МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ



Л. В. Черноусова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические рекомендации по выполнению курсового проекта для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника

Черкесск
2025

УДК 621.311
ББК 31.277/278
Ч 49

Рассмотрено на заседании кафедры «Электроснабжение».
Протокол № 1 от «10» 09. 2024 г.
Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СКГА.
Протокол № 27 от «07» 11. 2024 г.

Рецензенты: Эркенов Н.Х. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение».

Ч49 **Черноусова, Л. В.** Электрические станции и подстанции: методические рекомендации по выполнению курсового проекта для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / Л. В. Черноусова. – Черкесск: БИЦ СКГА, 2025.–32 с.

Настоящие рекомендации содержат четкие требования к структуре курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции», приведены примеры выполнения графического материала.

УДК 621.311
ББК 31.277/278

© Черноусова Л.В., 2025
© ФГБОУ ВО СКГА, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ 5
1.1 Характеристика предприятия 5
1.2 Характеристика источника питания 5
1.3 Климатические условия 5
1.4 Краткое описание технологического процесса 5
2 РАСЧЕТ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК 9
2.1 Постановка задачи 9
2.2 Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм 9
2.3 Классификация методов расчета освещения 11
2.4 Расчет освещения 11
3 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ 12
3.1 Постановка задачи 12
3.2 Выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности 12
3.3 Выбор места расположения трансформаторной подстанции 14
4. ПОСТРОЕНИЕ ЗАВОДСКОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 17
4.1. Конструктивное выполнение внутризаводских 17
электрических сетей 17
4.2. Выбор кабелей 17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 22

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью промышленного предприятия как потребителя электроэнергии является то, что для осуществления технологического процесса используется большое число разнообразных электроприемников различных мощностей и номинальных напряжений, однофазного и трехфазного переменного тока различной частоты, а также электроприемников постоянного тока.

Система электроснабжения (СЭС) – это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией. Она включает сети напряжения до 1 кВ и выше 1 кВ, связанные между собой трансформаторными подстанциями (ТП). Электроснабжение предприятий принято делить на внешнее и внутреннее. В систему внутреннего электроснабжения входит комплекс электротехнических сооружений от точки присоединения к энергосистеме до пункта приема электроэнергии предприятия: главной понизительной подстанции (ГПП) или центрального (главного) распределительного пункта (ЦРП, ГРП). Система внутреннего (внутризаводского) электроснабжения – это комплекс сетей и подстанций, расположенных на территории предприятия. Внутреннее электроснабжение содержит сети с достаточно сложными схемами и развитой конфигурацией.

Системы электроснабжения, обеспечивающие электрической энергией промышленные объекты, оказывают существенное влияние на работу электроприводов, осветительных, преобразовательных и электротехнологических установок и, в конечном счете, на производственный процесс в целом. Надежное и экономичное снабжение электроприемников электроэнергией требуемого качества – необходимое условие нормального функционирования любого промышленного предприятия. В связи с этим специалисты в области электроснабжения должны иметь глубокие знания целого комплекса вопросов проектирования электроустановок промышленных объектов. Знать основы проектирования весьма важно, так как именно в проекте формируется структура системы электроснабжения, и закладываются основные свойства, определяющие ее технические, эксплуатационные и экономические показатели.

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ

1.1 Характеристика предприятия

Проектируемый завода имеет следующие характеристики:

– месторасположения завода – ;

Производственная среда помещений:

– влажные помещения – ;

– влажные и пыльные помещения – ;

– пожароопасные помещения класса А – ;

– взрывоопасная среда В1 – ;.

– остальные цеха категории Д – пожаробезопасная среда.

1.2 Характеристика источника питания

Электроснабжение завода осуществляется от районной подстанции ____/____/___ кВ, где установлены два силовых трёхобмоточных трансформатора мощностью по_____кВА, от системы секционированных шин комплектного распределительного устройства наружной установки (КРУН) 10 кВ. Питание осуществляется по двум кабельным линиям длиной м от каждой системы шин КРУН через _____ выключатели _____ до центрального распределительного пункта (ЦРП).

Марка кабелей – _____3× _____.

Электроприемники в цехах основного производства по виду и назначению используемой энергии подразделяются на группы:

– силовые и освещение.

Согласно ПУЭ электроприемники проектируемого предприятия относятся к потребителям I и II категории по надежности электроснабжения, т.к. недоотпуск электрической энергии ведет к опасности возникновения взрывов или к массовому браку продукции и простою оборудования.

1.3 Климатические условия

По географическому местоположению проектируемое предприятие находится в:

Район по гололеду – .

Район по ветровым нагрузкам – .

Средняя температура в январе - до - ^{0}C.

Средняя температура в июле - + до + ^{0}C.

Число грозовых дней в году – .

Число грозовых часов в году – ч.

Удельное сопротивление грунта – Ом·м.

Число смен работы персонала – .

1.4 Краткое описание технологического процесса

Проектируемое предприятие специализируется на производстве ……

На рисунке 1.1 представлен генеральный план проектируемого предприятия, на котором указано месторасположение цехов и

вспомогательных производственных помещений. В таблице 1.1 указана установленная мощность цехов. План, подробно рассматриваемого цеха, приведён на рисунке 1.2, а в таблице 1.2 приведены основные параметры электротехнологического оборудования.

