

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение группы цехов трубопрокатного завода»

Студент(ка)

В.А. Никитин

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

Д.А. Кретов

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Консультанты

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В бакалаврской работе представлен расчет системы электроснабжения трубопрокатного производства.

Для достижения цели, в работе выполнен расчет электрических нагрузок по цеху и по всему производству; по результатам расчета нагрузок выполнен выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП и трансформаторов распределительной сети; рассчитаны токи короткого замыкания в нескольких точках распределительной сети и выбрано коммутационное оборудование распределительной сети, а также кабели для подключения оборудования

Пояснительная записка бакалаврской работы выполнена на 56 листах формата А4, включает в себя 12 таблиц и 2 рисунка. Графическая часть представлена на шести листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Расчет электрических нагрузок	6
2 Расчет компенсации	13
3 Расчет потерь трансформаторов	17
4 Выбор силовых трансформаторов ГПП.....	20
5 Расчет токов короткого замыкания	24
6 Выбор месторасположения ГПП.....	32
7 Выбор силового электрооборудования.....	35
8 Выбор защитной коммутационной аппаратуры на 0,4 кВ.....	44
9 Расчет заземляющего устройства цеховой подстанции.....	49
Заключение	52
Список использованных источников	54
Приложение А	57
Приложение Б.....	61
Приложение В.....	63
Приложение Д.....	64

Введение

Энергетика нашей страны обеспечивает надежное электроснабжение народного хозяйства и бытовые нужды различных потребителей электрической энергии. Основными потребителями являются промышленные предприятия, сельское хозяйство, транспорт, коммунальное хозяйство. При этом более 70% всей электроэнергии расходуется на технологические процессы промышленных предприятий.

Электроэнергия применяется буквально во всех отраслях народного хозяйства, особенно для электропривода различных механизмов, а в последнее время и для различных электротехнологических установок, в первую очередь для электротермических и электросварочных установок, электролиза, электроискровой и электроразрушающей обработки материалов и др.

Большую группу электроприемников составляют электроприводы общепромышленных механизмов, применяемые во всех отраслях народного хозяйства: подъемно-транспортные машины, поточно-транспортные системы, компрессоры, насосы, вентиляторы.

Для обеспечения подачи электроэнергии в необходимом количестве и соответствующего качества от энергосистем промышленным объектам, установкам, устройствам и механизмам служат системы электроснабжения промышленных предприятий, состоящие из сетей напряжением до 1000 В и выше и трансформаторных, преобразовательных, и распределительных подстанций. Существуют следующие энергосистемы: Цеховая - обеспечивающая энергоснабжение потребителей, Заводская - служит для электроснабжения основных цехов и вспомогательных объектов, Городские или Районные - служат для электроснабжения предприятий, сельского хозяйства, коммунальных объектов.

Потребители электроэнергии имеют свои специфические особенности, чем и обусловлены определенные требования к их электроснабжению – надежность питания, качество электроэнергии, резервирование и защита

отдельных элементов и др. При проектировании, сооружении и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий, необходимо учитывать технико-экономические аспекты при осуществлении выбора напряжений, определении электрических нагрузок, выборе типажа, числа и мощности трансформаторных подстанций, видов их защиты, систем компенсации реактивной мощности и способов регулирования напряжений.

При выборе напряжений питающих линий, сети и количества трансформаторных подстанций, систем управления, защиты - должны учитываться усовершенствования технологического процесса, роста мощностей при номинальном напряжении.

Целью бакалаврской работы является проектирование системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Для выполнения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить расчет электрических нагрузок;
2. Выполнить выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ГПП и трансформаторов распределительной сети;
3. Выбрать коммутационное оборудование распределительной сети, а так же кабельно-проводниковую продукцию.

В результате выполнения ВКР необходимо спроектировать систему электроснабжения отвечающую всем современным требованиям и нормам.

1 Расчет электрических нагрузок

1.1 Общие сведения

Определение расчетных нагрузок промышленных предприятий базируется на следующих положениях:

а) большинство механизмов работают с переменной нагрузкой и электрические двигатели этих механизмов, выбранные по наиболее тяжелым режимам, значительную часть времени оказываются незагруженными.

б) не все электрические приемники включены одновременно и постоянно. Время их работы и остановки зависит от технологического режима производства.

в) в отдельные моменты времени нагрузка может превышать среднюю величину мощности за счет изменения технологического процесса. Возникает необходимость определения максимально возможного значения потребляемой мощности в течение какого-то периода времени. Эту мощность называют максимальной.

г) при включении крупных осветительных приемников, так же при запуске асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, происходит увеличение потребления мощности над средним и минимальным значениями.

Значения мощности длительностью несколько секунд называют типовыми.

При расчете электрических установок, не всегда есть график нагрузок и, поэтому, прибегают к расчетным коэффициентам. С их помощью можно определить основные параметры графика нагрузки.

Такие расчетные коэффициенты вычислены по экспериментальным работам изучения характера нагрузок на предприятиях.

Расчет электрических нагрузок необходим при выборе количества и мощностей трансформаторов на трансформаторных подстанциях. Проверка токоведущих частей по нагреву и потерям напряжения для расчета колебаний напряжений, для правильного выбора защитных устройств и

компенсирующих устройств. Для вычисления расчетных нагрузок в узлах электрической сети до 1000 В необходимо определить следующие величины:

а) суммарные, номинальные, активные и реактивные мощности силовых электроприемников по отдельным группам.

б) групповые коэффициенты использования и суммарные средние силовые нагрузки (активные и реактивные) за наиболее загруженную смену.

в) эффективное число электроприемников $n_{эф}$, коэффициент максимума K_m , максимальную активную мощность P_p , реактивную Q_p и полную S_p мощности по отдельным группам.

г) расчетную мощность осветительных нагрузок.

д) максимальные значения активной P_p , реактивной Q_p , полной S_p мощности по всей подстанции, где n - число электрических приемников.

При определении электрических нагрузок групп электрических приемников расчетной величиной является средняя мощность наиболее нагруженной смены.

Средняя активная или реактивная мощность за наиболее загруженную смену определяется по расходу электрической энергии. Согласно ПУЭ за расчетную активную мощность принята мощность получаемого минимума, который является расчетной величиной для выбора всех элементов электроснабжения по нагреву проводников, трансформаторов и аппаратуры. Расчетная активная мощность P_p соответствует такой длительной неизменной нагрузке током I_p , которая эквивалентна ожидаемой изменяемой нагрузке по наиболее тяжелому тепловому действию, максимальной температуре или тепловому износу кабеля, либо трансформатора.

Расчет электрических нагрузок будем производить методом упорядоченных диаграмм. Сначала выполним выбор и расстановку оборудования в сушильном цехе. Далее производим разбивку оборудования

по распределительным шкафам и определяем количество приемников в каждом распределительном шкафу.

1.2 Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм

Основной параметр для расчета нагрузок при проектировании новых установок - коэффициент использования, величина которого зависит от режима эксплуатации всей установки. Коэффициентом использования за наиболее загруженную смену одного электроприемника K_{II} или группы электрических приемников - называется отношение средней активной мощности одного электрического приемника (или группы) к номинальной:

$$K_{II} = \frac{P_{CM}}{P_{НОМ}} \quad (1.1)$$

где P_{CM} - средняя мощность подгруппы за наиболее нагруженную смену, в кВт.

Указания по проектированию электроснабжения промышленных предприятий рекомендует определение нагрузок для расчета цеховых цепей и выбор трансформатора методом коэффициента использования и максимума.

Расчетные коэффициенты K_{II} и K_P получены в результате упорядочения диаграмм нагрузки по данным обследования ряда отраслей промышленности.

