПР1:

$$I_{\text{длит.}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{141,36}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 214,77 \text{ А};$$

$$I_{\text{тик}} = I_{\text{пуск.мах}} + (I_{\text{расч}} - K_u \cdot I_{\text{ном.мах}}) = 237,4 + (214,77 - 0,33 \cdot 47,48) = 436,61 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq K_{\text{зат}} \cdot I_{\text{длит}} = 1,1 \cdot 214,77 = 236,25 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq K_{\text{зат}} \cdot I_{\text{длит}} = 1,1 \cdot 214,77 = 236,25 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.ЭО}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{тик}} = 1,25 \cdot 436,61 = 545,77 \text{ А};$$

Используя справочную литературу [1], выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35, у которого

$$I_{\text{ном..тепл.}} = 250, I_{\text{ном.АВ}} = 250 \text{ А}.$$

$$I_{\text{КЗ..}} = 3 I_{\text{ном..тепл.}} = 750 \text{ А}.$$

Для остальных ПР расчеты представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Защитные аппараты для ПР цеха

№ пункта	$I_{\text{длит.}}$ А	$1,1 \cdot I_{\text{длит.}}$ А	$I_{\text{тик.}}$ А	$1,25 \cdot I_{\text{тик.}}$ А	Тип АВ	$I_{\text{ном.}}$ А	$I_{\text{ном.тепл.}}$ А	$I_{\text{ЭМР.}}$ А
ПР1	214,77	236,25	436,61	545,77	ВА57-35	250	250	3,00
ПР2	223,42	245,76	419,45	524,31	ВА57-35	250	250	3,00
ПР3	487,91	536,70	810,88	1013,61	ВА57-39	630	630	3,00
ПР4	155,83	171,41	269,78	337,22	ВА57-35	250	200	3,00

Таблица 16 - Расчётные данные выбранных выключателей для ЭП цеха

№ п/п	Параметры ЭП												
	Наименование ЭП	$P_{\text{ном}}$, кВт	$P_{\text{уст}}$, кВт	$\cos \varphi$	η	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{1,15} I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	$I_{1,15} I_{\text{пуск}}$, А	Тип	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{ном.теп}}$, А	$I_{\text{зур}}$, А
1-4	Вымотка приемная	17,5	17,5	0,7	0,8	47,48	54,60	237,40	356,10	BA57-35		63	378
5, 6	Тянущие устройство	9	9	0,7	0,8	24,42	28,08	122,09	183,14	BA57-35		31,5	189
7, 8	Установка сушки полителена	68,5	68,5	0,95	0,8	185,85	213,73	185,85	278,77	BA57-35		250	500
9-12	Вымотка отдающая	17	17	0,7	0,8	46,12	53,04	230,61	345,92	BA57-35		63	378
13-15	Экструдер	19	19	0,75	0,9	42,77	49,18	213,83	320,75	BA57-35		50	350
16-18	Бронировочная машина	14	14	0,6	0,9	39,39	45,30	196,95	295,43	BA57-35		50	300
19-23	Установка мойки полителена	12	12	0,8	0,9	25,32	29,12	126,61	188,92	BA57-35	250	31,5	189
24, 25	Острильно-затяжной станок	19,25	19,25	0,65	0,8	56,24	64,68	281,22	421,84	BA57-35		80	480
26,27	Сварочная машина для проводов	8	8	0,3	0,8	50,64	58,24	151,93	227,90	BA57-35		63	252
28,29	Нагреватель воды	7	7	0,95	0,8	13,99	16,09	41,98	62,97	BA57-35		20	80
30,31	Машина контактной сварки ПВ=40%	60	18,97	0,5	0,8	72,05	82,86	216,16	324,25	BA57-35		100	400
32-34	Кран-балка ПВ=25%	10	5	0,5	0,8	18,99	19,84	94,96	142,44	BA57-35		20	160
35-38	Вентилятор	7	7	0,8	0,8	16,62	19,11	83,09	124,63	BA57-35		20	140
39	Кран-балка ПВ 40%	21	13,28	0,5	0,9	70,90	81,54	354,51	531,77	BA57-35	250	100	600

7.5. Выбор сечений питающей сети цеха

Выбор сечений проводников питающей сети цеха производится из условий допустимого нагрева длительно протекающим максимальным током нагрузки, допустимой потери напряжения, по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

По условию нагрева длительным расчетным током:

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{I_{\text{расч}}}{K_{\text{прокл.}}}; \quad (48)$$

$I_{\text{доп.}}$ – допустимый ток кабеля или провода в нормальном режиме;

$I_{\text{расч}}$ – длительный расчетный ток линии, А.

По условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты:

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_{\text{прокл.}}}; \quad (49)$$

$I_{\text{защ.}}$ – ток уставки срабатывания защитного аппарата;

$K_{\text{защ.}}$ – кратность длительно допустимого тока для провода или кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата.

Значения $K_{\text{защ.}}$ и $I_{\text{защ.}}$ берем из [1. Таблица 9.4], в зависимости от характера сети, типа изоляции проводов и кабелей, условий окружающей среды.

При прокладке нескольких кабелей и более четырех проводов в одной трубе, траншее, лотках, а так же при значительном отличии температуры окружающей среды от стандартной, в расчетные формулы вводится поправочный коэффициент на условия прокладки $K_{\text{прокл.}}$:

$$K_{\text{прокл.}} = K_1 \cdot K_2, \quad (50)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие влияние температуры окружающей среды и влияние рядом проложенных кабельных линий, соответственно [2. ПУЭ].

Поправочный коэффициент необходимо учитывать при прокладке линий в жарких помещениях, а также при прокладке кабелей в коробах. Значения поправочных коэффициентов в зависимости от температуры окружающей среды для разных видов изоляции жил приведены в табл. 17; в зависимости от способа прокладки кабелей в коробах – в табл. 18.

Таблица 17 - Поправочные коэффициенты на токи для кабелей в зависимости от температуры воздуха

Материал изоляции жил кабеля	Значение $K_{\text{п}}$ при температуре воздуха, °С					
	+25	+30	+35	+40	+45	+50
резиновая изоляция	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
поливинилхлоридная (ПВХ) изоляция	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
изоляция из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74

Таблица 18 - Значения поправочных коэффициентов для кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводников, питающих	
	одно-жилых	много-жилых	отдельные ЭП с $K_{\text{и}}$ до 0,7	группы ЭП и отдельные ЭП с $K_{\text{и}}$ более 0,7
Много-слойно и пучками	–	До 4	1,00	–
	2	5 – 6	0,85	–
	3 – 9	7 – 9	0,75	–
	10 – 11	10 – 11	0,70	–
	12 – 14	12 – 14	0,65	–
	15 – 18	15 – 18	0,60	–
Одно-слойно	2 – 4	2 – 4	–	0,67
	5	5	–	0,60

В остальных случаях $K_{\text{прокл.}} = 1$.

Пример выбора сечения линии от РУ до ПРІ

Класс среды нормальный - Отсутствует технологическая пыль, газы или пары, способные нарушать нормальную работу оборудования. Относительная влажность не превышает 60 % при 20 °С.

Все линии в цехе проложены открыто в лотках.

В соответствии с данными условиями:

$$K_1 = 1,$$

$$K_2 = 1,$$

$$K_{\text{прокл.}} = K_1 \cdot K_2 = 1.$$

$I_{расч} = 214,77 \text{ А}$, по [2. Табл.1.3.7] выбираем токопроводящие жилы. $S = 2 \cdot 50 \text{ мм}^2$; $I_{доп.} = 240 \text{ А}$.

Проверка по условию нагрева длительным расчетным током:

$$I_{доп.} \geq \frac{I_{расч}}{K_{прокл.}};$$

$$240 \text{ А} \geq \frac{214,77}{1} \text{ А}$$

По условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты:

$$I_{доп.} \geq \frac{K_{защ.} \cdot I_{защ.}}{K_{прокл.}};$$

$$240 \text{ А} \leq \frac{1 \cdot 250}{1} \text{ А}$$

принимаем кабель марки АВВГ- 2(4х50): $I_{доп.} = 240 \text{ А}$.

Пример выбора сечения линии от ПР1 до ЭП1 (Вымотка приемная):

В соответствии с температурными условиями и условиями прокладки:

$$K_1 = 1,$$

$$K_2 = 1,$$

$$K_{прокл.} = K_1 \cdot K_2 = 1.$$

$I_{расч} = 47,48 \text{ А}$, по [2, Табл.1.3.4] выбираем токопроводящие жилы. $S = 25 \text{ мм}^2$; $I_{доп.} = 70 \text{ А}$.