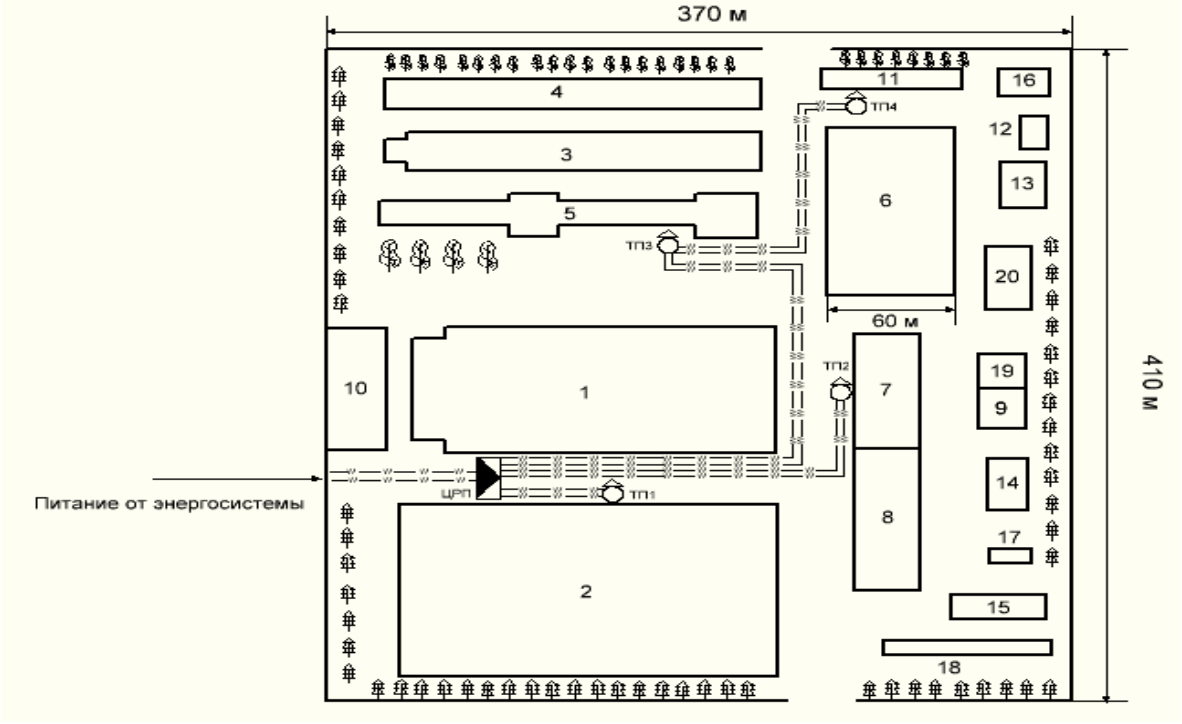


Рисунок 1.1 – Генеральный план проектируемого предприятия

Таблица 1.1 – Исходные данные цехов проектируемого предприятия

№ по плану	Наименование цеха	Установленная мощность, кВт
1	Цех магнитных станций	1200
2	Заготовительно-сварочный цех	2350
3	Цех пластмасс	1050
4	Аппаратный цех	950
5	Цех нормалей	800
6	Штамповочный цех	508,6
7	Цех прокладок	1000
8	Склад готовой продукции	85
9	Склад металлических отходов	110
10	Гальванический цех	950
11	Ремонтно-механический цех	550
12	Станция нейтрализации	100
13	Очистка кислотной канализации	30
14	Компрессорная №1	240
15	Столовая	265
16	Насосная	280
17	Градирня	30
18	Лабораторно-административный корпус	350
19	Склад кислот	70
20	Компрессорная №2	195

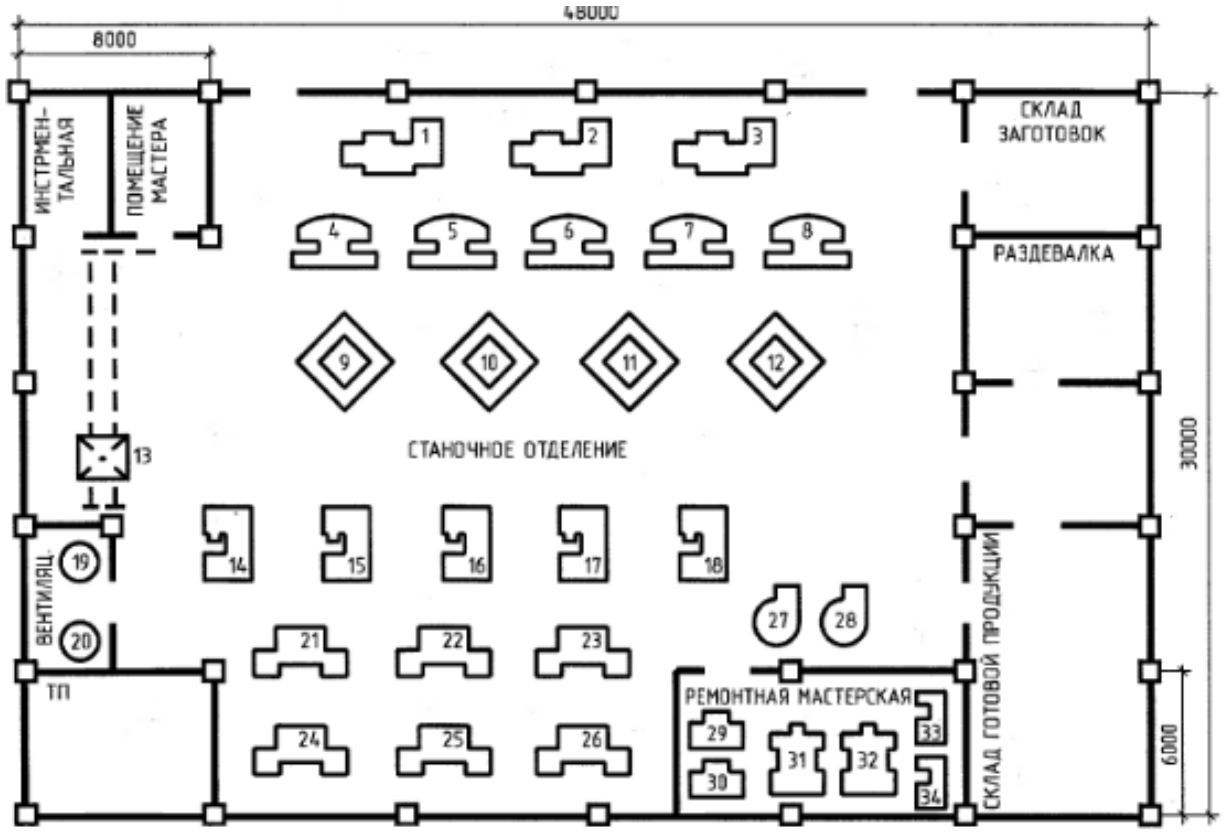


Рисунок 1.2 – План штамповочного цеха

Таблица 1.2 – Характеристики электроприемников штамповочного цеха

№ по плану цеха	Наименование отделения и производственного помещения	Номинальная мощность, кВт	Кол	$К_и$	cosφ	tgφ
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
1,2,3	Кузнечно-штамповочные автоматы	14,5	3	0,17	0,65	1,17
4,5,6,7,8	Прессы электромеханические	28,1	5	0,6	0,8	0,75
9,10,11,12	Прессы фрикционные	24,2	4	0,65	0,8	0,75
13	Кран-балка (ПВ =40%)	6	1	0,2	0,5	1,73
14,15,16,17,18	Молоты ковочные	10,2	5	0,5	0,7	1,02
19,20	Вентиляторы	4,5	2	0,7	0,8	0,75
21,22,23,24,25,26	Прессы кривошипные (ПВ =60%)	11,6	6	0,6	0,75	0,88
27,28	Насосы	3,5	2	0,65	0,7	1,02
29,30	Наждачные станки	1,5	2	0,16	0,5	1,73
31,32	Шлифовальные станки	7,5	2	0,15	0,5	1,73
33,34	Сверлильные станки	3	2	0,12	0,5	1,73

2 РАСЧЕТ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

2.1 Постановка задачи

Первым этапом проектирования системы электроснабжения является определение электрических нагрузок. По значению электрических нагрузок выбирают и проектируют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надежная работа электрооборудования.

При проектировании системы электроснабжения или анализе режимов ее работы потребители электроэнергии (отдельный приемник электроэнергии, группа приемников, цех или завод в целом) рассматривают в качестве нагрузок. Различают следующие виды нагрузок: активную мощность P (кВт), реактивную мощность Q (кВАр), полную мощность S (кВА).