Расчетные нагрузки (получасовые максимумы активной нагрузки) на всех ступенях распределительных и питающих сетей, включая трансформаторы и преобразователи, определяются по формуле:

$$P_P = K_P \cdot P_{CM} = K_{II} \cdot K_P \cdot P_{УСТ} \quad (1.2)$$

где P_{CM} - средняя мощность электроприемников за наиболее загруженную смену.

P_{VCT} - суммарная номинальная активная мощность рабочих приемников, кВт.

K_H - групповой коэффициент использования активной мощности.

K_p - определяется по таблице, в зависимости от величины группового коэффициента использования и эффективного числа группы электроприемников.

Эффективным числом группы электроприемников $n_{\text{эф}}$ называют число, однородное по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которая обуславливает ту же величину расчетного максимума нагрузки, что и группы различные по мощности и режиму работы электроприемников:

$$n_{\text{эф}} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i \cdot P_{\text{НОМ}}^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}}^2} \quad (1.3)$$

В группе из пяти и более электроприемников эффективное число допускается считать равным тактическому значению m , при величине отношения:

$$m = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} \quad (1.4)$$

где P_{max} и P_{min} - номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников в группе.

В группе с $m > 3$ и $K_H \geq 0,2$ $n_{\text{эф}}$ рекомендуется определять по формуле:

$$n_{\text{ЭФ}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}}}{P_{\text{max}}} \quad (1.5)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}}$ - суммарная номинальная мощность всех электроприемников в группе, кВт.

P_{max} - наибольший по мощности электроприемник данной группы, кВт.

Максимальные расчетные мощности определяются следующим образом:

Активная мощность рассчитывается по следующей формуле:

$$P_P = K_P \cdot P_{\text{ПП}} \quad (1.6)$$

где $P_{\text{ПП}}$ - средняя мощность электроприемников за наиболее загруженную смену.

Реактивная мощность рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_P = 1,1 Q_{\text{ПП}} \quad \text{если } n \leq 10$$

$$Q_P = Q_{\text{СМ}} \quad \text{если } n \geq 10$$

Полная мощность рассчитывается по следующей формуле:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} \quad (1.7)$$

Расчетный ток определяем по следующей формуле:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (1.8)$$

Расчет, выполненный по цеху, приведен в приложении А1, по заводу - в приложении А2.

1.3 Расчет освещения по заводу

Расчет освещения выполняем методом удельной мощности. Определим расчетную мощность для каждого цеха по следующей формуле:

$$P_P = P_{уд} \cdot S \cdot K_C = 20 \cdot 1440 \cdot 1,15 = 33120 \text{ Вт} = 33,120 \text{ кВт} \quad (1.9)$$

где $P_{уд} = 12 \div 20 \text{ Вт/м}^2$ - удельная мощность

S - площадь цеха

K_C - коэффициент выбирается в зависимости от типа светильника

Для люминесцентных ламп ЛСП, ЖСП $K_C = 1,15$

Для натриевых ламп ЖСК $K_C = 1,25$

Для ламп накаливания НСП $K_C = 1,25$

1. Выбираем типы светильников для каждого цеха.

2. Определим высоту каждого цеха.

Высота цеха для чистых помещений – 10 метров.

Высота цеха для грязных помещений – 14 метров и выше.

3. Определяем минимальную освещенность в каждом цехе по стандартным значениям освещенности:

$$E_{\min} = 2,10,30,50,75,100,150,300 \text{ Лк}$$

4. Определяем удельную мощность в каждом цехе. $P_{уд} = 12 - 20 \text{ Вт/м}^2$

5. Определяем площадь каждого цеха.

6. Рассчитываем расчетную мощность по вышеуказанной формуле.

После того как определили расчетную мощность, считаем итоговую расчетную мощность по всем цехам по следующей формуле:

$$P_P = P_{уд} \cdot K_C = 257 \cdot 0,95 = 244,15 \text{ кВт} \quad (1.10)$$

где $P_{уд}$ - итоговая удельная мощность

$$K_c = 0,95$$

Все полученные расчетные данные сводим в приложение А3.

2 Расчет компенсации

2.1 Расчет компенсации со стороны низкого напряжения 0,4 кВ

Расчет компенсации начинаем с выбора силовых трансформаторов, который производится в соответствии со следующими данными:

Распределительное напряжение $U_H=6$ кВ

Первичное и вторичное напряжение $U_1/U_2 = 6/0,4$

Предполагаемая мощность трансформатора $S_T = 1000$ кВА

Коэффициент загрузки трансформатора $\beta = 0,7 \div 0,8$

Определим количество трансформаторов N по следующей формуле:

$$N_T = \frac{P_P}{\beta \cdot S_T} \quad (2.1)$$

Определим количество трансформаторов по заводу через максимальную расчетную мощность:

$$N_T = \frac{8546,55}{0,7 \cdot 1000} = 12 \text{ штук}$$

Определим количество трансформаторов по заводу через среднюю нагрузку за самую загруженную смену:

$$N_T = \frac{10011,68}{0,7 \cdot 1000} = 14 \text{ штук}$$

Разбивку нагрузки по цеховым трансформаторным подстанциям производим с учетом категории электроприемников и планировки цехов выполненных в графической части лист 1.

Рассмотрим два варианта разбивки нагрузки по трансформаторам приведенных в таблице 1.

Таблица 1 - Трансформаторы цеховых ТП

№Цеха	Наименование цеха	Коэффициент загрузки расчетный	Количество трансформаторов	Мощность трансформаторов
Первый вариант				
I,II	Цех обжига	0,81	2	1000
	Сырьевой цех			
III,V,VII	Ремонтно-механический цех	0,46	2	1000
	Электроцех			
	Цех пневмотранспорта			
IV	Клинкерное отделение	0,84	2	1000
VI,X	Компрессорная	0,57	2	1000
	Приготовительный цех			
VIII,IX	Цех 643	0,65	2	1600
	Склады сырья			
XI,XII	Насосная станция	0,54	2	1000
	Администр.-бытовой корпус			
XIII	Механический цех	0,77	4	1000
Второй вариант				
I,II	Цех обжига	0,81	2	1000
	Сырьевой цех			
III,V,VII, X,XII	Ремонтно-механический цех	0,8	2	1000
	Электроцех			
	Цех пневмотранспорта			
	Приготовительный цех			
	Администр.-бытовой корпус			
IV	Клинкерное отделение	0,84	2	1000
VI,XI	Компрессорная	0,77	2	1000
	Насосная станция			
VIII,IX	Цех 643	0,83	4	630
	Склады сырья			
XIII	Прокатный цех	0,77	4	1000

Расчетные коэффициенты загрузки трансформаторов определяются по формуле:

$$K_3 = \frac{\sum S_P}{N \cdot S_T} \quad (2.2)$$

где S_p – полная максимальная расчетная мощность цеха

N – количество трансформаторов в цехе

S_T – мощность трансформатора

Рассчитаем капитальные затраты по двум вариантам и сравним их.

Таблица 2 - Капитальные затраты по вариантам

Наименование оборудования	Стоимость единицы оборудования тыс. руб	Первый вариант		Второй вариант	
		Количество	Общая стоимость тыс. руб	Количество	Общая стоимость тыс. руб
ТП с трансформаторами ТМЗ 630	2660	-	-	4	10640
ТП с трансформаторами ТМЗ 1000	2875	14	40250	12	34500
ТП с трансформаторами ТМЗ 1600	6560	2	13120	-	-
Ячейка КРУ-2	218	14	3052	12	2616
Ячейка КРУ до 6 кВ с выключателем	265	2	530	-	-
Ячейка КРУ до 6 кВ с выключателем	78	-	-	4	312
Кабель ААБЛУ 3х95	176	1,66 км	292,2	0,16 км	28,16
Итого			57299,6		48462,4

Для дальнейших расчетов выбираем экономически целесообразный второй вариант (с наименьшими капитальными затратами).