Проверка по условию нагрева длительным расчетным током:

$$I_{доп.} \geq \frac{I_{расч}}{K_{прокл.}};$$

$$70 \text{ А} \geq \frac{47,48}{1} = 47,48 \text{ А}$$

По условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты:

$$I_{доп.} \geq \frac{K_{защ.} \cdot I_{защ.}}{K_{прокл.}};$$

$$70 \text{ А} \geq \frac{1 \cdot 63}{1} = 63 \text{ А}$$

Принимаем кабель марки АВВГ- (4х25): $I_{доп.} = 70 \text{ А}$. Результаты расчета сечений сети цеха приведены в табл. 19.

Таблица 19 - Расчет сечений кабелей цеха

№	Наименование ЭП	$I_{расч}, A$	Тип	$I_{расч}, A$	Марка кабеля, мм ²	$I_{доб}, A$	$K_{проект}$	$\frac{I_{расч}}{K_{проект}}$	$\frac{K_{пл} \cdot I_{пл}}{K_{проект}}$
1-4	Выводка приемная	47,48	BA57-35	63,00	ABBG(4x25)	70	1	47,48	63,00
5, 6	Тинующее устройство	24,42	BA57-35	31,50	ABBG(4x8)	37	1	24,42	31,50
7, 8	Установка сушки полиглена	185,85	BA57-35	250,00	ABBG 2(4x70)	280	1	185,85	250,00
9-12	Выводка отдающая	46,12	BA57-35	63,00	ABBG(4x25)	70	1	46,12	63,00
13-15	Экструдер	42,77	BA57-35	50,00	ABBG(4x16)	55	1	42,77	50,00
16-18	Бронировочная машина	39,39	BA57-35	50,00	ABBG(4x16)	55	1	39,39	50,00
19-23	Установка мойки полиглена	25,32	BA57-35	31,50	ABBG(4x8)	37	1	25,32	31,50
24, 25	Острильно- затяжной станок	56,24	BA57-35	80,00	ABBG(4x35)	85	1	56,24	80,00
26,27	Сварочная машина для проводов	50,64	BA57-35	63,00	ABBG(4x25)	70	1	50,64	63,00
28,29	Нагреватель воды	13,99	BA57-35	20,00	ABBG(4x4)	21	1	13,99	20,00
30,31	Машина контактной сварки ПВ=40%	72,05	BA57-35	100,00	ABBG(4x50)	120	1	72,05	100,00
32-34	Кран-балка ПВ=25%	18,99	BA57-35	20,00	ABBG(4x4)	21	1	18,99	20,00
35-38	Вентилятор	16,62	BA57-35	20,00	ABBG(4x4)	21	1	16,62	20,00
39	Кран-балка ПВ 40%	70,90	BA57-35	100,00	ABBG(4x50)	120	1	70,90	100,00
-	РУ-ГР1	214,77	BA57-35	250	ABBG 2(4x50)	240	1	214,77	250,00
-	РУ-ГР2	223,42	BA57-39	250	ABBG 2(4x50)	240	1	223,42	250,00
-	РУ-ГР3	487,91	BA57-39	630	ABBG 3(4x95)	525	1	487,91	630,00
-	РУ-ГР4	155,83	BA57-35	200	ABBG(4x95)	175	1	155,83	200,00

8. Расчёт токов короткого замыкания в цеховой сети НН

При расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи КЗ. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры некоторых многовитковых трансформаторов тока приведены в табл.20. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов (на токи более 500 А) при расчетах токов КЗ можно пренебречь.

Расчеты токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует вести с учетом индуктивных и активных сопротивлений катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в табл. 21.

Особенности расчета токов КЗ в сетях до 1000 В:

1.Мощность системы ($S_{\text{сист.}}$) принимается бесконечной, т.е. напряжение на шинах цеховых ТП считается неизменным при КЗ в сети до 1 кВ.

2.Учитываются активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети.

При расчетах токов КЗ необходимо учитывать следующие сопротивления:

- индуктивное сопротивление всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;

- активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

- активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

- значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей;

Расчет ведется в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети ($U=1,05 \cdot U_{\text{ном. сети}}=400\text{В}$ при $U_{\text{ном. сети}}=380\text{В}$).

Расчет трехфазных токов КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез}}}; \quad (51)$$

Где $Z_{\text{рез}}$ – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Ударный ток КЗ определяется по формуле:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot k_{y0} \cdot I_{K3}^{(3)}; \quad (52)$$

где K_{y0} – ударный коэффициент тока КЗ, определяется по рис. 16 [1].

Для расчета токов КЗ составим расчетную схему – упрощенную однолинейную схему электроустановки (рисунок 14), в которой учтём все источники питания, трансформаторы и линии.

Ток однофазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{TP}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}}; \quad (53)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение в точке КЗ, В;

$Z_{\phi-0}$ – полное сопротивление петли «фаза ноль» до точки КЗ, МОм;

$Z_{TP}^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, МОм.

К схеме замещения нужно добавить сопротивления нулевых проводников.

Таблица 20 - Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформаторов тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, МОм, класса точности			
	1		3	
	x_{TA}	r_{TA}	x_{TA}	r_{TA}
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,30	0,20	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 21 - Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	$r_{кв}$	$x_{кв}$
50	7	4,50
70	3,50	2
100	2,15	1,20
140	1,30	0,70
200	1,10	0,50
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,10
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,10	0,05

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ.

Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в табл. 22.

Таблица 22 - Значения активного сопротивления дуги

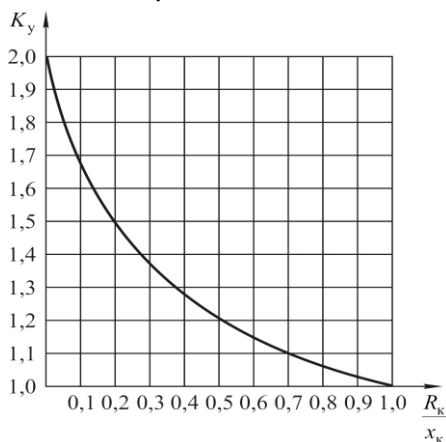
Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги (r_d), мОм, при КЗ за трансформаторами мощностью, кВА					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего на-пряжения трансформатора: - в разделке кабелей						
напряжением:	15	10	7	5	4	3
0,4 кВ	14	8	6	4,5	3,5	2,5
0,525 кВ	12	7	5	4	3	2
0,69 кВ						
- в шинопроводе типа ШМА						
напряжением:	—	—	—	6	4	3
0,4 кВ	—	—	—	5	3,5	2,5
0,525 кВ	—	—	—	4	3	2
0,69 кВ						
КЗ в конце шинопровода типа ШМА длиной 100–150 м						
напряжением:						
0,4 кВ	—	—	—	6 – 8	5 – 7	4 – 6
0,525 кВ	—	—	—	5 – 7	4 – 6	3 – 5
0,69 кВ	—	—	—	4 – 6	3 – 5	2 – 4

Значение ударного тока короткого замыкания определяется по формуле

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_k^{(3)}, \text{ кА}, \quad (54)$$

где K_y – ударный коэффициент, определяемый по графику на рис. 16 и зависящий от отношения активного и индуктивного сопротивлений в точке КЗ:

$$K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right).$$



$$K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right)$$

Рис. 12. Зависимость

Результаты расчета токов короткого замыкания привести для всех точек КЗ и свести в таблицу (форма табл. 23).

Таблица 23 - Результаты расчета токов КЗ

Обозначение точки КЗ	$R_{1\Sigma},$ МОм	$x_{1\Sigma},$ МОм	$z_{1\Sigma},$ МОм	$R_{0\Sigma},$ МОм	$x_{0\Sigma},$ МОм	$I_k^{(1)},$ кА	$I_k^{(3)},$ кА	$i_y,$ кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Пример расчёта токов КЗ

Составляем расчётную схему (рис.13).

Расчёт ведём в абсолютных единицах.