2.2 Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм

Проведем расчет нагрузок штамповочного цеха методом упорядоченных диаграмм.

Исходные данные и результаты расчетов при определении расчетной нагрузки цеха записываем в таблицу 2.1.

Пример расчета рассмотрим на примере одного электроприемника – №5 – пресс электромеханический.

Заносим в первую колонку таблицы 2.1. название электроприемников «прессы электромеханические», таких электроприёмников -5. Во вторую, третью, пятую, шестую и девятую колонки заносим следующие исходные данные:

вторая колонка – число электроприемников в группе n= ;

третья колонка – номинальная мощность одного электроприемника в группе $P_{ном}$= кВт,

пятая колонка – групповой коэффициент использования $К_и$= (выбираем по справочным данным /2/);

шестая колонка – cosφ= ;

седьмая колонка - $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = ;$

десятая колонка – коэффициент технологических потерь λ= (выбираем по таблице 2.9 для двух смен [2]).

Определяем суммарную мощность группы и заносим результат в четвертую колонку таблицы:

$P_{ном,\Sigma} = n \cdot P_{ном}$,кВт

Определяем среднюю активную нагрузку группы за максимально загруженную смену и заносим результат в седьмую колонку:

$P_{см} = К_и P_{ном,\Sigma}$, кВт

Определяем среднюю реактивную нагрузку группы за максимально загруженную смену и заносим результат в восьмую колонку:

$Q_{см} = P_{см} tg\varphi =$ кВАр

Определяем максимальную расчетную активную нагрузку группы и заносим результат в десятую колонку:

$P_м = P_{см} \lambda$, кВт

Определяем максимальную расчетную реактивную нагрузку группы и заносим результат в одиннадцатую колонку:

$Q_м = P_м tg\varphi g$кВАр

В последнюю колонку заносим полную максимальную мощность группы электроприёмников:

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2}, \qquad \text{кВА.}$$

Аналогично определяем расчетные нагрузки остальных групп электроприемников.

После расчета максимальных нагрузок каждой группы определяем расчетную нагрузку всего цеха. Для этого заполняем итоговую строчку таблицы 2.1.

Во вторую колонку таблицы записываем общее число электроприемников

N=

В четвертую колонку записываем общую суммарную активную мощность электроприемников

$P_\Sigma = \sum P_{ном\Sigma,i}$ кВт

В восьмую и девятую колонки записываем общие средние активные и реактивные мощности за наиболее загруженную смену

$P_{см\Sigma} = \sum P_{см}$ кВт

$Q_{см\Sigma} = \sum Q_{см}$ кВАр

Теперь рассчитываем средневзвешенные коэффициенты использования $К_и$ и мощности cosφ:

$$К_и = \frac{P_{см\Sigma}}{P_\Sigma}$$

$$tg\varphi = \frac{Q_{см\Sigma}}{P_{см\Sigma}}$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi}}$$

полученные данные заносим в колонки пять, шесть и семь таблицы 2.1.

Определяем максимальные расчетные суммарные активные и реактивные нагрузки и записываем их в колонки одиннадцать и двенадцать

$P_{м\Sigma} = \sum P_м$, кВт

$Q_{м\Sigma} = \sum Q_м$, кВАр

Определяем максимальную расчетную нагрузку штамповочного цеха на III уровне системы электроснабжения от силовых электроприёмников:

$$S_м = \sqrt{P^2_{м\Sigma} + Q^2_{м\Sigma}}, кВА$$

Полученный результат заносим в таблицу 2.2.

Расчет нагрузок по заводу проводим аналогично. Результаты приведены в таблице 2.2.

2.3 Классификация методов расчета освещения

На промышленных предприятиях около 10 % потребляемой электроэнергии затрачивается на электрическое освещение. Правильное выполнение осветительных установок способствует рациональному использованию электроэнергии, улучшению качества выпускаемой продукции, повышению производительности труда, уменьшению количества аварий и случаев травматизма, снижению утомляемости рабочих.

Проектирование осветительных установок заключается в разработке светотехнического и электрического разделов проекта.

2.4 Расчет освещения

Проведем расчет освещения для цехов и территории завода, который определяется по удельной мощности освещения, по выражению:

$$P_O = F \cdot \delta \cdot K_{CO} \cdot 10^{-3} \qquad (2.1)$$

где: F– освещаемая площадь, $м^2$;

δ– удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м^2

K_{CO}– коэффициент спроса осветительной нагрузки;

tgφ– коэффициент мощности осветительной нагрузки.

Из [2] находим W= Вт/м^2, для штамповочного цеха, площадь этого цеха равна S, м^2, следовательно из (2.5) имеем с учётом коэффициента спроса осветительной нагрузки имеем:

$P_0 =$ кВт.

Полученное значение мощности освещения заносим в таблицу расчета нагрузок на третьем уровне. Расчет освещения для остальных цехов приведен в таблице 2.3.

Тогда с учётом осветительной нагрузки расчётная максимальная полная мощность на третьем уровне составляет S= кВА

3 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

3.1 Постановка задачи

Выбор мощности и числа силовых понижающих трансформаторов для подстанций глубокого ввода или главной понизительной подстанции должен быть экономически обоснованным. В проекте предусматривается установка ЦРП без трансформации электроэнергии. Трансформация электроэнергии будет иметь место на цеховых ТП. При выборе трансформаторов цеховых ТП используют методику технико – экономических расчётов, а также учитывают такие показатели, как надёжность электроснабжения потребителей, расход цветного металла и требуемая трансформаторная мощность.

На сегодняшний день вместо устаревших типов трансформаторов ТМ устанавливают трансформаторы типа ТМГ (трансформатор масляный герметизированный), со следующей шкалой номинальных мощностей:

100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1250, 1600, 2500 и 3125 кВА.

Ориентировочный выбор числа и мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности σ_H нагрузки:

$$\sigma_{\text{Н}} = \frac{S_{\text{Р}}}{F} \qquad (3.1)$$

где $S_{\text{Р}}$ -расчётная нагрузка цеха, завода кВА. F-площадь цеха, завода м^2.

При плотности нагрузки напряжением до 380 В до 0,2 кВА/м^2 применяются трансформаторы мощностью до 1000 кВА включительно, при плотности 0,2-0,3 кВА/м^2 - мощностью 1600 кВА, более 0,3 кВА/м^2- целесообразность применения трансформаторов мощностью 1600 кВА или 2500 кВА должно определяться технико – экономическим расчетом.

Принимая во внимание, что электроприемники проектируемого предприятия относятся к I или II категории, целесообразно, согласно требованиям ПУЭ, применение двухтрансформаторных подстанций. Расчетная нагрузка проектируемого предприятия $S_{\text{р}}$= кВА (Таблица 2.1), площадь завода F= $м^2$. Определим удельную плотность нагрузки по (3.1)

$$\sigma_{\text{Н}} = \frac{S_{\text{Р}}}{F}, \text{кВА/м}^2 \qquad (3.2)$$

Следовательно, целесообразно применять трансформаторы до кВА.