Мощность, передаваемая через трансформаторы со стороны ГПП на распределительном напряжении:

$$Q_{HH} = \sqrt{(\beta_p \cdot N \cdot S_{HT})^2 - P_{CM}^2}$$

$$Q_{HH} = \sqrt{(0,81 \cdot 2 \cdot 1000 + 0,8 \cdot 2 \cdot 1000 + 0,84 \cdot 2 \cdot 1000 + 0,77 \cdot 2 \cdot 1000 + 0,75 \cdot 4 \cdot 630 + 0,77 \cdot 4 \cdot 1000)^2 - \sqrt{+0,77 \cdot 4 \cdot 630)^2 - 10011,68^2} = \sqrt{11410^2 - 10011,68^2} = 5473,06 \text{ кВАр} \quad (2.3)$$

Требуемая мощность компенсации для блока цехов:

$$Q_{KV} = P_{CM} (tg\phi_2 - tg\phi_1) = 10011,68 \cdot (0,75 - 0,2) = 5606,54 \text{ кВАр} \quad (2.4)$$

$$Q_{KV} = P_P (tg\phi_2 - tg\phi_1) = 8546,55 \cdot (0,75 - 0,2) = 4786,07 \text{ кВАр} \quad (2.5)$$

где $tg\phi_1$ - требуемый тангенс при $Cos\phi = 0,98 \Rightarrow tg\phi_1 = 0,2$

$tg\phi_2$ - расчетный тангенс

Компенсация реактивной мощности со стороны низкого напряжения не требуется.

2.2 Расчет компенсации со стороны высокого напряжения 6 кВ

Определим требуемую расчетную мощность компенсации для блока:

$$Q_{PKV} = P_P \cdot (tg\phi_2 - tg\phi_1) = 7507,43 \cdot (0,81 - 0,29) = 3318,28 \text{ кВАр} \quad (2.6)$$

$$Q_K = Q_{PKV} - Q_D = 3318,28 - 1890 = 1428,28 \text{ кВАр} \quad (2.7)$$

Определим мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{KV} = \frac{Q_K}{2} = \frac{1428,28}{2} = 714,14 \text{ кВАр} \quad (2.8)$$

Производим выбор компенсирующих устройств:

Для первой секции $Q_{KV} = 1 \times 450$ и 1×300 квар типа УК-6-450 и УК-6-300

Для второй секции $Q_{KV} = 1 \times 450$ и 1×300 кВАр типа УК-6-450 и УК-6-300

В расчетном режиме:

$tg\phi = Q_P / P_P = 2730,17 / 7507,43 = 0,36 \Rightarrow Cos\phi = 0,95$, что соответствует заданному от системы.

Мощность компенсации учитывается при расчете уточненных нагрузок

3 Расчет потерь трансформаторов

3.1 Выбор силовых трансформаторов ТП

Определяем расчетную мощность трансформатора по формуле:

$$S_{TP} \geq 0,7 \cdot S_p = 0,7 \cdot 579,83 = 405,88 \text{ МВА} \quad (3.1)$$

где S_p – полная расчетная мощность

Определяем расчетный коэффициент загрузки трансформаторов по формуле:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{TP}} = \frac{579,83}{2 \cdot 630} = 0,46 \quad (3.2)$$

где S_p - расчетная мощность трансформатора

n - количество трансформаторов

S_{TP} - мощность трансформатора

Определим расчетные коэффициенты загрузки трансформаторов через сменную мощность по формуле:

$$K_3 = \frac{S_{\text{ПР}}}{n \cdot S_{TP}} = \frac{617,79}{2 \cdot 630} = 0,49 \quad (3.3)$$

$$S_{\text{ПР}} = \sqrt{P_{\text{ПР}}^2 + Q_{\text{ПР}}^2} = \sqrt{507,63^2 + 352,11^2} = 617,79 \text{ кВА} \quad (3.4)$$

где $P_{\text{ПР}}$ – средняя активная нагрузка за самую нагруженную смену

$Q_{\text{ПР}}$ – средняя реактивная нагрузка за самую нагруженную смену

Для остальных ТП расчет аналогичный. По литературному источнику [5] выписываем исходные данные трансформаторов и заносим в таблицу 3. Данные для расчета электрических потерь смотри таблица 4.

Таблица 3 - Исходные данные трансформаторов

Тип трансформатора	S _{HT}	U _{вн}	U _{нн}	ΔP _{xx}	ΔP _{кз}	U _{кз} %	i _{xx} %
ТМЗ 630/6	630	6	0,4	2,3	8,5	5,5	3,2
ТМЗ 1000/6	1000	6	0,4	2,45	12,2	5,5	1,4

Таблица 4 - Исходные данные для расчета электрических потерь в трансформаторе

№ ТП	Наименование цеха	Тип трансформатора	S _p	S _{np}	Kз(р)	Kз(np)
ТП1	I Цех обжига	ТМЗ 2*1000	603,32	656,25	0,81	0,86
	II Сырьевой цех		1026,94	1065,78		
ТП2	III Цех ремонтно-механич.	ТМЗ 2*1000	264,5	280,61	0,8	0,88
	V Электроцех		152,19	151,19		
	VII Цех пневмотранспорта		519,96	616,93		
	X Цех приготовительный		544,94	563,33		
	XII Администр. комплекс		129,83	150,00		
ТП3	IV Клинкерное отделение	ТМЗ 2*1000	1689,30	1837,5	0,84	0,91
ТП4	VI Компрессорная станция	ТМЗ 2*1000	595,48	599,99	0,77	0,77
	XI Насосная станция		952,77	959,99		
ТП5; ТП6	VIII Цех 643	ТМЗ 4*630	579,83	617,79	0,83	0,84
	IX Склады сырья		1513,54	1694,11		

3.2 Расчет потерь трансформаторов

Определим реактивные потери трансформатора в режиме холостого хода по следующей формуле:

$$\Delta Q_{xx} = \frac{i_{xx}}{100} \cdot S_{HT} = \frac{3,2}{100} \cdot 630 = 20,16 \text{ квар} \quad (3-5)$$

Определим реактивные потери трансформатора в режиме короткого замыкания по следующей формуле:

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{HT} = \frac{5,5}{100} \cdot 630 = 34,65 \text{ квар} \quad (3-6)$$

Определим активные промежуточные потери трансформатора с учетом нагрузки по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{ПП}} = N \cdot (\Delta P_{\text{XX}} + K_{\text{ПП}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (2,45 + 0,86^2 \cdot 12,2) = 22,946 \text{ кВт} \quad (3.7)$$

Определим реактивные промежуточные потери трансформатора с учетом нагрузки по следующей формуле:

$$\Delta Q_{\text{ПП}} = N \cdot (\Delta Q_{\text{XX}} + K_{\text{ПП}}^2 \cdot Q_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (14 + 0,86^2 \cdot 55) = 109,35 \text{ кВАр} \quad (3.8)$$

Определим активные расчетные потери трансформатора с учетом нагрузки по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{Р}} = N \cdot (\Delta P_{\text{XX}} + K_{\text{ЗР}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (2,45 + 0,81^2 \cdot 12,2) = 20,91 \text{ кВт} \quad (3.9)$$

Определим реактивные расчетные потери трансформатора с учетом нагрузки по следующей формуле:

$$\Delta Q_{\text{Р}} = N \cdot (\Delta Q_{\text{XX}} + K_{\text{ЗР}}^2 \cdot Q_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (14 + 0,81^2 \cdot 55) = 100,17 \text{ кВАр} \quad (3.10)$$

Все полученные значения сводим в таблицу 5.

Таблица 5 - Потери трансформаторов

Р _п	Q _п	Р _р	Q _р
22,94	109,35	20,91	100,17
23,79	113,18	20,51	98,40
25,10	119,09	22,11	105,61
19,36	93,22	19,36	93,22
33,19	178,43	28,32	158,60

4 Выбор силовых трансформаторов ГПП

Намечаем два варианта электроснабжения, для этого произведем выбор трансформаторов.