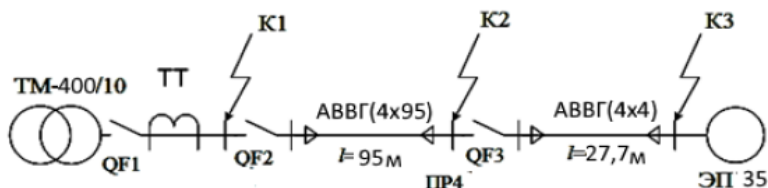


Рисунок 13 - Расчетная схема распределительной сети

Определяем сопротивления для расчета трехфазного КЗ, используя справочные данные [1].

1. Сопротивление трансформатора:

$$R_{mp} = 3,1 \text{ Мом}, \quad X_{mp} = 13,6 \text{ Мом}.$$

2. Сопротивления автоматического выключателя QF1:

$$R_{QF1} = 0,12 \text{ Мом}, \quad X_{QF1} = 0,13 \text{ Мом}, \quad R_{kQF1} = 0,25 \text{ Мом}.$$

3. Сопротивления автоматического выключателя QF2:

$$R_{QF2} = 0,4 \text{ мОм}, \quad X_{QF2} = 0,5 \text{ мОм}, \quad R_{kQF2} = 0,6 \text{ мОм}$$

4. Сопротивления автоматического выключателя QF3:

$$R_{QF3} = 0,4 \text{ мОм}, \quad X_{QF3} = 0,5 \text{ мОм}, \quad R_{kQF3} = 0,6 \text{ мОм}$$

5. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТТ:

$$R_{TT} = 0,07 \text{ мОм}, \quad X_{TT} = 0,05 \text{ мОм}.$$

6. Сопротивления кабельной линии КЛ1:

$$R_{KL1} = r_0 \cdot l = 0,625 \cdot \frac{95}{4} = 14,844 \text{ мОм},$$

$$X_{KL1} = x_0 \cdot l = 0,085 \cdot 95 = 8,075 \text{ мОм}.$$

7. Сопротивления кабельной линии КЛ2:

$$R_{KL2} = r_0 \cdot l = 7,81 \cdot 27,7/4 = 54,01 \text{ мОм},$$

$$X_{KL2} = x_0 \cdot l = 0,107 \cdot 27,7 = 2,964 \text{ мОм}.$$

8. Переходные сопротивления ступеней распределения:

$$R_{рунн} = 15 \text{ мОм}, \quad R_{ПР4} = 20 \text{ мОм}.$$

9. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{кКЛ1} = 0,056 \text{ мОм}, \quad R_{кКЛ2} = 0,085 \text{ мОм}.$$

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ (рис.14):

$$R_1 = R_{\text{тр}} + R_{QF1} + R_{\text{рунн}} + R_{\text{тт}} + R_{kQF1} =$$

$$= 3,1 + 0,12 + 15 + 0,07 + 0,25 = 18,54 \text{ мОм}$$

$$X_1 = X_{\text{тр}} + X_{QF1} + X_{\text{тт}} = 13,6 + 0,13 + 0,05 =$$

$$13,78 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{k\text{КЛ}1} + R_{\text{КЛ}1} + R_{\text{ПР}4} =$$

$$= 0,4 + 0,6 + 0,056 + 14,844 + 20 = 35,9 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{\text{КЛ}1} = 0,5 + 8,075 = 8,575 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{k\text{КЛ}2} + R_{\text{КЛ}2} =$$

$$= 0,4 + 0,6 + 0,085 + 54,01 = 55,095 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{\text{КЛ}2} = 0,5 + 2,964 = 3,464 \text{ мОм}$$

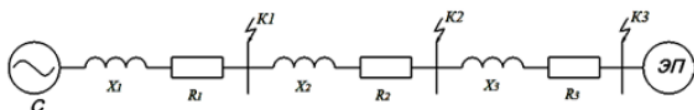


Рисунок 14 - Упрощенная схема замещения цеховой сети

Расчет трёхфазного тока КЗ для точки К1:

$$Z_{K1} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,54^2 + 13,78^2} = 23,1 \text{ мОм};$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,1} = 9,997 \text{ кА};$$

$$i_{\text{зб}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{зб}} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 9,997 = 18,38 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,997 = 8,658 \text{ кА};$$

Результаты расчетов токов КЗ для остальных точек приведены в таблице 23.

Расчет однофазных токов КЗ:

К схеме замещения добавляются сопротивления нулевых проводников.

Сопротивления нулевой жилы кабельных линий :

$$R_{0-\text{КЛ}1} = r_0 \cdot l = 0,625 \cdot 95/4 = 14,844 \text{ мОм}$$

$$R_{0-\text{КЛ}2} = r_0 \cdot l = 7,81 \cdot 27,7/4 = 54,01 \text{ мОм}$$

Кроме этого изменятся индуктивные сопротивления кабельных линий и шинпровода:

$$X_{KL1} = x_0 \cdot l = 0,085 \cdot 95 = 8,075 \text{ мОм}$$

$$X_{KL2} = x_0 \cdot l = 0,107 \cdot 27,7 = 2,964 \text{ мОм}$$

Сопротивления трансформатора:

$$Z_{тр}^{(1)} = 129 \text{ Мом.}$$

Упрощенная схема замещения цеховой сети (рис.14) для расчета токов однофазных КЗ не изменится, однако значения сопротивлений будут другими.

$$R_1 = R_{QF1} + R_{рунн} + R_{ТТ} + R_{kQF1} =$$

$$= 0,12 + 15 + 0,07 + 0,25 = 15,44 \text{ мОм}$$

$$X_1 = X_{QF1} + X_{ТТ} = 0,13 + 0,05 = 0,18 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{kKL1} + R_{KL1} + R_{0-KL1}$$

$$+ R_{ПР3} =$$

$$= 0,4 + 0,6 + 0,056 + 14,844$$

$$+ 14,844 + 20 = 50,74 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{KL1} = 0,5 + 8,075 = 8,575 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{kKL2} + R_{0-KL2} + R_{KL2} =$$

$$= 0,4 + 0,6 + 0,085 + 54,01 + 54,01$$

$$= 109,105 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{KL2} = 0,5 + 2,964 = 3,46 \text{ мОм}$$

Расчет однофазного тока КЗ для точки К1:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{15,44^2 + 0,18^2} = 15,44 \text{ мОм;}$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{TP}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}} = \frac{230}{\frac{129}{3} + 15,44} = 3,935 \text{ кА;}$$

Результаты расчетов токов КЗ для остальных точек приведены в таблице 24.

Таблица 24 - Расчетные данные токов КЗ на НН

Расчетные точки		К1	К2	К3
Токи КЗ, кА	$I_{K3}^{(1)}$	3,935	2,434	1,511
	$I_{K3}^{(2)}$	8,428	3,016	1,072
	$I_{K3}^{(3)}$	9,997	5,418	3,623
	$i_{y\phi}$	18,380	11,503	7,691

Проверка правильности выбора защитной аппаратуры

Предохранители и автоматические выключатели проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_0 \geq I_K^{(3)}, \quad (55)$$

где I_0 – отключающая способность аппарата защиты, кА;
 $I_K^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА.

Проверка правильности выбора предохранителя по чувствительности:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{н.вст.}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{н.вст.}} &\geq 4 \text{ – для помещений со взрывоопасной средой;} \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты предохранителя, А; $I_{н.вст.}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А.

Проверка правильности выбора автоматических выключателей по чувствительности действия защит:

- для тепловых расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}} &\geq 6 \text{ – для взрывоопасных помещений;} \end{aligned} \right\} \quad ; \quad (57)$$

- для электромагнитных расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}} &\geq 1,4 \text{ – для АВ с } I_{на} \leq 100 \text{ А;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}} &\geq 1,25 \text{ – для остальных АВ;} \end{aligned} \right\} \quad , \quad (58)$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты автоматического выключателя, А; $I_{нтр}$ – номинальный ток

теплового расцепителя АВ, А; $I_{нэР}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя АВ, А.

Данные по проверке предохранителей света в табл.25, автоматических выключателей – в табл. 26.