3.2 Выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

Одним из основных вопросов, решаемых при проектировании электроснабжения промышленных предприятий является вопрос о компенсации реактивной мощности.

Произведем выбор числа и мощности силовых трансформаторов для проектируемого предприятия с учетом компенсации реактивной мощности. Определим минимальное число трансформаторов при $Р_{\text{ср.м}}$= кВт (таблица 2.1); $К_{\text{з}}$= ; $S_{\text{ном.т}}$= кВА.

$$N_{min} = \frac{P_{СР.М}}{K_З \cdot S_{НОМ}} + \Delta N \qquad (3.3)$$

Из выражения (3.5) находим оптимальное число трансформаторов:

$N_{опт}=N_{min}+m$,

где m= [1] для N_{min}= и ΔN= .

Т.к. на данном предприятии преобладают нагрузки первой и второй категории надежности, следовательно, принимаем к установке двухтрансформаторные подстанции, т.е. трансформаторов.

Определяем реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы:

$$Q_{МАХ.Т} = \sqrt{(N_{ОПТ} \cdot K_З \cdot S_{НОМ.Т})^2 - P_{СР.М}^2}, кВА \qquad (3.4)$$

Суммарную мощность конденсаторных батарей найдем по формуле

$Q_{Н.К.1} = Q_{СР.М} - Q_{МАХ.Т}$,кВАр

Дополнительную мощность БК найдем по формуле:

$Q_{Н.К.2} = Q_{Н.К.2} = Q_{СР.М} - Q_{НК1} - jN_{ОПТ} \cdot S_{НОМ.Т}$ кВАр,

где j = [4] при $К_{р1}$= и $К_{р2}$= [4].

Суммарная расчетная мощность согласно выражения составляет:

$Q_{Н.К.} = Q_{н.к1} + Q_{н.к2}$кВАр

Данную реактивную мощность следует вырабатывать с помощью устройств компенсации реактивной мощности. При этом распределение этой мощности пропорционально реактивным нагрузкам трансформаторов.

3.3 Распределение реактивной мощности по подстанциям

Как было указано выше, распределение суммарной расчетной мощности $Q_{нк}$ пропорционально реактивным нагрузкам трансформаторов.

От ТП 1 запитываются объекты №2; №8; №15; №17; №18. От ТП2 -№1; №7; №9; №10; №14. От ТП3 -№3; №5; №6; №19; №20, и от ТП4 -№4; №11; №12; №13; №16.

Выберем конденсаторные установки для ТП1. Определяем, что суммарная расчетная максимальная реактивная мощность для этой ТП равна $Q_м$, кВАр. Суммарная расчетная реактивная мощность по предприятию в целом равна $Q_{мΣ}$, кВАр, суммарная расчетная мощность конденсаторных установок $Q_{нк}$, кВАр. Зная эти величины находим коэффициент пропорциональности между $Q_{мΣ}$ и $Q_{нк}$:

$$К = \frac{Q_{нк}}{Q_{мΣ}} \qquad (3.5)$$

Далее определяем расчетную мощность $Q_{нк}$ конденсаторных установок для одного трансформатора подстанции:

$$Q_{нк} = \frac{Q_м \cdot К}{N}, \quad кВАр \qquad (3.6)$$

где N – число трансформаторов на ТП.

Теперь по этой мощности определяем ближайшее стандартное значение мощности конденсаторных установок.

Выбираем установку с $Q_{нкф}$= кВАр. На втором трансформаторе этой подстанции устанавливаем такую же установку, т.к. трансформаторы одинаковы.

Аналогично производим расчет для других подстанций и результаты сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Выбор и распределение компенсирующих устройств на ТП

Подстанция	Трансформатор	$Q_м$, кВАр	$Q_{нк}$, кВАр	$Q_{нкф}$, кВАр	Тип конденсаторной установки
ТП1	Т1 Т2				
ТП2	Т3 Т4				
ТП3	Т5 Т6				
ТП4	Т7 Т8				
Итого					

Прим. выбранные конденсаторные установки осуществляют плавное регулирование реактивной мощности ступенями по 50 и 25 кВАр.

3.3 Выбор места расположения трансформаторной подстанции

Центральная распределительная подстанция ЦРП вместе с цеховой трансформаторной ТП являются одним из основных звеньев системы электроснабжения любого промышленного предприятия. Поэтому оптимальное размещение подстанций по территории промышленного предприятия – важнейший вопрос при построении рациональных систем электроснабжения.

Для выбора места расположения подстанции проектируемого завода составляем данные для расчета картограммы нагрузок методом потенциальной функции. Данные представляют собой таблицу, где указаны координаты и мощность цехов. Картограмму считаем с помощью ЭВМ, данные представлены в таб.3.2.

Полученная картограмма представлена на Рисунок3.2. По картограмме определяем оптимальное место для расположения цеховых трансформаторных подстанции.

Координаты места расположения цеховых ТП и ЦРП с учетом картограммы нагрузок приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.2 – Координаты цехов для картограммы нагрузок

№цеха	Мощность кВт	X,	У,
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

От ТП-1 питаются цеха №2;8;15;17;18.
От ТП-2 питаются цеха №1;7;9;10;14.
От ТП-3 питаются цеха №3;5;6;19;20.
От ТП-4 питаются цеха №4;11;12;13;16.

Таблица 3.3 - Координаты места расположения ТП и ЦРП

ТП	Координаты, м	
	x	y
ТП1		
ТП2		
ТП3		
ТП4		
ЦРП		

Сразу же проверим выбранные трансформаторы по перегрузочной способности. В аварийных условиях, если один из трансформаторов по подстанции выйдет из строя, другой должен быть переведён на допустимую перегрузку по условию:

$$1.4S_{ном.\,т} \geq S_р \qquad (3.7)$$

Результаты проверки приведены в таблице 3.4 и 3.5.