Определим расчетную мощность трансформатора по формуле (3.1):

$$S_{TP} \geq 0,7 \cdot S_p = 0,7 \cdot 7988,45 = 5591,91 \text{ МВА}$$

По полученному значению мощности по литературному источнику [7] выбираем два трансформатора, данные заносим в таблицу 6.

Таблица 6 - Расчетные данные трансформаторов

Наименование показателей	I вариант	II вариант
Мощность трансформатора S_{TP}	ТМН-6300	ТМН-4000
Напряжение U_{BH} (кВ)	110	110
Напряжение U_{HH} (кВ)	6	6
Потери в режиме хх (кВт)	9,4	6,7
Потери в режиме кз (кВт)	46,5	33,5
Ток холостого хода I_{XX} (%)	0,9	1
Напряжение короткого замыкания U_{K3} (%)	7,5	7,5
Масса оборудования (т)	19,6	16,28
Площадь (m^2)	200	200
Стоимость оборудования (тыс. руб)	1551	1077
Стоимость монтажных работ (тыс. руб)	177	171
Стоимость строительной части (тыс. руб)	372	372
Полная стоимость (тыс. руб)	2100	1620

Определим расчетные коэффициенты загрузки трансформаторов по формуле (3.2):

Для первого варианта:

$$K_{31} = \frac{7988,45}{2 \cdot 6300} = 0,63$$

Для второго варианта:

$$K_{32} = \frac{7988,45}{2 \cdot 4000} = 0,99$$

Определим расчетные коэффициенты загрузки трансформаторов через сменную мощность по формуле (3.3):

Для первого варианта:

$$K_{31} = \frac{7988,45}{2 \cdot 6300} = 0,63$$

$$S_{IP} = \sqrt{7507,43^2 + 2892,10^2} = 7988,45 \text{ кВА}$$

Для второго варианта:

$$K_{32} = \frac{7988,45}{2 \cdot 4000} = 0,99$$

Общее время максимальных потерь для узлов:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4355}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2742,23 \text{ час} \quad (4.1)$$

Расчет потерь электрической энергии в трансформаторах производим по следующей формуле:

$$\Delta W_T = n \cdot \left[\Delta P_{XX} \cdot T_{ВКЛ} + \Delta P_{КЗ} \left(\frac{S_P}{n \cdot S_{HT}} \right)^2 \cdot \tau \right] \text{ Мвт} \cdot \text{ч} \quad (4.2)$$

где n – количество трансформаторов.

Для первого варианта:

$$\Delta W_{T1} = 2 \cdot \left[9,4 \cdot 8760 + 46,5 \cdot \left(\frac{7988,45}{2 \cdot 6300} \right)^2 \cdot 2742,23 \right] = 265214,98 \text{ Мвт} \cdot \text{ч}$$

Для второго варианта:

$$\Delta W_{T2} = 2 \cdot \left[6,7 \cdot 8760 + 33,5 \cdot \left(\frac{7988,45}{2 \cdot 4000} \right)^2 \cdot 2742,23 \right] = 300583,27 \text{ Мвт} \cdot \text{ч}$$

Стоимость потерянной электрической энергии:

$$C_{ПЭ} = \beta \cdot \Delta W_T \quad (4.3)$$

где $\beta = 3,95$ руб / кВт·ч

Для первого варианта:

$$C_{ПЭ1} = 3,95 \cdot 265214,98 = 1047599,17 \text{ тыс. руб}$$

Для второго варианта:

$$C_{ПЭ2} = 3,95 \cdot 300583,27 = 1187303,91 \text{ тыс. руб}$$

Стоимость отчислений на амортизацию, ремонт и обслуживание:

$$C_{аро} = \frac{P_{аро} \%}{100} \cdot K_{\Sigma} \text{ тыс. руб} \quad (4.4)$$

где $P_{аро} \% = 15\%$ - отчисления на эксплуатационные мероприятия

Для первого варианта:

$$C_{аро1} = \frac{15}{100} \cdot 2100 = 315 \text{ тыс. руб}$$

Для второго варианта:

$$C_{аро2} = \frac{15}{100} \cdot 1620 = 243 \text{ тыс. руб}$$

Приведенные затраты:

$$Z = E_H \cdot K_{\Sigma} + C_{ПЭ} + C_{аро} \quad (4-5)$$

где $E_H = 0,125$ – нормативный коэффициент срока эксплуатации.

K_{Σ} - полная стоимость трансформатора из таблицы 10.

Для первого варианта:

$$Z_{IВAP} = 0,125 \cdot 2100 + 1047599,17 + 315 = 1048176,67 \text{ тыс. руб}$$

Для второго варианта:

$$Z_{IIВAP} = 0,125 \cdot 1620 + 1187303,91 + 243 = 1187749,41 \text{ тыс. руб}$$

Выбираю вариант с меньшими приведенными затратами, т.е. Вариант I.

5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ необходимо проводить для оценки выбора оптимального оборудования распределительной сети, а так же для расчета уставок релейной защиты и автоматики.