Таблица 25 - Проверка правильности выбора предохранителей

№ ли- нии	Обозна- чение ЭП	Тип ПР	$I_{н пр.},$ А	$I_{н. вст.},$ А	$I_0,$ кА	$I_k^{(3)},$ кА	$I_k^{(1)},$ кА	$\frac{I_k^{(1)}}{I_{н. вст.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 26 - Проверка правильности выбора автоматических выключателей

№ ли- нии	Обозна- чение ЭП	Тип АВ	$I_{на},$ А	$I_{нтр},$ А	$I_{нэР},$ А	$I_0,$ кА	$I_k^{(3)},$ кА	$I_k^{(1)},$ кА	$\frac{I_k^{(1)}}{I_{нтр}}$	$\frac{I_k^{(1)}}{I_{нэР}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Если выбранные аппараты не проходят проверку по отключающей способности, то их необходимо заменить на другие типы аппаратов с большей отключающей способностью. Если защитные аппараты не проходят проверку по чувствительности, необходимо увеличить сечения линий, чтобы увеличить ток однофазного КЗ.

По результатам расчёта токов к.з. выбирают также аппараты управления и релейной защиты.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А1

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p
для питающих сетей напряжением до 1000 В

n_s	Коэффициент использования $K_{н.гр.}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица А2

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

n_p	Коэффициент использования $K_{и.гр.}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6–8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9–10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10–25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 – 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Таблица А 3

Средние значения коэффициентов использования ($K_{и.}$) и мощности ($\cos\phi$) для характерных групп электроприемников

Наименование электроприемников	$K_{и.}$	$\cos\phi$
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, расточные)	0,12 – 0,14	0,5
То же при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки)	0,17 – 0,20	0,65
То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,24	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносный электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-техническая вентиляция	0,6 – 0,8	0,8 – 0,85
Насосы, компрессоры, дизель-генераторы и двигатель-генераторы	0,7 – 0,8	0,8 – 0,85
Краны, тельферы, кран балки при ПВ=25%	0,06	0,5
То же при ПВ=40%	0,1	0,5
Транспортеры	0,5 – 0,6	0,7 – 0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25 – 0,3	0,35 – 0,4
Конвейеры, элеваторы	0,4 – 0,5	0,75
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
То же многопостовые	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,2 – 0,5	0,7

То же стыковые и точечные	0,2 – 0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75 – 0,8	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35
Индукционные печи высокой частоты	0,6	0,7
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий	0,5	0,95
Вакуум-насосы	0,95	0,85
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85
Вентиляторы к дробилкам	0,4 – 0,5	0,7 – 0,75
Газодувки при синхронных двигателях	0,6	0,8 – 0,9
То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7
Смесительные барабаны	0,6 – 0,7	0,8
Сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,87
Вакуум-фильтры	0,3	0,4
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Механизмы литейных цехов (очистные и галтовочные барабаны, бегуны, шаровые мельницы и т.п.)	0,25 – 0,35	0,65
Автоматические поточные линии	0,6	0,7
Формовочные машины	0,15 – 0,20	0,6
Деревообрабатывающие станки, токарные, сверлильные, фуговочные, рейсмусовые, долбежные, строгальные и т.д.	0,17	0,6
Пилорамы, дисковые пилы	0,25 – 0,3	0,65
Дуговые сталеплавильные печи	0,6 – 0,75	0,9
Дуговые печи цветного металла	0,7 – 0,75	0,8
Центрифуги	0,9	1,0
Электролиз	0,6 – 0,8	0,95 – 1,0
Прядильные машины:		
капрона	0,65	0,7
вискозного корда	0,5	0,7
ацетатного шёлка	0,7	0,7
Перемоточные машины	0,78	0,8
Крутильные машины	0,64	0,8
Вытяжные машины	0,7	0,85
Ткацкие станки	0,74	0,7
Фильтр-прессы	0,33	0,55

Приложение В

Таблица В.1 – Технические данные ламп накаливания (220 В)

Мощность	Тип лампы	Световой поток, лм, лампы при напряжении, В, равном				Тип цоколя лампы
		127	127-135	220	220-235	
15	В	135	110	105	85	Е-27
25	В	260	195	220	190	«-»
40	Б	490	370	400	300	«-»
40	БК	520	—	460	—	«-»
60	Б	820	650	715	550	«-»
80	БК	875	—	790	—	«-»
100	Б	1560	1250	1350	1090	«-»
100	БК	1630	—	1450	—	«-»
150	Г	230	—	2000	—	«-»
150	Б	—	2000	2100	1840	«-»
200	Г	3200	2780	2800	—	«-»
200	Б	—	—	2920	2540	«-»
300	Г	4950	—	4600	4000	Е27, Е40
500	Г	9100	—	8300	7200	Е40
750	Г	—	—	13100	—	«-»
1000	Г	195500	—	18600	—	«-»
1500	Г	29600	—	29000	—	«-»

Буквы обозначают: В – вакуумные лампы; Г – газонаполненные; Б – биспи-
ральные газонаполненные; БК – биспиральные криптоновые.

Таблица В.2 – Технические данные металлогалогенных ламп

Тип лампы	Номинальное Напряжение сети, А	Ток лампы, А	Мощность, Вт	Световой поток, лм
Лампы с добавками иодиодов натрия, индия и таллия				
ДРИ-250	220	2,15	250	18700
ДРИ-400	220	3,4	400	34000
ДРИ-700	220	6,5	700	59500
ДРИ-1000	220	8,55	1000	90000
ДРИ-2000	380	9,0	2000	190000
Лампы с добавками иодиодов натрия и скандия				
ДРИ-250-5	220	2,15	250	19000
ДРИ-250-6	220	2,15	250	19000
ДРИ-400-5	220	3,3	400	36000
ДРИ-400-6	220	3,3	400	33000
ДРИ-700-5	220	6,0	700	60000
ДРИ-700-6	220	6,0	700	56000
ДРИ-1000-5	380	4,7	1000	103000
ДРИ-2000-6	380	9,2	2000	200000
ДРИ-35000-6	380	16,0	3500	350000

Таблица В.3 – Технические данные люминесцентных ламп

Тип лампы	Номинальное напряжение сети, В	Мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, лм, номинальный
ЛДЦ-15-4	127	15	0,33	500
ЛД-15-4				590
ЛХБ-15-4				675
ЛТБ-15-4				700
ЛБ-15-4				760
ЛДЦ-20-4	220	20	0,37	820
ЛД-20-4				920
ЛХБ-20-4				935
ЛТБ-20-4				975
ЛБ-20-4				1180
ЛДЦ-30-4	220	30	0,36	1450
ЛД-30-4				1640
ЛХБ-30-4				1720
ЛТБ-30-4				1729
ЛБ-30-4				2100
ЛДЦ-40-4	220	40	0,43	2100
ЛД-40-4				2340
ЛХБ-40-4				2600
ЛТБ-40-4				2580
ЛБ-40-4				3000
ЛХБЦ-40-4				2000
ЛДЦ-65-4	220	65	0,67	3050
ЛД-65-4				3570
ЛХБ-65-4				3820
ЛТБ-65-4				3980
ЛБ-65-4				4550
ЛДЦ-80-4	220	80	0,865	3560
ЛД-80-4				4070
ЛХБ-80-4				4440
ЛТБ-80-4				4440
ЛБ-80-4				5220

Обозначения: Д – дневного света; ХБ – холодно-белая; Ц – правильной светопередачи; Б – белая; ТБ – тепло-белая.

Обозначение ламп расшифровываются следующим образом:

ЛДЦ – люминесцентная, дневного света, улучшенной светопередачи,

ЛД – люминесцентная, дневного света,

ЛХБ – люминесцентная, холодно-белого света,

ЛТБ – люминесцентная, тепло-белого света,

ЛБ – люминесцентная, белого света,

ДРЛ – дуговая ртутная лампа высокого давления,

ДРИ – дуговая ртутная лампа высокого давления с иодинами,

ДНАТ – дуговая натриевая лампа высокого давления.

Таблица В.4 – Технические данные газоразрядных ламп высокого давления

Тип	Номинальная мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. час
ДРЛ 80	80	–	2,3	6
ДРЛ 125	125	–	3,7	6
ДРЛ 250	250	–	8,2	8
ДРЛ 400	400	–	14,4	10
ДРЛ 700	700	–	25,9	10
ДРЛ 1000	1000	–	37,4	10
ДРИ 250	250	2,5	18,7	4,5
ДРИ 400	400	3,5	32	4,5
ДРИ 700	700	5,6	59,5	3
ДРИ 1000	1000	9,5	90	1
ДРИ 1000	1000	9,5	80	1
ДРИ 2000*	2000	10,8	190	1
ДРИ 3500*	3500	18,8	300	1
ДНаТ 250	250	2,5	25	10
ДНаТ 400	400	3,5	40	10

Примечание. Лампы ДРИ 2000 ДРИ 3500 включаются на напряжение 380 В, остальные – на 220 В.