Таблица3.5 - Проверка правильности выбора трансформаторов

ТП	Проверка по коэффициенту загрузки	Проверка по перегрузочной способности
	$К_з = \frac{S_м}{NS_{ном\,т}}$	$1.4S_{ном.\,т} \geq S_р$
ТП1		
ТП2		
ТП3		
ТП4		

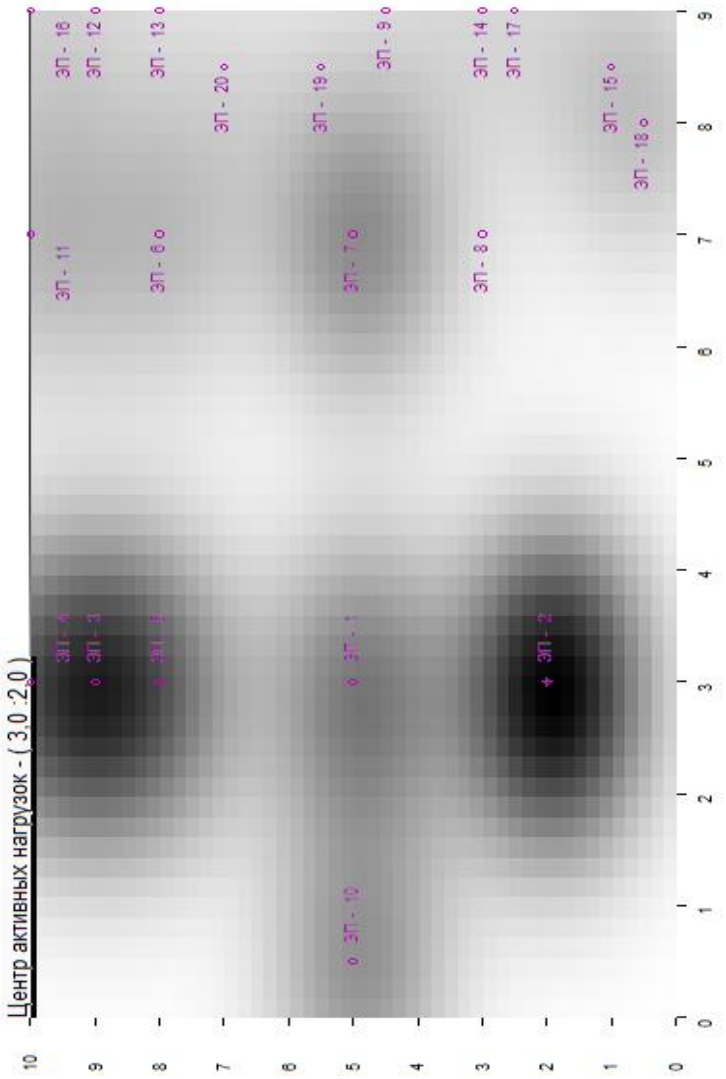


Рисунок 3.1. - Картограмма нагрузок

4. ПОСТРОЕНИЕ ЗАВОДСКОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

4.1. Конструктивное выполнение внутризаводских электрических сетей

Электрической сетью называют совокупность соединенных между собой линий одного напряжения от ее источников к присоединенным к сети приемникам, включающей узлы распределения и ответвления линий. Сети промышленных предприятий разделяются на цеховые сети, питающие цеховые приемники электроэнергии и подразделяемые на силовые и осветительные, и на распределительные, питающие цеховые трансформаторы подстанции или преобразовательные установки.

Принимаем смешанную схему электроснабжения – Рисунок 4.1. Распределительную сеть выполняем кабельными линиями, способ прокладки кабелей в траншее на глубине 0,7м. Все кабели укладываются с запасом по длине (так называемой змейкой) достаточной для компенсации тепловых деформаций кабеля и для компенсации смещения почвы. В принятом варианте электроснабжения завода, учитывая категории надёжности цехов, была принят вариант при котором трансформаторные подстанции ТП1, ТП2 и ТП3 получают питание непосредственно от ЦРП, а ТП4 питается от ТП3. Таким образом, используется радиально-магистральная схема рисунок 4.1.

4.2. Выбор кабелей

Согласно ПУЭ /3/ для нормального режима работы сечения проводников всех сетей напряжением выше 1 кВ (кроме сборных шин) должны выбираться по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение рассчитывают по выражению:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} \qquad (4.1)$$

где I_p- расчетный ток линии в нормальном режиме; $j_{эк}$ – экономическая плотность тока.

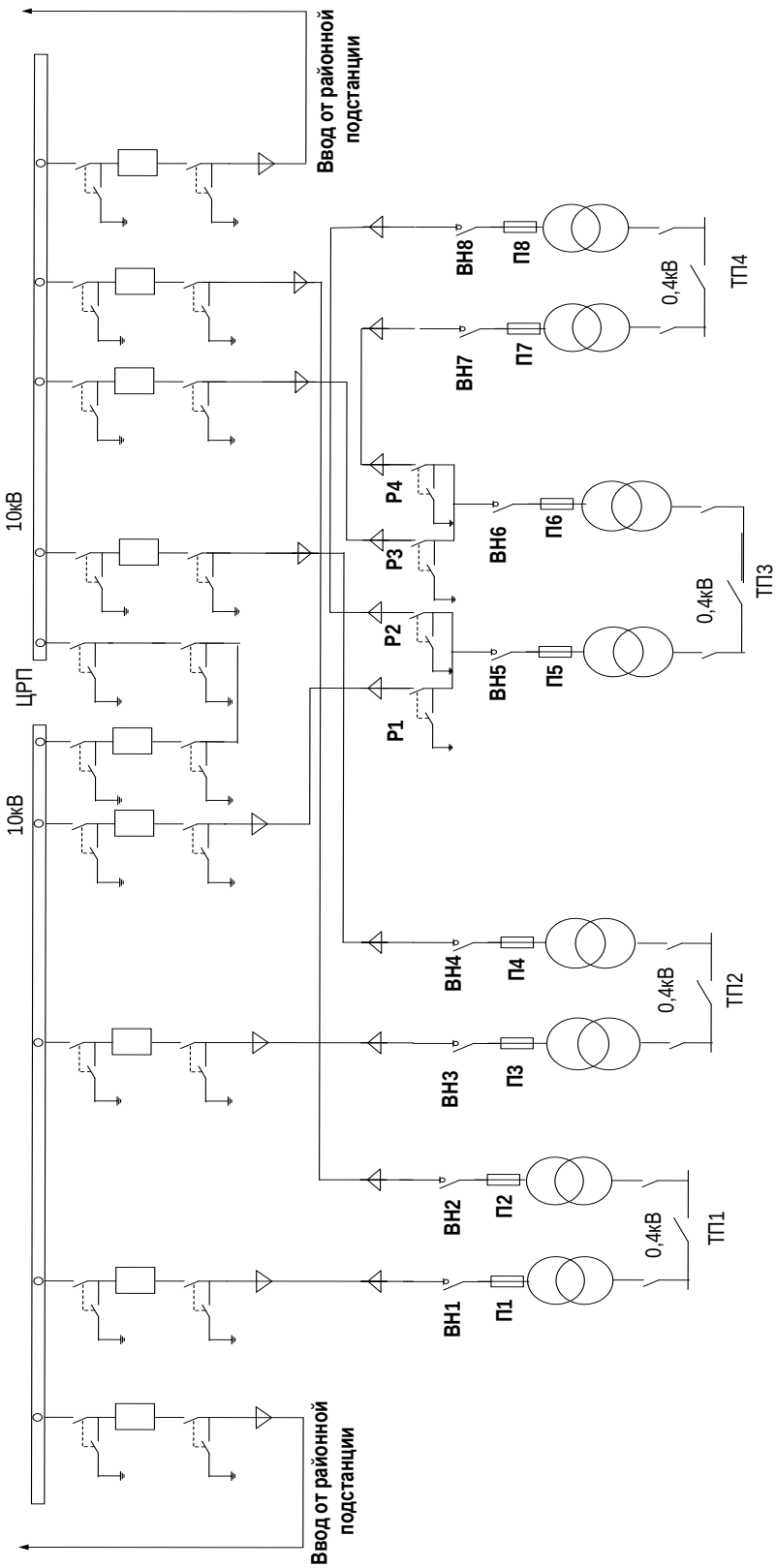


Рис.4.1 Принципиальная схема электроснабжения завода холодильного машиностроения

Найденное по (4.1) сечение округляют до стандартного. Согласно ПУЭ /3/ экономическая плотность тока выбирается в зависимости от вида проводника и времени использования максимальной нагрузки. Расчетный ток линии определяем по формуле:

$$I_р = \frac{S_л}{\sqrt{3}U_н n}, \quad (4.2)$$

где $S_л$ –максимальная мощность в нормальном режиме; $U_н$ - напряжение линии; n – число лини

Для определения расчетного тока необходимо найти потокораспределение мощностей по линиям для обоих вариантов.

Потокораспределение мощностей по кабельным линиям для схемы электроснабжения:

к ТП1: $S_1=P_1 +jQ_1$, кВА;

к ТП2: $S_2=P_2 +jQ_2$,кВА;

к ТП3: $S_3+ S_4=P_3 +jQ_3 +P_4 +jQ_4$,кВА.

к ТП4: $S_4=P_4 +jQ_4$, кВА

Произведем выбор кабелей к ТП1, к которой подходят два кабеля.

Расчетный ток одного кабеля по (4.2):

$$I_р, \quad А$$

Тогда сечение кабеля по (4.1) составит:

$F_{эк}$, $мм^2$,

где $j_{эк}$ =1,4 $А/мм^2$ [1] для кабеля с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией при числе часов использования максимума нагрузки в год $Т_м$=4000ч (двухсменный режим работы).

Принимаем к установке кабель марки сечением 3× $мм^2$, допустимый ток А.

Проверим выбранный кабель по длительно – допустимой токовой нагрузке. При выходе из строя одной из линий, питающих ТП1, или при аварийном отключении одного трансформатора по оставшейся в работе линии будет протекать ток:

$I_{р.ав}=2I_р$, А,

с учетом допустимой аварийной перегрузки кабелей $К_{пер}$ = 1,3:

$$I_{р.доп} = \frac{I_{р.ав}}{К_{пер}}, \quad А$$

, т.е. выбранный кабель удовлетворяет условиям нагрева.

Для других ТП кабельные линии выбираем аналогично. Результаты выбора для первого и второго варианта приведены в таблице 4.1.

Выберем кабель для линий, питающих ЦРП от районной подстанции. Мощность, протекающая по этим линиям в условиях нормальной работы составляет:

$P_Σ=P_1+P_2+P_3+P_4$, кВт;

$Q_Σ=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$, кВАр;

$$S_Σ = \sqrt{P_Σ^2 + Q_Σ^2}, кВА.$$

Расчетный ток линии, питающей одну секцию ЦРП составляет:

$$I_р, \quad А,$$

Расчётное сечение кабеля

$$F_{эк}, мм^2.$$

Расчетный ток в аварийном режиме:

$I_{р.ав}=2I_р$, А,

с учетом допустимой аварийной перегрузки кабелей $К_{пер}$=1,3:

$$I_{р.доп} = \frac{I_{р.ав}}{К_{пер}}, \quad А.$$

Принимаем к установке кабель сечением 3× мм^2 с допустимым током $I_{доп}$= А, при этом руководствуемся также возможностью расширения объекта электроснабжения и механической прочностью прокладываемой линии.

Таблица 4.1 - Тип и сечение кабелей

линия	количество кабелей	расч. ток Iр, А	сечение, Fэк, мм^2	расчетный ток в аварийном режиме $I_{р.ав}$А	допустимый ток		тип и сечение кабелей
					расчетный	принятый	
к ТП1							
к ТП2							
к ТП3							
к ТП4							
к ЦРП							

4.3 Выбор электрооборудования

Произведем выбор выключателей нагрузки и разъединителей.

Выключатели нагрузки и разъединители должны отвечать следующим требованиям:

– изоляция аппарата должна соответствовать номинальному напряжению электроустановки:

$$U_{ном.ап.} \geq U_{ном.\ уст}; \quad (4.3)$$

– рабочий ток присоединения в утяжеленном режиме не должен превышать номинального продолжительного тока аппарата:

$$I_{ном} \geq I_{раб.\ утж} \quad (4.4)$$

Рассмотрим предложенный вариант схемы электроснабжения. Произведем выбор разъединителей Р1 и Р3 (Рисунок 4.1). Рабочий ток присоединения:

$$I_р = \frac{S_{\Sigma н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_н}, А$$

Рабочий ток в утяжеленном режиме:

$I_{р.утж}$=2$I_р$, А.

Выбираем разъединитель [1] с заземляющим ножом внутренней установки типа с $I_{ном}$= А, $U_н$= кВ.

Аналогично для разъединителей Р2 и Р4 имеем:

$$I_р = \frac{\Sigma S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_н}, \qquad А.$$

Рабочий ток в утяжелённом режиме:

$I_{р.утж}=2I_р$, А.

Как и первом случае выбираем разъединитель [1] с заземляющим ножом внутренней установки типа с $I_{ном}=$ А, $U_н=$ кВ.

Результаты выбора заносим в таблицу 4.3.

Также необходимо выбрать выключатели нагрузки. Выберем выключатели нагрузки ВН1, ВН2, ВН3, ВН4, ВН5, ВН6, ВН7 и ВН8 (Рисунок 4.2). Рабочий ток присоединений:

$$I_р = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_н}, А,$$

$$I_{р\ утяж} = 2I_р, А.$$

Выбираем [1] выключатель нагрузки типа:

с $I_{ном}=$ А, $U_н =$ кВ.