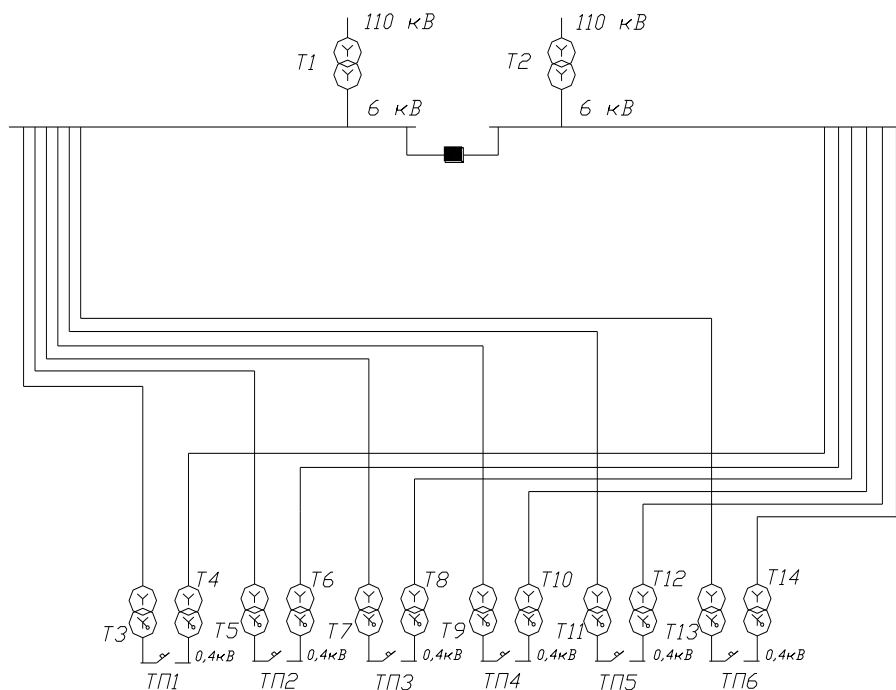


Рисунок 1 – Электрическая схема распределительной сети

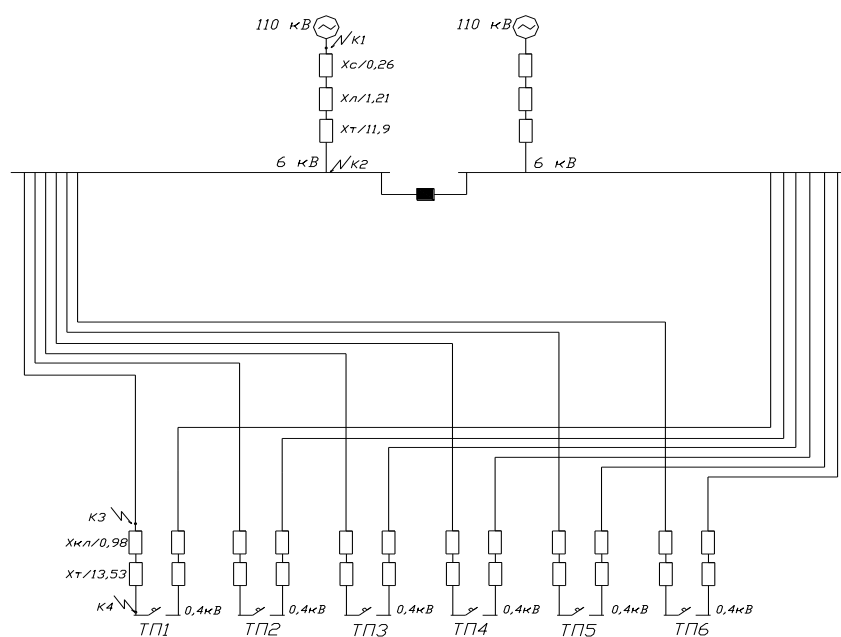


Рисунок 2 – Расчетная схема распределительной сети

5.1 Расчет токов короткого замыкания ГПП

5.1.1 Для расчета токов короткого замыкания составляем схему электроснабжения блока цехов (рисунок 1) по которой составим схему замещения (рисунок 2) и по этой схеме будем производить дальнейший расчет в относительных единицах.

Исходные данные для расчета токов КЗ:

$S_{\delta}=1000$ МВА - базисная мощность;

$S_{кз}=3800$ МВА - мощность короткого замыкания;

$L=40$ км - длина воздушной линии

Расчет производим для двух точек короткого замыкания К1 и К2.

5.1.2 Определим сопротивление системы по следующей формуле:

$$X_c = X_{\Gamma} = \frac{S_{\delta}}{S_{кз}} = \frac{1000}{3800} = 0,26. \quad (5.1)$$

5.1.3 Определим сопротивление линии по следующей формуле:

$$X_{л} = X_2 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}, \quad (5.2)$$

где l - длина линии в км.

$$X_0 = 0,40 \text{ н / км}$$

$$X_2 = 0,4 \cdot 40 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,21$$

5.1.4 Определим сопротивление трансформаторов по следующей формуле:

$$X_T = X_3 = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}, \quad (5.3)$$

$$X_T = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 11,9$$

5.1.5 Определим результирующие сопротивления для точек короткого замыкания К1 и К2:

$$X_{P1} = X_C + X_{JL} = 0,26 + 1,21 = 1,47; \quad (5.4)$$

$$X_{P2} = X_{P1} + X_T = 1,47 + 11,9 = 13,37. \quad (5.5)$$

Определив сопротивления и выполнив преобразования схемы замещения определим токи:

5.1.6 Определим базисный ток ступеней короткого замыкания по следующей формуле:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{CP}} \text{ кА}. \quad (5.6)$$

Для точки К1:

$$I_{B1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

Для точки К2:

$$I_{B2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,6 \text{ кА}$$

5.1.7 Определим начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания по следующей формуле:

$$I''_{II} = \frac{I_B}{X_P} \text{ кА}, \quad (5.7)$$

Для точки К1:

$$I''_{II1} = \frac{5,02}{1,47} = 3,415 \text{ кА}$$

Для точки К2:

$$I''_{II2} = \frac{91,6}{13,37} = 6,85 \text{ кА}$$

5.1.8 Определим значение мгновенного амплитудного значения ударного тока по следующей формуле:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I''_{II} \text{ кА} \quad (5.8)$$

Для точки К1:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,415 = 6,76 \text{ кА}$$

Для точки К2:

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 6,85 = 13,56 \text{ кА}$$

5.1.9 Определим значение действующего амплитудного значения ударного тока по следующей формуле:

Для точки К1:

$$I_{y1} = \sqrt{I_K^2 + [\sqrt{2} \cdot I_K (K_y - 1)]^2} = \sqrt{3,415^2 + [\sqrt{2} \cdot 3,415 \cdot (1,4 - 1)]^2} = 3,92 \text{ кА}, \quad (5.9)$$

Для точки К2:

$$I_{y2} = \sqrt{I_K^2 + [\sqrt{2} \cdot I_K (K_y - 1)]^2} = \sqrt{6,85^2 + [\sqrt{2} \cdot 6,85 \cdot (1,4 - 1)]^2} = 7,87 \text{ кА}. \quad (5.10)$$

5.2 Расчет токов короткого замыкания со стороны высокого напряжения ТП-6, 6 кВ

Расчет токов короткого замыкания выполним для трансформаторной подстанции ТП-6 со стороны высокого напряжения для точки К-3.

5.2.1 Определим сопротивления кабельной линии по следующей формуле:

$$X_{кл} = X_K \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,0062 \cdot \frac{1000}{6,3} = 0,98 \quad (5.11)$$

$$R_{кл} = R_K \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0,0243 \cdot \frac{1000}{6,3} = 3,857 \quad (5.12)$$

где L - длина кабельной линии в км определяется по генеральному плану предприятия

5.2.2 Определим результирующие сопротивления для точки короткого замыкания:

$$X_{P3} = X_{P4} = X_{P2} + X_{KL} = 13.37 + 0,98 = 14.35 \quad (5.13)$$

$$R_{P3} = R_{P4} = R_{KL} = 1,018$$

Определив сопротивления и выполнив преобразования схемы замещения, определим токи:

5.2.3 Определим базисный ток ступеней короткого замыкания по следующей формуле:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{CP}} \text{ кА} \quad (5.14)$$

$$I_{B3} = I_{B4} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91.6 \text{ кА}$$

5.2.4 Определим начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания по следующей формуле:

$$I''_{II} = \frac{I_B}{X_P} \text{ кА} \quad (5.15)$$

$$I''_{II3} = I''_{II4} = \frac{91.6}{14.35} = 6.38 \text{ кА}$$

5.2.5 Определим значение мгновенного амплитудного значения ударного тока по следующей формуле:

$$i_V = \sqrt{2} \cdot K_V \cdot I''_{II3} \text{ кА} \quad (5.16)$$

$$i_{y3} = i_{y4} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 6,38 = 12,63 \text{ кА}$$

5.2.6 Определим значение действующего амплитудного значения ударного тока по следующей формуле:

$$\begin{aligned} I_{y3} = I_{y4} &= \sqrt{I_K^2 + \left[\sqrt{2} \cdot I_K (K_V - 1) \right]^2} = \\ &= \sqrt{6,38^2 + \left[\sqrt{2} \cdot 6,38 \cdot (1,4 - 1) \right]^2} = 7,33 \text{ кА} \end{aligned} \quad (5.17)$$

5.3 Расчет токов короткого замыкания со стороны низкого напряжения ТП-6 0,4 кВ

Расчет токов короткого замыкания выполним для трансформаторной подстанции ТП-6 со стороны низкого напряжения для точки К-4. Расчет выполняем в именованных единицах.