Таблица В.4.1 Пускорегулирующие аппараты для газоразрядных ламп

Тип пуско-регулирующего аппарата	Мощность лампы, Вт	Пусковой ток, А	Рабочий ток, А	Минимальная температура окружающего воздуха, °С
Стартерные пускорегулирующие аппараты				
1УБИ- 20К/220-ВП-09	20	0,6	0,35	–
1УБИ- 20К/220-ВП-20	20	0,6	0,35	–
1УБИ- 40К/220-ВП-05	40	0,75	0,43	–
1УБЕ- 20К/220-ВП-20	40	0,75	0,43	–
1УБИ- 80К/220-ВП-06	80	1,7	0,86	–
Пускорегулирующие аппараты для ДРЛ				
ДБИ- 125 ДРЛ / 220-В	125	2,4	1,15	-25
ДБИ- 250 ДРЛ / 220-В	250	2,5	2,15	-25
ДБИ- 400 ДРЛ / 220-В	400	7,15	3,25	-25
ДБИ- 125 ДРЛ / 220-Н	125	2,4	1,15	-5
ДБИ- 400 ДРЛ / 220-Н	400	7,25	3,25	0
ДБИ- 700 ДРЛ / 220-Н	700	12	5,45	0

Таблица В.5– Значения тригонометрических функций

α	Sin α	Cos α	tga	Cos3 α	α	Sin α	Cos α	tga	Cos3 α
0	0	1	0	1	46	0,719	0,695	1,035	0,336
1	0,017	1	0,017	1	47	0,731	0,682	1,072	0,317
2	0,035	0,999	0,035	0,997	48	0,743	0,669	1,111	0,299
3	0,052	0,999	0,052	0,997	49	0,755	0,656	1,151	0,282
4	0,07	0,998	0,07	0,994	50	0,766	0,643	1,191	0,266
5	0,087	0,996	0,087	0,988	51	0,777	0,629	1,235	0,249
6	0,105	0,995	0,106	0,985	52	0,788	0,616	1,279	0,234
7	0,122	0,993	0,123	0,979	53	0,799	0,602	1,327	0,218
8	0,139	0,99	0,14	0,97	54	0,809	0,588	1,376	0,203
9	0,156	0,988	0,158	0,964	55	0,819	0,574	1,427	0,189
10	0,174	0,985	0,177	0,956	56	0,829	0,559	1,483	0,175
11	0,191	0,982	0,195	0,947	57	0,839	0,545	1,539	0,162
12	0,208	0,978	0,213	0,935	58	0,848	0,53	1,6	0,149
13	0,225	0,974	0,231	0,924	59	0,857	0,515	1,664	0,137
14	0,242	0,97	0,249	0,913	60	0,866	0,5	1,732	0,125
15	0,259	0,966	0,268	0,901	61	0,875	0,485	1,804	0,114
16	0,276	0,961	0,287	0,888	62	0,883	0,469	1,883	0,103
17	0,292	0,956	0,305	0,874	63	0,891	0,454	1,963	0,094
18	0,309	0,951	0,325	0,86	64	0,899	0,438	2,053	0,084
19	0,326	0,946	0,345	0,847	65	0,906	0,423	2,142	0,076
20	0,342	0,94	0,364	0,831	66	0,914	0,407	2,246	0,067
21	0,358	0,934	0,383	0,815	67	0,921	0,391	2,355	0,06
22	0,375	0,927	0,405	0,797	68	0,927	0,375	2,472	0,053
23	0,391	0,921	0,425	0,781	69	0,934	0,358	2,609	0,046
24	0,407	0,914	0,445	0,764	70	0,94	0,342	2,749	0,04
25	0,423	0,906	0,467	0,744	71	0,946	0,326	2,902	0,035
26	0,438	0,899	0,487	0,727	72	0,951	0,309	3,078	0,03
27	0,454	0,891	0,51	0,707	73	0,956	0,292	3,274	0,025
28	0,469	0,883	0,531	0,688	74	0,961	0,276	3,482	0,021
29	0,485	0,875	0,554	0,67	75	0,966	0,259	3,73	0,017
30	0,5	0,866	0,577	0,649	76	0,97	0,242	4,008	0,014
31	0,515	0,857	0,601	0,629	77	0,974	0,225	4,329	0,011
32	0,53	0,848	0,625	0,61	78	0,978	0,208	4,702	0,009
33	0,545	0,839	0,65	0,591	79	0,982	0,191	5,141	0,007
34	0,559	0,829	0,674	0,57	80	0,985	0,174	5,661	0,005
35	0,574	0,819	0,701	0,549	81	0,988	0,156	6,333	0,004
36	0,588	0,809	0,727	0,529	82	0,99	0,139	7,122	0,003
37	0,602	0,799	0,753	0,51	83	0,993	0,122	8,139	0,002
38	0,616	0,788	0,782	0,489	84	0,995	0,105	9,476	0,001
39	0,629	0,777	0,81	0,469	85	0,996	0,087	11,448	0,001
40	0,643	0,766	0,839	0,449	86	0,998	0,07	14,257	0
41	0,656	0,755	0,869	0,43	87	0,999	0,052	19,212	0
42	0,669	0,743	0,9	0,41	88	0,999	0,035	28,543	0
43	0,682	0,731	0,933	0,391	89	1	0,017	58,824	0
44	0,695	0,719	0,967	0,372	90	1	0	-	0
45	0,707	0,707	1	0,353					

Таблица В.6 – Светотехнические характеристики светильников для производственных помещений с лампами накаливания

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа									
	ИСП-01	ППД100 ППД200	ИНД500	УПД	НСП09, НСР01	СПО-300	СПО-1000	СПО2 300	НСП02 НСП03	НСП22
0	238	177	163	288	75	140	132	117	62	232
5	229	178	161	185	74	136	131	114	58	230
15	213	190	157	275	77	134	126	111	58	225
25	204	190	134	256	83	132	124	111	72	207
35	195	172	149	247	85	131	120	110	69	184
45	164	160	129	208	81	132	118	108	72	160
55	145	137	111	151	77	131	112	106	73	135
65	122	114	92	77	71	110	98	143	74	74
75	76	44	64	30	69	77	70	98	70	30
85	7	7	19	18	68	30	40	45	66	16
90	3	1,3	10	—	66	20	26	20	64	—
95	—	0,6	7	—	63	—	—	—	63	—
105	—	—	5	—	66	—	—	—	59	—
115	—	—	5	—	71	—	—	—	52	—
125	—	—	23	—	64	—	—	—	54	—
135	—	—	26	—	34	—	—	—	46	—
145	—	—	2	—	8	—	—	—	46	—
155	—	—	1	—	3	—	—	—	22	—
165	—	—	—	—	2,4	—	—	—	14	—
175	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—
180	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—

Таблица В.6 – Светотехнические характеристики светильников для производственных помещений с лампами накаливания

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа									
	ИСП-01	ППД100 ППД200	ИНД500	УПД	НСП09, НСР01	СПО-300	СПО-1000	СПО2 300	НСП02 НСП03	НСП22
0	238	177	163	288	75	140	132	117	62	232
5	229	178	161	185	74	136	131	114	58	230
15	213	190	157	275	77	134	126	111	58	225
25	204	190	134	256	83	132	124	111	72	207
35	195	172	149	247	85	131	120	110	69	184
45	164	160	129	208	81	132	118	108	72	160
55	145	137	111	151	77	131	112	106	73	135
65	122	114	92	77	71	110	98	143	74	74
75	76	44	64	30	69	77	70	98	70	30
85	7	7	19	18	68	30	40	45	66	16
90	3	1,3	10	—	66	20	26	20	64	—
95	—	0,6	7	—	63	—	—	—	63	—
105	—	—	5	—	66	—	—	—	59	—
115	—	—	5	—	71	—	—	—	52	—
125	—	—	23	—	64	—	—	—	54	—
135	—	—	26	—	34	—	—	—	46	—
145	—	—	2	—	8	—	—	—	46	—
155	—	—	1	—	3	—	—	—	22	—
165	—	—	—	—	2,4	—	—	—	14	—
175	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—
180	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—