Результаты выбора записываем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Данные выбора выключателей нагрузки

Выключатель нагрузки	раб. ток Iр, А	раб. ток в утяжелен-ном режиме	ном. ток выключателя нагрузки, Iном.р, А	Uном, кВ	тип выключателя нагрузки
ВН1, ВН2, ВН3, ВН4, ВН5, ВН6, ВН7, ВН8					

Таблица 4.3 - Данные выбора разъединителей

разъединители	раб.ток Iр, А	раб. ток в утяжеленном режиме	ном. ток разъединителя, Iном.р, А	Uном, кВ	тип разъединителя
Р2, Р4,					
Р1, Р3					

Таблица 4.4 - Данные выбора высоковольтных выключателей

разъединители	раб.ток Iр, А	раб. ток в утяжеленном режиме	ном. ток выключателя, Iном.р, А	Uном, кВ	тип выключателя
В2, В4,					
В1, В3					

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вантеев, А. И. Обслуживание электрических подстанций: теория и практика: учебное пособие / А. И. Вантеев. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. — 368 с.
2. Афонин, В.В. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.В. Афонин, К.А. Набатов. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 90 с.
3. Хвостиков, А. С. Основы проектирования электростанций: учебное пособие / А. С. Хвостиков, В. И. Леонтьев. — Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. — 64 с.
4. Коломиец, Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Н.В. Коломиец, Н.Р. Пономарчук, Г.А. Елгина. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 72 с.
5. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 111 с.
6. Михеев, Г.М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования [Электронный ресурс]/ Г.М. Михеев. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Профобразование, 2017.
5. Кувайцев, В.И. Высоковольтные изоляторы [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС/ В.И. Кувайцев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. — 23 с.
6. Кувайцев, В.И. Высоковольтные предохранители [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС/ В.И. Кувайцев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. — 12 с.
7. Кувайцев, В.И. Измерительные трансформаторы напряжения [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторному практикуму по ЭЧС/ В.И. Кувайцев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. — 16 с.
8. Лагута, С.А. Оборудование электростанций и сетей. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: пособие/ С.А. Лагута. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 84 с.
9. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции [Текст]: учеб. пособие для высшего и среднего проф. образования/ Ю.Д. Сибикин.- М.: Радиософт, 2013.- 416 с.
10. Электрическая часть станций и подстанций [Текст]: учебник/ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др., под ред. А.А. Васильева.- 2-е изд.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 576 с.

Приложение. Таблица 2.1 -Расчет нагрузок цеха

№ на плане	Узлы питания и группы электроприёмников	Количество электроприемников	Установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт		Коэффициент использования $K_и$	tg φ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Коэффициент учёта технологических факторов λ	Максимальная расчётная нагрузка на III уровне		
			$P_{ном.}$, одного ЭП	$P_{ном.}$, общая ЭП			$P_{см}=K_и \cdot P_{ном.}$, кВт	$Q_{см} = P_{см} \cdot tgφ$, кВАр		$P_м = P_{см} \cdot λ$, кВт	$Q_м = P_м \cdot tgφ$, кВАр	$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2}$, кВА
1,2	Долбежный станок	2	6,85	13,7	0,65	0,75	8,905	6,678	0,7	6,234	4,675	7,7919
35,36,37	Настольно - токарный станок	3	1,3	3,9	0,2	1,16	0,936	1,085	0,7	0,655	0,76	1,0035
	Освещение	1	33,6	33,6	0,8	0,3	26,88	8,064	0,9	24,19	7,257	25,257
	Итого всего по цеху	6	9,9	19,35	0,5	0,784	11,24	8,814	-	7,869	6,170	10,02

Таблица 2.2 – Расчет нагрузок по заводу

Узлы питания и группы электроприёмников	Количество электроприемников	Установленная мощность, приведенная к ПВ=1, кВт		Коэффициент использования Ки	cosφ	tg φ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		коэффициент учёта технологических факторов λ	Максимальная расчётная нагрузка на III уровне		
		Рном одного эл.приёмника (max-min)	$P_{ном}$ общая				$P_{см}=K_и.P_{ном.,}$ кВт	$Q_{см} = P_{см}.tgφ$, кВАр		$P_М= P_{см}.λ$, кВт	$Q_М= P_м.tgφ$, кВАр	$S_м=$, кВА
1. Цех полуфабрикатов												
Силовая нагрузка			2950	0,5	0,65	1,17	1475	1725,8	0,72	1062	1242,5	1634,5
Освещение			167	0,8	0,95	0,33	133,6	44,088	0,9	120,24	39,679	126,62

Окончание таблицы 2.2

Итого по цеху			3117				1608,6	1769,8		1182,2	1282,2	1761,2
2. Лаборатория												
Силовая нагрузка			750	0,3	0,65	1,17	225	263,25	0,72	162	189,54	249,34
Освещение			18	0,8	0,95	0,33	14,4	4,752	0,9	12,96	4,2768	13,647
Итого по цеху			768				239,4	268		174,96	193,82	262,99
3. Заводоуправление												
Силовая нагрузка			120	0,75	0,5	0,46	90	41,4	0,72	64,8	29,808	71,327
Освещение			23,8	0,8	0,95	0,33	19,04	6,2832	0,9	17,136	5,6549	18,045
Итого по цеху			143,8				109,04	47,683		81,936	35,463	89,372
.....			....	...	...	...	...	...	...	...	..	...
Итого по заводу			9800				6500	5800		5600	4900	7441

Таблица 2.3 - Расчет освещения

Наименование цеха	Рном,кВт	L,м	B, м	F,м ²	δ, Вт/м²	$К_{со}$	$Р_{ос}$, кВт
1. Цех полуфабрикатов	2950	530	35	18550	15	0,6	167
2. Лаборатория	750	100	30	3000	15	0,4	18
3. Заводоуправление	120	25	70	1750	16	0,85	23,8
4. Котельная	630	25	70	1750	16	0,9	25,2

Таблица 3.4 - Распределение нагрузки по ТП

Узлы питания	Максимальная расчетная мощность		
	$Р_м$, кВт	$Q_м$, кВАр	$S_м$, кВА
ТП1: 2×1000кВА			
4.Главный корпус (1/2 нагрузки)	784,57	917,47	1207,27
8. Очистные сооружения	34,64	45,03	57,0056
12. Градирня №2	96,5	97,533	137,355

3. Насосная №1	112,364	149,08	186,751
9. Инструментальный цех	45,38	58,65	74,79
Всего на стороне НН	1073,454	1267,763	1663,1716
Потери мощности в трансформаторах	40	200	
Всего на стороне ВН без учета компенсации	1113,5	1467,8	1663,2
Всего на стороне ВН с учетом компенсации	1113,5	387,8	1179,1
ТП2: 2×1000кВА			
4.Главный корпус (1/2 нагрузки)	784,57	917,47	1207,27
7. Сушильное отделение	307,228	357,753	471,876
Всего на стороне НН	1091,798	1275,223	1678,8