5.3.1 Определим сопротивления кабельной линии по следующей формуле:

$$X_3^* = X_{P3} \cdot \frac{U_{\sigma}^2}{S_{\sigma}} = 14,35 \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 2,296 \text{ мОм} \quad (5.18)$$

$$R_3^* = R_{P3} \cdot \frac{U_{\sigma}^2}{S_{\sigma}} = 1,018 \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 0,162 \text{ мОм} \quad (5.19)$$

5.3.2 Определим сопротивление трансформаторов в относительных единицах:

$$r_{*T} = \frac{\Delta P_{K3}}{S_{HT}} = \frac{8,5}{630} = 0,0134 \quad (5.20)$$

$$x_{*T} = \sqrt{\left(\frac{U_{K3}}{100} \right)^2 - r_{*T}^2} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \right)^2 - 0,0134^2} = 0,0533 \quad (5.21)$$

5.3.3 Определим сопротивление трансформаторов в именованных единицах:

$$R_T^* = r_{*T} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{HT}} = 0,0134 \cdot \frac{400^2}{630} = 3,403 \text{ мОм} \quad (5.22)$$

$$X_T^* = x_{*T} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{HT}} = 0,0533 \cdot \frac{400^2}{630} = 13,536 \text{ мОм} \quad (5.23)$$

5.3.4 Определим результирующие сопротивления для точки короткого замыкания:

$$X_{P4} = X_3^* + X_T^* = 2,296 + 13,536 = 15,832 \text{ мОм} \quad (5.24)$$

$$R_{P4} = R_3^* + R_T^* + R_K^* = 0,162 + 3,403 + 15 = 18,565 \text{ мОм} \quad (5.25)$$

$$Z = \sqrt{X_{P4}^2 + R_{P4}^2} = \sqrt{15,832^2 + 18,565^2} = 24,39 \text{ мОм} \quad (5.26)$$

5.3.5 Определим начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания по следующей формуле:

$$I'' = \frac{U_B}{\sqrt{3} \cdot Z} \text{ кА} \quad (5.27)$$

$$I'' = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 24,39} = 9,47 \text{ кА}$$

5.3.6 Определим значение мгновенного амплитудного значения ударного тока по следующей формуле:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I'' \text{ кА} \quad (5.28)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 9,47 = 18,75 \text{ кА}$$

5.3.7 Определим значение действующего амплитудного значения ударного тока по следующей формуле:

$$I_y = I'' \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2} = 9,47 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,4 - 1)^2} = 10,88 \text{ кА} \quad (5.29)$$

6 Выбор месторасположения ГПП

Для выбора месторасположения ГПП выполняется картограмма электрических нагрузок. По генеральному плану для всех цехов определяем координаты нагрузки X и Y. Принимаем за оси координат границы территории.

Таблица 7 - Координаты нагрузки X, Y

Наименование цеха	Координата x (мм)	Координата y (мм)
Цех обжига	243	264
Сырьевой цех	76	264
Ремонтно-механический цех	485	487
Клинкерное отделение	426	264
Электроцех	372	481
Компрессорные	221	382
Цех пневмотранспорта	227	488
Цех 643	76	147
Склады сырья	186	100
Цех приготовительный	76	382
Насосные станции	372	394
Административно бытовой корпус	557	344
Прокатный цех	339	109

Определяем радиусы окружности нагрузки для активной и реактивной мощности по следующим формулам:

$$R_{ip} = \frac{P_i}{\sqrt{\pi \cdot m}} \quad (6.1)$$

$$R_{iq} = \frac{Q_i}{\sqrt{\pi \cdot m}} \quad (6.2)$$

где P_i - активная мощность расчетная

Q_i - реактивная мощность расчетная

m - масштаб

Таблица 8 - Радиусы окружности нагрузки активной и реактивной мощности

Наименование цеха	R_{ip} (мм)	R_{iq} (мм)
Цех обжига	10	11
Сырьевой цех	17	19
Ремонтно-механический цех	3	6
Клинкерное отделение	29	31
Электроцех	2	4
Компрессорные	10	11
Цех пневмотранспорта	10	9
Цех 643	8	5
Склады сырья	29	24
Цех приготовительный	9	10
Насосные станции	16	18
Административно бытовой корпус	2	3
Прокатный цех	57	52

По найденным координатам x и y определяем центр электрических нагрузок ГПП по следующим формулам:

$$x_{цэн} = \frac{\sum(P_i \cdot x_i)}{\sum P_i} = \frac{2442,24}{8302,40} = 0,2941 \quad m = 294 \text{ мм} \quad (6.3)$$

$$y_{цэн} = \frac{\sum(P_i \cdot y_i)}{\sum P_i} = \frac{1857,25}{8302,40} = 0,2237 \quad m = 224 \text{ мм} \quad (6.4)$$

После определения центра электрических нагрузок с учетом розы ветров выбираем окончательное место расположения ГПП. Так как координаты ГПП получились в зоне, где находятся загрязненные цеха с агрессивной средой, то ГПП переносим в чистое место.

Уточненные координаты ГПП принимаю:

$$x_{цэн} = 483 \text{ мм}, \quad y_{цэн} = 83 \text{ мм}$$

7 Выбор силового электрооборудования

7.1 Выбор кабеля от ГПП к ТП

Выбор кабеля будем производить от главной понизительной подстанции к цеховым трансформаторным подстанциям. Кабель выбирается по следующим условиям:

1. По длительно допустимому току.
2. По экономической плотности тока.
3. По термической устойчивости.
4. Проверке по потере напряжения.

Выполним расчет выбора высоковольтного кабеля от ГПП к первой трансформаторной подстанции ТП-1.

7.1.1 Выбор кабеля по длительно допустимому току

Определяем максимальный ток послеаварийного режима:

$$I_{PA} = \frac{S_P}{3 \cdot U_{CP}} \text{ A} \quad (7.1)$$

Максимальный расчетный ток нормального режима:

$$I_P = \frac{I_{PA}}{2} = \frac{93,41}{2} = 46,7 \text{ A} \quad (7.2)$$

Условия выбора кабеля по допустимому току:

$$I_{доп} \geq \frac{I_P}{K_t \cdot K_{II} \cdot K_{ПВ}} = \frac{46,7}{0,84 \cdot 0,85 \cdot 1} = 65,4 \text{ A} \quad (7.3)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{PA}}{K_t \cdot K_{II} \cdot K_{ПВ} \cdot K^*} = \frac{93,41}{0,84 \cdot 0,85 \cdot 1,1,3} = 100,63 \text{ А} \quad (7.4)$$

где K_t - температурный коэффициент, учитывает условия окружающей среды по отношению к расчетной

K_{II} - поправочный коэффициент на количество кабелей прокладываемых в одной траншее одновременно

$K_{ПВ}$ - коэффициент продолжительности включения, при продолжительном нагрузочном режиме работы, который характерен для всего высоковольтного оборудования.

Выбираем кабель марки ААБЛУ 6-(3×35) $I_{\text{доп}} = 105 \text{ А}$

7.1.2 Выбор кабеля по экономической плотности тока

Расчетное сечение:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_P}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{46,7}{1,4} = 33,35 \text{ мм}^2 \quad (7.5)$$

где $j_{\text{ЭК}} = 1,4$ – экономическая плотность тока, зависящая от числа часов работы в году T_{max}

Выбираем кабель марки ААБЛУ 6-(3×35) $I_{\text{доп}} = 105 \text{ А}$

7.1.3 Выбор кабеля по термической устойчивости

Действительное время отключения кабельной линии:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{г}} + t_{\text{р.з.}} = 0,115 + 1,2 = 1,315 \quad (7.6)$$

где $t_{\text{г}} = 0,115 \text{ с}$ – собственное время отключения выключателя

$t_{\text{р.з.}} = 1,2 \text{ с}$ – время релейной защиты

Определяется тепловой импульс тока КЗ:

$$B_K = I_{\text{НО}}^2 \cdot (t_{\text{д}} + T_a) = 6,85^2 \cdot (1,315 + 0,01) = 62,17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (7.7)$$

где T_a – время затухания апериодической составляющей тока

Минимальное сечение:

$$F_{\text{min}} = \frac{B_K}{C_T} = \frac{\sqrt{62,17 \cdot 10^6}}{90} = 87,6 \text{ мм}^2 \quad (7.8)$$

Выбираем кабель марки ААБЛУ 6 – (3×95) $I_{\text{доп}} = 200 \text{ А}$

7.1.4 Проверка кабеля по потере напряжения

Определяем сопротивление кабеля:

$$R_K = \frac{L \cdot R_0}{n} = \frac{0,16 \cdot 0,326}{1} = 0,052 \text{ Ом} \quad (7.9)$$

$$X_K = \frac{L \cdot X_0}{n} = \frac{0,16 \cdot 0,083}{1} = 0,013 \text{ Ом} \quad (7.10)$$

где L – длина кабельной линии, км;

R_0 и X_0 – удельные сопротивления кабеля.