Таблица В.7 – Светотехнические характеристики светильников с лампами ДРЛ

Угол, радиус	Сила света, кд, светильников типа							
	УПДДРЛ	РСР05 С35ДРЛ	РСР08	РСР07	СКЗР-500	СКЗР-250	С34ДРЛ	СД2ДРЛ
0	284	1050	470	147	80	80	630	290
5	280	980	465	147	80	65	625	290
15	275	830	465	140	100	70	570	285
25	258	530	430	152	140	80	475	265
35	228	215	330	188	160	90	320	235
45	181	80	195	201	200	110	150	185
55	106	38	80	162	225	120	45	118
65	56	8	15	85	290	165	8	60
75	26	—	5	5	200	130	—	28
85	6	—	5	5	40	90	—	5
90	2	—	—	5	15	15	—	—
95	4	—	—	5	—	—	—	—
105	4	—	—	20	—	—	—	—
115	4	—	—	30	—	—	—	—
125	5	—	—	38	—	—	—	—
135	5	—	—	42	—	—	—	—
145	5	—	—	34	—	—	—	—
155	4	—	—	18	—	—	—	—
165	4	—	—	7	—	—	—	—
175	3	—	—	2	—	—	—	—
180	3	—	—	—	—	—	—	—
КПД, %	72	80	80	80	—	—	80	72

Таблица В.8 – Светотехнические характеристики светильников с люминесцентными лампами

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа											
	ЛСПО4.Л Д		ЛСП02		ЛОУ1П		ЛСП06		ЛСО02 ЛСО02 2x40		ПВЛМ (2 лампы)	
	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная
0	256	256	207	207	208	208	260	260	130	130	175	175
5	256	257	205	207	206	206	259	260	127	134	175	175
15	246	256	199	207	202	193	245	256	111	140	185	170
25	229	241	186	202	199	170	219	240	91	134	148	170
35	206	221	164	193	177	140	187	217	72	108	130	168
45	174	188	138	164	140	107	150	180	54	77	110	160
55	135	139	108	124	104	80	112	132	39	52	70	145
65	92	92	74	89	60	45	72	84	24	35	60	135
75	50	43	41	34	20	18	40	34	14	20	30	120
85	12	11	10	14	6	6	16	11	8	13	20	80
90	–	–	0	7	0	0	1	–	1	10	0	70
95	–	–	6	14	2	0	–	–	8	18	5	70
105	–	–	6	41	10	0	–	–	13	30	10	85
115	–	–	10	44	25	0	–	–	31	65	15	100
125	–	–	15	39	40	5	–	–	50	84	17	78
135	–	–	20	42	33	8	–	–	64	93	20	65
145	–	–	25	42	34	13	–	–	80	98	30	52
155	–	–	28	39	35	15	–	–	91	101	35	52
165	–	–	29	87	36	26	–	–	98	103	40	55
175	–	–	30	30	32	30	–	–	101	104	42	58
180	–	–	30	30	28	28	–	–	103	103	42	42
КПД, %	74		82		76		66		65		65	

Окончание таблицы В.8

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа													
	ПВЛМ (1 лампа)		ПВЛП		ЛП001		Л201Б		ЛПР		ЛП003		ЛП013	
	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная
0	174	174			160	160	178	178	202	202	106	106	218	218
5	174	174	138		158	160	177	178	179	201	104	106	205	212
15	167	172	137		152	164	172	175	182	210	97	107	187	198
25	155	169	130		141	144	160	162	155	206	89	109	154	181
35	134	160	119		125	159	140	144	124	182	78	108	136	156
45	106	152	107		100	135	108	111	91	132	70	106	104	129
55	80	140	91		59	86	72	74	54	84	56	104	71	102
65	54	128	74		40	67	46	48	32	62	44	100	40	70
75	30	114	50		20	57	27	26	17	58	33	96	18	38
85	10	103	25		9	51	10	10	4	51	6	90	10	19
90	–	96	11		3	52	0	0	0	53	–	87	–	–
95	–	90	7		3	56	2	2	1	60	–	84	–	–
105	–	84	6		2	60	8	8	3	75	–	79	–	–
115	–	76	3		1	53	15	12	5	86	–	72	–	–
125	–	63	6		–	43	24	16	5	87	–	64	–	–
135	–	47	–		–	30	29	21	6	72	–	56	–	–
145	–	33	–		–	20	38	29	1	50	–	44	–	–
155	–	12	–		–	13	44	39	–	29	–	28	–	–
165	–	–	–		–	7	48	47	–	12	–	10	–	–
175	–	–	–		–	2	51	50	–	5	–	–	–	–
180	–	–	–		–	–	51	51	–	5	–	–	–	–
КПД, %	85		65											

Таблица В.9 – Светотехнические характеристики светильников с лампами ДРЛ, ДРИ, ДНАТ

Угол, градус	Значение силы света светильников РСП17, ГСП17, РПС18, ГСП18					
	ДРЛ		ДРИ		ДНАТ	
	Кривая силы света		Кривая силы света		Кривая силы света	
	глубокая	концентри- рованная	глубокая	концентри- рованная	глубокая	концентри- рованная
0	691	1106	722	1125	701	1197
5	664	1020	700	1070	678	946
15	574	804	560	815	588	790
25	421	480	440	450	492	470
35	286	278	315	170	306	241
45	172	128	170	75	84	64
55	73	52	73	25	20	18
65	17	8	8	12	10	–
75	–	–	–	–	–	–
85	–	–	–	–	–	–
КПД, %	82	87	82	78	74	75

Таблица В.10 – Значение коэффициента запаса

Освещаемые объекты	Коэффициент запаса	
	При газоразрядных лампах	При лампах накаливания
Производственные помещения при содержании пыли, дыма и др. в воздухе, мг/м^3		
10 – темной	2	1,7
10 - светлой	1,8	1,5
5-10 – темной	1,8	1,5
5-10 - светлой	1,8	1,4
Помещения с особым режимом по чистоте	1,3	1,15
Вспомогательные помещения с нормальной средой и помещения общественных и жилых зданий	1,5	1,3
Территория предприятий и городов	1,5	1,3

Таблица В.11 – Нормы освещенности промышленных объектов

Наименование объектов, помещений	Освещенность, лк		Плоскость, в которой формируется освещенность и ее высота от пола, м.
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания, прожекторах	
1	2	3	4
Нормы освещенности различных помещений фабрик			
Производственные фабрики		20	
Распределительные пункты		25	
Диспетчерские щиты, помещения главных щитов подстанции		50	
Помещения щитов низкого напряжения, машинные помещения		25	
Камеры трансформаторов и выключателей, коридоры управления		15	
Машинные залы компрессоров, вакуумнасосов, вентиляторов		25	
Механические и электромеханические мастерские		20	
Канторские помещения		25	
Душевые		25	
Нормы освещенности коридоров, тепловых переходов, лестниц			
Главные коридоры	75	30	$\Gamma - 0,0$

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Второстепенные коридоры и тепловые переходы	50	20	Г –0,0
Главные лестничные клетки	75	30	Г –0,0
Второстепенные лестничные клетки	50	20	Г –0,0
Проходы и открытые лестницы в помещениях производства:			
– с постоянным пребыванием людей;	50	30	
– с периодическим пребыванием людей	50	30	
Нормы освещенности галерей и тоннелей			
Галереи шинопроводов		10	Г –0,0
Галереи и тоннели транспортеров		10	«–»
Галереи котельные		5	«–»
Тоннели кабельные, теплофикационные, водопроводные		5	«–»
Тоннели маслопроводов, пульповодов		5	«–»
Нормы освещенности электропомещений			
Камеры трансформаторов и реакторов		30	В-1,5
Помещение РУ: – фасад камеры;	100		В-1,5
– задняя сторона камеры	75	30	В-1,5
Помещение КТП. Помещение щитов при периодическом пребывании людей в помещении (щиты станций управления, релейн. щиты и т.п.) – фасад щита или КТП;	100	–	В-1,5
– задняя сторона щита или КТП	75	30	В-1,5
Помещение щитов при постоянном пребывании людей в помещении, с наблюдением за щитом на расстоянии более 0,5 м (диспетчерские, операторские, помещение главного распределителя):			
– фасад щита;	200	–	«–»
– задняя сторона щита;	75	30	Г-0,8
– пульт управления, стол диспетчера	150		
Помещение щитов при постоянном пребывании людей в помещении, с наблюдением за щитом на расстоянии 0,5 м и менее (щиты в машинном зале и т.п.):			
– фасад щита;	150	–	В-1,5
– задняя сторона щита	75	30	В-1,5
Электромашинный зал:			
– с естественным светом;	150	–	Г-0,8
– без естественного света	200	–	Г-0,8
Кабельный подвал (этаж)	–	10	Г-0,0
Нормы освещенности помещений котельных			
Помещение котлов:			
– площадки обслуживания котлов;	75	30	Г-0,8
– лестницы котлов и экономайзеров, проход за котлами	–	10	Г-0,0
Дополнительное местное освещение измерительных приборов на котлах и т.п.	400	400	В- на приборах