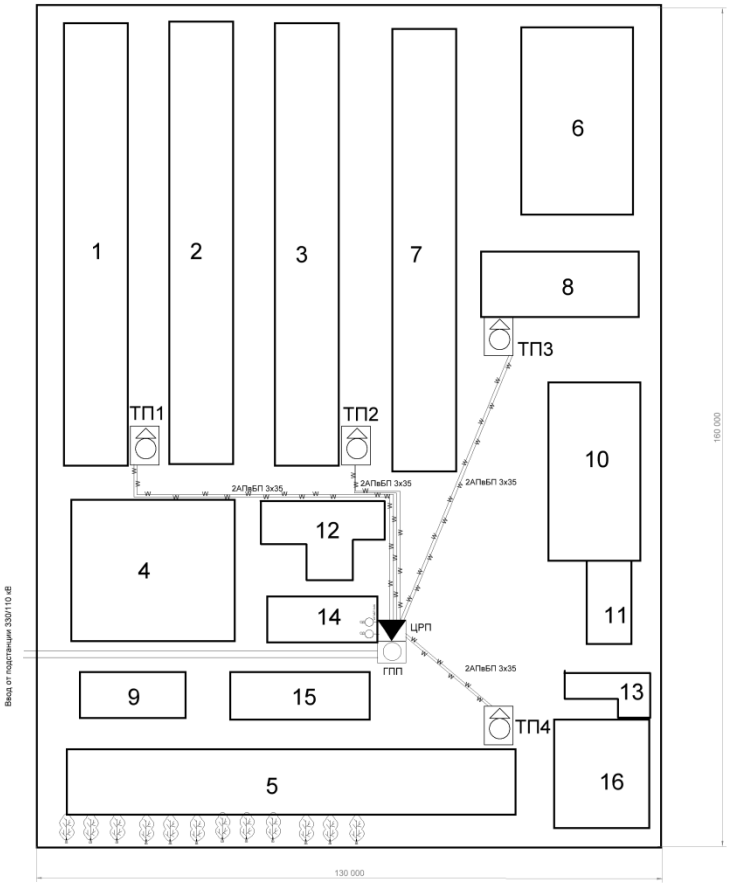
Окончание таблицы 3.4

Потери мощности в трансформаторах	40	200	
Всего на стороне ВН без учета компенсации	1131,8	1475,2	1859,4
Всего на стороне ВН с учетом компенсации	1131,8	395,2	1198,8
ТП3: 2×1000кВА			
5. Цех подготовки №1	225,288	296,945	373,237

.....

Итого по заводу на НН	6833,388	8326,1416	10784,5566
Итого по заводу на ВН	12873,388	10199,1825	17111,5566
Итого по заводу на ВН с учетом нагрузки 10 кВ	13629,388	10766,1825	18056,5566

Генеральный план завода



Номер цеха на плане	Наименование цеха	Руст, кВт
1.	Механический цех	1201
2.	Механосборочный цех	981
3.	Штамповочный цех	1421
4.	Заготовительный цех	691
5.	Инструментальный цех	741
6.	Учебные мастерские (проектируемый цех)	335
7.	Сборочный цех	551
8.	Экспериментальный цех	421
9.	Лаборатория	211
10.	Администрация	321
11.	Магазин	96
12.	Котельная	411
13.	Столовая	146
14.	Насосная	231
	Насосная 10 кВ	1305
15.	Склад материалов	66
16.	Склад готовой продукции	51

Рисунок 1 – Лист 1. Генеральный план завода

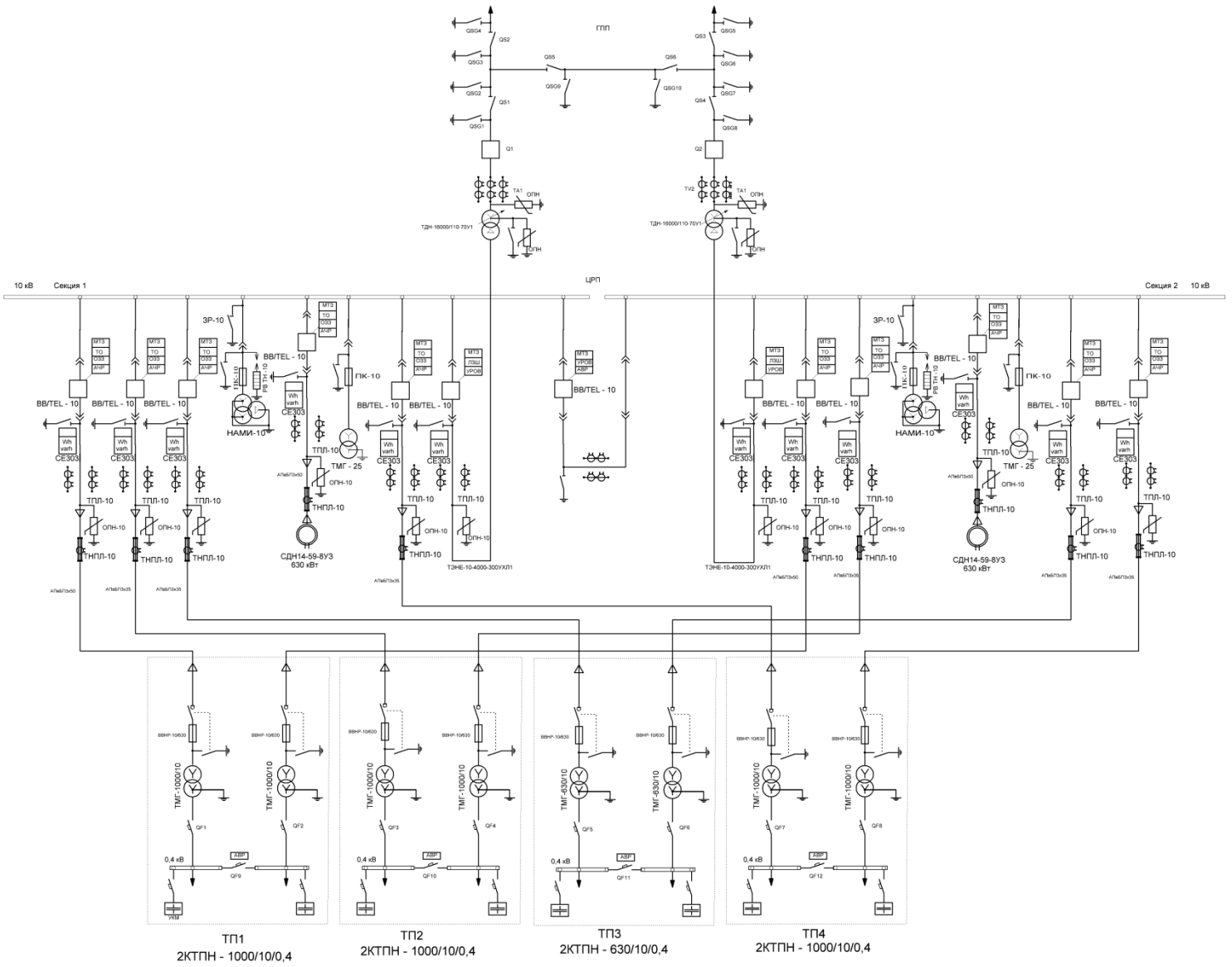


Рисунок 2 – Лист 2. Однолинейная схема электроснабжения завода

ЧЕРНОУСОВА Лилия Владимировна

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические рекомендации по выполнению курсового проекта для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Корректор Чагова О.Х.
Редактор Чагова О.Х.

Сдано в набор 21.07.2025 г.
Формат 60х84/16
Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,86
Заказ № 5158
Тираж 100 экз.

Оригинал-макет подготовлен
в Библиотечно-издательском центре СКГА
369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36