Потеря напряжения на кабеле составит:

$$\Delta U_K = \frac{P_P \cdot R_K + Q_P \cdot X_K}{U_H} = \frac{1099,86 \cdot 0,052 + 1186,6 \cdot 0,013}{6} = 12,1 \text{ В} \quad (7.11)$$

Если потеря напряжения в процентах не более 5% кабель проходит по потере напряжения:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U_K}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% \leq 5\%$$

(7.

12)

$$\Delta U \% = \frac{12,1}{6000} \cdot 100\% = 0,20 \leq 5\%$$

Выбор кабеля для остальных трансформаторных подстанций выполняется аналогично, и все полученные расчетные значения заносим в приложение В.

7.2 Выбор высоковольтного выключателя

Таблица 9 - Исходные данные высоковольтного выключателя

Условие выбора	Расчетные исходные данные	Исходные данные выключателя
$U_{BH} \geq U_H$	6 кВ	6 кВ
$I_{BH} \geq I_{P(A)}$	93,41 А	630 А
$I_{ПРС} \geq I''$	6,85 кА	25 кА
$i_{ПРС} \geq i_{уд}$	13,56 кА	25 кА

Выбираем ячейку КРУ-2 с выключателем ВВТЭ-6/630У2. Аналогично выполняем выбор высоковольтного выключателя и ячеек к трансформаторам остальных трансформаторных подстанций. Выбор производили по литературному источнику [7].

Таблица 10 - Технические данные выключателя

Тип	Номинальное напряжение кВ	Номинальное рабочее напряжение кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, А	Нормированное содержание аperiodической составляющей	Предельный сквозной ток, кА		Номинальный ток включения, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Полное время отключения, с
						Наибольший пик	Начальное действующее	Наибольший пик	Начальное действующее		
ВВТЭ-6/630У2	6	12	630	10	60	25	10	25	10	10/3	0,05

Таблица 11 - Выбор высоковольтных выключателей и ячеек к ТП

№ ТП	Тип выключателя	Марка ячейки
ТП-1	ВВТЭ-6/630У2	КРУ-2
ТП-2	ВВТЭ-6/630У2	КРУ-2
ТП-3	ВВТЭ-6/630У2	КРУ-2
ТП-4	ВВТЭ-6/630У2	КРУ-2
ТП-5	ВВТЭ-6/630У2	КРУ-2
ТП-6	ВВТЭ-6/630У2	КРУ-2

7.3 Расчет шин напряжением на 6 кВ и 0,4 кВ

Таблица 12 - Исходные данные для расчета шин 6 кВ и 0,4 кВ

Напряжение (кВ)	6	0,4
$I_{P(A)}$ (А)	461,76	880,95
t_d (с)	1,21	0,3
l (мм)	1000	540
a (мм)	250	150
t_0 ($^{\circ}$ С)	18	18
$i_{уд}$ (кА)	13,56	18,75
I'' (кА)	6,85	9,47
T_a (с)	0,01	0,01

7.3.1 Расчет шин 6 кВ к ГПП

Условие выбора шин по длительно допустимому току:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{P(A)}}{K_t \cdot K_{II} \cdot K_p} = \frac{461,76}{1,074 \cdot 1 \cdot 0,92} = 467,33 \text{ А} \quad (7.13)$$

Принимаем шины однополосные, алюминиевые прямоугольного сечения $A = 40 \times 5 \text{ } I_{доп} = 540 \text{ А}$

Определим усилие под воздействием токов короткого замыкания:

$$F = 1,76 \cdot K_{\phi} \cdot i_v^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} = 1,76 \cdot 1(13,56 \cdot 10^6)^2 \cdot \frac{1000}{250} \cdot 10^{-7} = 129,45 \text{ H} \quad (7.14)$$

Определим динамическое усилие шин:

$$M = \frac{F \cdot l}{10} = \frac{129,45 \cdot 1000}{10} = 12,945 \text{ H} \cdot \text{м} \quad (7.15)$$

Определим момент сопротивления на шинах:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{4^2 \cdot 0,5}{6} = 1,33 \text{ см}^3 \quad (7.16)$$

Определим механическое напряжение в материале шин:

$$\delta_{PAC} = \frac{M}{W} = \frac{12,945}{1,33} = 9,73 \text{ МПа} \quad (7.17)$$

$$\delta_{ДОП} \geq \delta_{PAC}$$

$$70 \geq 9,73$$

$$\tau_H = \tau_0 + (\tau_{ДОП} - T) \cdot \left(\frac{I_P}{I_{ДОП}} \right)^2 = 18 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{230,88}{540} \right)^2 = 26,22^{\circ} \text{C} \quad (7.18)$$

Определим начальный тепловой импульс:

$$A_H = 0,2 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}}$$

$$t_{\theta} = 1,21$$

$$\beta'' = \frac{6,85}{6,85} = 1$$

$$t_{ПРП} = f(\beta''; t_{\theta}) = f(1; 1,21) = 1$$

$$t_{\text{ПРА}} = f(\beta'')^2 = 0,05$$

$$t_{\text{ПП}} = t_{\text{ППП}} + t_{\text{ПРА}} = 1 + 0,05 = 1,05 \quad (7.19)$$

Определим тепловой импульс короткого замыкания:

$$A_K = A_H + \frac{I^2}{(e \cdot h)^2} \cdot t_{\text{ПП}} = 0,2 \cdot 10^4 + \frac{6,85^2 \cdot (10^3)^2}{(40 \cdot 5)^2} \cdot 1,05 = 0,32 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}} \quad (7.20)$$

Определим номинальную температуру нагрева шин:

$$\tau_{\text{ном}} = f(A_K) = f(0,32 \cdot 10^4) = 38^0 C \quad (7.21)$$

Сравним предельно допустимую температуру нагрева шин с номинальной температурой нагрева шин:

$$\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{ном}}$$

$$200^0 C \geq 38^0 C$$

По условию видно, что номинальная температура не превышает предельно допустимую температуру. Значит, шины проходят.

7.3.2 Расчет шин 0,4 кВ

Условие выбора шин по длительно допустимому току:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{P(A)}}{K_t \cdot K_{\text{II}} \cdot K_p} = \frac{880,95}{1,074 \cdot 1 \cdot 0,92} = 891,57 A$$

Принимаем шины медные прямоугольного сечения $\text{Cu}(50 \times 6)$ $I_{\text{доп}} = 955 A$

Определим усилие под воздействием токов короткого замыкания:

$$F = 1,76 \cdot K_{\phi} \cdot i_y^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} = 1,76 \cdot 1 \cdot (18,75 \cdot 10^6)^2 \cdot \frac{540}{150} \cdot 10^{-7} = 222,75 \text{ H}$$

Определим динамическое усилие шин:

$$M = \frac{F \cdot l}{10} = \frac{222,75 \cdot 0,54}{10} = 12,03 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Определим момент сопротивления на шинах:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{5^2 \cdot 0,6}{6} = 2,5 \text{ см}^3$$

Определим механическое напряжение в материале шин:

$$\delta_{PAC} = \frac{M}{W} = \frac{12,22}{2,5} = 4,812 \text{ МПа}$$

$$\delta_{ДОП} \geq \delta_{PAC}$$

$$70 \geq 4,812$$

$$\tau_H = \tau_0 + (\tau_{ДОП} - T) \cdot \left(\frac{I_P}{I_{ДОП}} \right)^2 = 18 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{295,7}{955} \right)^2 = 22,31^{\circ}C$$