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Конденсационная, химводоочистка, деаэра- торная, бойлерная	75	30	Г-0,0
Топливоподача мазутонасосная	75	30	Г-0,8
Нормы освещенности лабораторий			
Химические, радиоизмерительные, механи- ческие и другие лаборатории	300	—	Г-0,8
Препараторские, весовые, микроскопные, термостатные, фотометрические	300	—	Г-0,8
Нормы освещенности ремонтно-механических, ремонтно-монтажных цехов			
Слесарно-механическое отделение: — общее освещение; — местное освещение; — на станках и верстаках	300 2500 —	— 200 —	«—»
Заготовительное отделение	150	—	«—»
Кузнечное и термическое отделение	200	—	«—»
Сварочное и сварочно-наплавное отделение	200	—	«—»
Гальваническое отделение: —помещение ванн; — помещение шлифовальных и полироваль- ных станков; —общее освещение; — на станках местное; — помещение приготовления растворов	200 — 300 2000 75	— — — 2000 30	«—»
Медницкое отделение	200	—	«—»
Трубопроводное и жестяницкое отделение	200	—	«—»
Нормы освещенности электроремонтных цехов			
Разборочно-промывочное отделение	200	—	«—»
Механическое отделение: — общее освещение; — местное освещение на станках и верстаках	300 2500	150 2000	
Отделение обмотки якорей и статоров, и слесарно-сборочное отделение	300	—	Г-0,8
Дополнительное местное освещение на станках и верстаках	200	1500	
Отделение аппаратов (ремонт аппаратов и приборов) и намотки катушек: — общее освещение; — местное освещение на станках и верстаках	300 300	— 2500	Г-0,8
Отделение ремонта трансформаторов	200	—	Г-0,0
Испытательная станция	200	—	«—»
Электроремонтное отделение	300	—	Г-0,8
Отделение восстановления обмоточного про- вода	200	—	«—»
Эмалировочное отделение	300	—	«—»
Сушильно-пропиточное отделение	100	50	«—»
Нормы освещенности помещений общественных зданий и бытовых корпусов промпредприятий			
Конторы, кабинеты, комнаты для занятий	300	—	Г-0,8
Машинописные, машиносчетные бюро	400	—	«—»
Светокопировальная мастерская	200	—	«—»

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Помещение общественных организаций	200	—	«—»
Раскомандировочная	300	—	«—»
Вычислительный центр	400	—	«—»
Здравпункты	150-300	—	«—»
Учебные заведения: классные комнаты, учебные кабинеты, лаборатории – на доске, – на столах	300 300	— —	В- на доске Г-0,8
Кабинеты и комнаты преподавателей	200	—	Г-0,8
Инструментальная комната и помещение техперсонала	200	—	«—»
Фотолаборатория	200	—	«—»
Вспомогательные помещения: вестибюли, холлы, гардеробные	75-1500	—	Г-0,0
Душевые и преддушевые	—	20	«—»
Фотарий	50	—	«—»
Санитарные узлы	—	30	«—»
Комнаты обогрева рабочих	—	20	«—»
Респираторная	—	30	В-1,0
Венткамеры, кубовые	—	20	Г-0,0
Тепловой пункт	—	30	«—»
Помещение кондиционеров	—	30	«—»
Технические этажи	—	20	«—»
Нормы освещенности территории промпредприятий			
Точные работы		50	
Работы средней точности		30	
Работы малой точности		10	
Грубые работы		5	
Охранное освещение		0,5	

Таблица В.12 – Приблизительные значения коэффициентов отражения стен R_c , потолка R_p , рабочей поверхности R_p

Характер отражающей поверхности					Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами					70
Побеленные стены при незавешенных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок					50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены, оклеенные светлыми обоями					30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный кирпич не оштукатуренный, стены с темными обоями.					10
Рекомендуемые значения коэффициентов отражения % R_p					
	70	50	30	0	
R_c	50	30	10	0	
R_p	30	10	10	0	

Приложение С

Таблица С1 -Технические данные силовых трансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, $S_{\text{нп}}$, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Ток XX , i_{x} , %	Напряжение KЗ , $U_{\text{кз}}$, %
		$U_{\text{вн}}$	$U_{\text{нп}}$		XX , P_{x}	KЗ , P_{k}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТСЗ-25/10-УЗ	25	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,15	0,60	2,8	4,5
ТСЗ-40/10-УЗ	40	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,255	0,88	2,6	4,5
ТСЗ-63/10-УЗ	63	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,30	1,28	1,8	4,5
ТСЗ-100/10-УЗ	100	6; 10	0,4	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,40	1,72	1,6	4,5
ТСЗГЛ-100/10-УЗ	100	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	0,60	1,30	2,0	4,0
ТСЗГЛФ-100/10-УЗ								
ТСЗГЛ-160/10-УЗ	160	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	0,65	2,15	1,4	4,0
ТСЗГЛФ-160/10-УЗ								
ТСЗГЛ-250/10-УЗ	250	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	0,90	3,00	2,5	5,5
ТСЗГЛФ-250/10-УЗ								
ТСЗГЛ-400/10-УЗ	400	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	1,20	3,90	2,5	5,5
ТСЗГЛФ-400/10-УЗ								
ТСЗГЛ-630/10-УЗ	630	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	1,65	5,73	2,0	5,5
ТСЗГЛФ-630/10-УЗ								
ТСЗГЛ-1000/10-УЗ	1000	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	2,15	8,40	1,5	6,0
ТСЗГЛФ-1000/10-УЗ								8,0
ТСЗГЛ-1250/10-УЗ	1250	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	2,25	10,6	1,0	6,0
ТСЗГЛФ-1250/10-УЗ								8,0
ТСЗГЛ-1600/10-УЗ	1600	6; 10	0,4	Д/У _н -11; У/У _н -0	3,20	11,3	1,0	6,0
ТСЗГЛФ-1600/10-УЗ								8,0

Продолжение табл. С1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТСЗГЛ-25000/10-У3	2500	6; 10	0,4	$\frac{Д}{У}_{н-11};$ $\frac{У}{У}_{н-0}$	4,40	16,4	0,5	6,0
ТСЗГЛФ-2500/10-У3								8,0
ТСЗ-16/0,66-УХЛ4	16	0,38; 0,66	0,23	$\frac{У}{У}_{н-0}$	0,115	0,44	3,0	3,8
ТСЗ-25/0,66-УХЛ4	25	0,38; 0,66	0,23	$\frac{У}{У}_{н-0}$	0,155	0,60	3,0	3,8
ТСЗ-40/0,66-УХЛ4	40	0,38; 0,66	0,23	$\frac{У}{У}_{н-0}$	0,22	0,88	3,0	3,8
ТСЗ-63/0,66-УХЛ4	63	0,38; 0,66	0,23	$\frac{У}{У}_{н-0}$	0,29	1,28	3,0	3,8
ТСЗ-100/0,66-УХЛ4	100	0,38; 0,66	0,23	$\frac{У}{У}_{н-0}$	0,39	1,45	3,0	3,8
ТСЗ-160/10	160	6; 10	0,23; 0,4	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	0,70	2,70	4,0	5,5
ТСЗ-250/10	250	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	1,00	3,80	3,5	5,5
ТСЗ-400/10	400	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	1,30	5,40	3,0	5,5
ТСЗ-630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	2,00	7,30	1,5	5,5
ТСЗ-1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	3,00	11,2	1,5	5,5
ТСЗ-1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	4,20	16,0	1,5	5,5
ТМ-25/10	25	6; 10	0,4	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	0,13	0,6	3,2	4,5
ТМ-40/10	40	6; 10	0,4	$\frac{У}{У}_{н-0};$ $\frac{Д}{У}_{н-11}$	0,175	0,88	3,0	4,5

Продолжение табл. С1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TM-63/10	63	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	0,2 4	1,28	2,8	4,5
TM-100/10	100	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	0,3 3	1,97	2,6	4,5
TM-160/10	160	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$	0,5	2,65	2,4	4,5
			0,69	$D/Y_{н-11}$	1	3,10		6,5
TM-250/10	250	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	0,7 4	3,7	2,3	6,5
			0,69	$D/Y_{н-11}$		4,2		6,5
TM3-250/10	250	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	0,7 5	3,7	2,3	4,5
TH3-250/10								
TM-400/10; TMH-400/10	400	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	0,9 5	5,5	2,1	4,5
			0,69	$D/Y_{н-11}$		5,9		
TM3-400/10	400	6; 10	0,4; 0,69	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	0,9 2	5,5	2,1	4,5
TH3-400/10								
TM-630/10; TMH-630/10	630	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	1,3 1	7,6	2,0	5,5
			0,69	$D/Y_{н-11}$		8,5		
TM3-630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	1,4 2	7,6	1,8	5,5
TH3-630/10								
TM-1000/10	1000	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	2,4 5	12,2	1,4	5,5
			0,69	$D/Y_{н-11}$		11,6		
TMH-1000/10	1000	6; 10	0,4	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	2,4 5	12,2	1,4	5,5
			0,69	$D/Y_{н-11}$				
TM3-1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	$Y/Y_{н-0};$ $D/Y_{н-11}$	2,4 5	10,6	1,4	5,5
TH3-1000/10								

Продолжение табл. С1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТМ-1600/10; ТМН-1600/10	1600	6; 10	0,4 0,69	$У/У_{н-0}; Д/У_{н-11}$ $Д/У_{н-11}$	3,30	18,0	1,3	5,5
ТМЗ-1600/10 ТНЗ-1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	$У/У_{н-0}; Д/У_{н-11}$	3,30	18,0	1,3	5,5
ТМ-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	$Д/У_{н-11}$	4,60	26,0	1,0	5,5
ТМН-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	$Д/У_{н-11}; У/Д-11$	4,60	23,5	1,0	5,5
ТМЗ-2500/10 ТНЗ-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	$Д/У_{н-11}; У/У_{н-0}$	4,60	24,0	1,0	5,5
ТМГ11-400/10-У1	400	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}; Д/У_{н-11}$	0,83	5,4	0,8	4,5
ТМГ11-630/10-У1	630	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}; Д/У_{н-11}$	1,06	7,45	0,6	5,5
ТМГ11-1000/10-У1	1000	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}; Д/У_{н-11}$	1,4	10,8	0,5	5,5
ТМГ11-1250/10-У1	1250	6; 10	0,4	$Д/У_{н-11}$	1,65	13,5	0,5	6,0
ТМГ11-1600/10-У1	1600	6; 10	0,4	$Д/У_{н-11}$	2,15	16,5	0,4	6,0
ТМГСУ-25/10-У1	25	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}$	0,115	0,60	2,8	5,5
ТМГСУ-40/10-У1	40	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}$	0,115	0,88	2,6	4,5
ТМГСУ-63/10-У1	63	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}$	0,22	1,28	1,8	4,5
ТМГСУ-100/10-У1	100	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}$	0,27	1,97	1,2	4,5
ТМГСУ-160/10-У1	160	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}$	0,41	2,60	1,0	4,5
ТМГСУ-250/10-У1	250	6; 10	0,4	$У/У_{н-0}$	0,58	3,70	0,8	4,5

Примечание: 1. ТСЗГЛ, ТСЗГЛФ – трехфазные сухие трансформаторы с геафолиевой литой изоляцией, класс нагревостойкости изоляции – F (геафоль – эпоксидный компаунд с кварцевым наполнителем): ТСЗГЛ – вводы ВН внутри кожуха; ТСЗГЛФ – вводы ВН выведены на фланец, расположенный на торцевой поверхности кожуха. 2. ТМГ – трехфазный масляный герметичный трансформатор. 3. ТМГСУ – трехфазный масляный герметичный с симметрирующим устройством трансформатор, обеспечивающий поддержание симметричности фазных напряжений в сетях потребителей с неравномерной пофазной нагрузкой. Сопротивление нулевой последовательности этих трансформаторов в среднем в три раза меньше, чем у трансформаторов без симметрирующего устройства.

Приложение D

Таблица D1

Технические характеристики магистральных шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 660 В, частотой 50–60 Гц

Характеристики	Тип шинопровода			
	ШМА А73УЗ	ШМА А73ПУЗ	ШМА 68-НУЗ	
Номинальный ток	1600	1600	2500	4000
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	70	90	70	100
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	20	35	35	50
Сопrotивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	0,031 0,022	0,031 0,022	0,02 0,02	0,013 0,015
Сопrotивление петли фаза - нуль (полное), Ом/км	0,016	0,016	—	—
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка сосредоточена в конце линии, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лин}$, В	11,5	11,5	13,5	16,5
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	300×160	300×160	444×215	44×295
Степень защиты	IP20	IP20	IP20	IP20
Типы автоматических выключателей, установленных в ответвительных секциях	А3734С, 400 А, 660 В А3744С, 630 А, 660 В А3736Ф, 400 А, 380 В А3736Ф, 630 А, 380 В			

Таблица D2

Технические характеристики комплектных распределительных шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В, частотой 50–60 Гц

Характеристики	Тип шинопровода			
	ШРА 73УЗ			ШРМ 73УЗ
Номинальный ток	1600	1600	2500	100
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	15	25	35	10
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	7	10	14	7
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °C, r_0 индуктивное, x_0	0,21 0,21	0,15 0,17	0,10 0,13	— —
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка распределена равномерно, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лин}$, В	6,5	8	8,5	—
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	260×80	284×95	284×125	70×80
Степень защиты	IP32	IP32	IP32	IP32
Типы коммутационно-защитной аппаратуры, установленной в ответвительных коробках: Предохранители Автоматические выключатели (ток, А)	ПН2-100 А3710 (160) А3120 (100) Предохранители АЕ2050 (100)	ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	На ток 25А АЕ2033(25)
Наличие ответвительных коробок с разъединителями на токи: 160 А 250А	Есть Нет	Есть Есть	Есть Есть	

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие/ Л.П. Сумарокова; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. – 288 с.
2. Правила устройства электроустановок. -6-е изд. (отд.выпуска 7-го изд.). - М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. -608с., 2000. - 645 с.
3. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб.пособие для вузов. - 2-е изд., доп. - М.: Высш. шк., 2000. - 255 с.: ил.3.
4. Шеховцов В. П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010.- 214с.
- 5.Указания по расчёту электрических нагрузок. Технический циркуляр ВНИПИ Тяжпромэлектропроект №358-90 от 1 августа 1990 г. -250с
- 6.Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ.учреждений СПО. - М.: Издательство «Мастерство»; Высшая школа, 2001. - 320с.: ил.
- 7.Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. пособие для проф. учеб.заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - 2-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2008. - 462 с.: ил.
8. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий/ Под ред. А.А.Федорова, Г.В. Сербиновского - М.: Энергия, 1985. – 820 с.
9. Электротехнический справочник. В 3-х т. Т. 2/ Под общ. ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 640 с.
- 10.Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник/ Под. ред. Н.И. Белоусова и др. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 192 с.
30. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. - Введ. с 01.01.89 - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 40 с.

11. Расчёт количества светильников методом коэффициента использования. Световые технологии.

URL: https://docviewer.yandex.ru/view/0/?*=NlfoHgHG6WscNAV2FTEEuJZM5857InVyBcI6Imh0dHBzOi8vd3d3LnBhbGxvci5ydS9maWxlcY9maWxlcY9kYXRhMDkwNi01LnBkZiIsInRpdGxlljoiZGF0YTA5MDYtNS5wZGYiLCJub2lmc

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	2
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ.....	3
ЗАДАНИЕ, СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	10
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	11
1. Выбор электродвигателей для оборудования цеха	11
2. План расстановки оборудования внутрицеховой системы электроснабжения.....	12
3. Расчет электрических нагрузок.....	14
4. Расчет освещения и осветительной сети.....	22
5. Расчёт и выбор цеховых трансформаторов.....	34
6. Расчет и выбор компенсирующего устройства.....	47
7. Выбор силового электрооборудования.....	49
8. Расчёт токов короткого замыкания в цеховой сети НН.....	60
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	69
Список рекомендуемой литературы.....	92