Определим начальный тепловой импульс:

$$A_H = 0,2 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}}$$

$$t_{\delta} = 0,3$$

$$\beta'' = \frac{9,47}{9,47} = 1$$

$$t_{ПРИ} = f(\beta''; t_{\delta}) = f(1; 1,03) = 0,36$$

$$t_{\text{ПР}} = t_{\text{ПРП}} = 0,36$$

Определим тепловой импульс короткого замыкания:

$$A_K = A_H + \frac{I^2}{(e \cdot h)^2} \cdot t_{\text{ПР}} = 0,2 \cdot 10^4 + \frac{9,47^2 \cdot (10^3)^2}{(50 \cdot 6)^2} \cdot 0,36 = 0,2 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot c}{\text{мм}}$$

Определим номинальную температуру нагрева шин:

$$\tau_{\text{ном}} = f(A_K) = f(0,2 \cdot 10^4) = 35^{\circ}C$$

Сравним предельно допустимую температуру нагрева шин с номинальной температурой нагрева шин:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{доп}} &\geq \tau_{\text{ном}} \\ 200^{\circ}C &\geq 35^{\circ}C \end{aligned}$$

По условию видно, что номинальная температура не превышает предельно допустимую температуру. Значит, шины проходят.

8 Выбор защитной коммутационной аппаратуры на 0,4 кВ

8.1 Выбор автомата ввода

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1471,54^2 + 1241,21^2} = 1925,1 \text{ кВА} \quad (8.1)$$

Определим ток послеаварийного режима:

$$I_{P(A)} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1925,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2924,73 \text{ А} \quad (8.2)$$

Определим пусковой ток:

$$I_{ПУСК} = I_{НДВ} \cdot K = 99,93 \cdot 7,5 = 749,47 \text{ А} \quad (8.3)$$

Пиковый ток автомата ввода:

$$\begin{aligned} I_{ПИК} &= I_{ПУСК} + (I_{P(A)} - K_{И} \cdot I_{НДВ}) = \\ &= 749,47 + (2924,73 - 0,36 \cdot 99,93) = 3638,23 \text{ А} \end{aligned} \quad (8.4)$$

Условие выбора автомата:

$$I_{СРГР} = 1,2 \cdot I_{P(A)} = 1,2 \cdot 2924,73 = 3509,68 \text{ А} \quad (8.5)$$

$$I_{ЭР} = 1,25 \cdot I_{ПИК} = 1,25 \cdot 3638,23 = 4547,78 \text{ А} \quad (8.6)$$

Выбираем автоматический выключатель серии Masterpact с номинальным током $I_H = 4000 \text{ А}$, и токком электромагнитного расцепителя

$I_{\text{ЭР}} = 8000 \text{ А}$. Выбор автомата ввода производим по литературному источнику [2].

8.2 Выбор секционного выключателя

Определим ток нормального режима:

$$I_P = \frac{I_{P(A)}}{2} = \frac{2924,73}{2} = 1462,36 \text{ А}$$

Пусковой ток для данного потребителя:

$$I_{\text{ПУСК}} = I_{\text{НДВ}} \cdot K = 99,93 \cdot 7,5 = 749,47 \text{ А}$$

Пиковый ток секционного автомата:

$$I_{\text{ПИК}} = I_{\text{ПУСК}} + (I_{P(A)} - K_{\text{И}} \cdot I_{\text{НДВ}}) = 749,47 + (1462,36 - 0,36 \cdot 99,93) = 2175,85 \text{ А}$$

Условие выбора автомата:

$$I_{\text{СРТР}} = 1,2 \cdot I_{P(A)} = 1,2 \cdot 1462,36 = 1754,8 \text{ А}$$

$$I_{\text{ЭР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПИК}} = 1,25 \cdot 2175,85 = 2719,82 \text{ А}$$

Выбираем автомат серии Masterpact NW 08-25 с номинальным током $I_{\text{Н}} = 2500 \text{ А}$, током электромагнитного расцепителя $I_{\text{ЭР}} = 5000 \text{ А}$ и током теплового расцепителя $I_{\text{ТР}} = 2500 \text{ А}$

8.3. Выбор проводниковой продукции и защитной аппаратуры

Выбор проводниковой продукции и защитной аппаратуры выполним для одного электроприемника, для других электроприемников расчеты

выполняются аналогично этому. Все полученные результаты сводим в приложение Д.

8.3.1 Выбор автоматического выключателя, магнитного пускателя и теплового реле

Определим номинальный ток двигателя:

$$I_{НДВ} = \frac{P_{НДВ}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89 \cdot 0,86} = 7,903 \text{ А} \quad (8-7)$$

Пусковой ток для данного потребителя:

$$I_{ПУСК} = I_{НДВ} \cdot K = 7,903 \cdot 7,5 = 59,27 \text{ А}$$

где K – пусковая кратность двигателя по таблице

Условие выбора автомата:

$$I_{ЭР} = 1,25 \cdot I_{ПИК} = 1,25 \cdot 64,3 = 80,4 \text{ А}$$

Пиковый ток автомата:

$$I_{ПИК} = I_{ПУСК} + \left(K_P - K_H \cdot I_{НДВ} \right) = 59,27 + \left(1,903 - 0,36 \cdot 7,903 \right) = 64,3 \text{ А} \quad (8-8)$$

Выбираем автомат серии ВА53-37 с номинальным током $I_H = 63 \text{ А}$, током электромагнитного расцепителя $I_{ЭР} = 125 \text{ А}$ и током теплового расцепителя $I_{ТР} = 63 \text{ А}$. Выбор автоматического выключателя производим по литературному источнику [2].

Магнитный пускатель марки ПМЛ 4500-02

Тепловое реле типа РТЛ 101404

8.3.2 Выбор провода

Провод будем прокладывать в трубах, а его выбор будем выполнять по двум условиям длительно допустимого тока:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{НДВ}}}{K_{\text{попр}}} = \frac{7,903}{1} = 7,903 \text{ А} \quad (8.9)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_{\text{попр}}} = \frac{25 \cdot 0,33}{1} = 8,25 \text{ А} \quad (8.10)$$

$$I_3 = I_{\text{пв}} = 25 \text{ А}$$

где $K_3 = 0,33$ - коэффициент загрузки из таблицы

$K_{\text{попр}} = 1$ - поправочный коэффициент из таблицы

Выбираем провод марки АПВ – 4(1х2,5) с допустимым током $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$

8.4. Выбор кабеля от ТП6-0,4 кВ к распределительному шкафу ШР1

Выбор проводниковой продукции выполним для одного распределительного шкафа ШР-1, для других распределительных шкафов расчеты выполняются аналогично этому. Все полученные результаты сводим в приложение Д.

8.4.1 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель выбираем по току рабочему нормального режима.

Определим ток нормального рабочего режима:

$$I_P = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{101,76}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 154,6 \text{ А}$$

Пусковой ток для данного потребителя:

$$I_{\text{ПУСК}} = I_{\text{НДВ}} \cdot K = 99,93 \cdot 7,5 = 749,47 \text{ А}$$

Пиковый ток автомата:

$$I_{\text{ПИК}} = I_{\text{ПУСК}} + (I_P - K_{II} \cdot I_{\text{НДВ}}) = 749,47 + (154,6 - 0,6 \cdot 99,93) = 844,112 \text{ А}$$

Условие выбора автомата:

$$I_{\text{ЭР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПИК}} = 1,25 \cdot 844,112 = 1055,14 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель серии ВА53-37 с номинальным током $I_H = 160 \text{ А}$, током электромагнитного расцепителя $I_{\text{ЭР}} = 1120 \text{ А}$ и током теплового расцепителя $I_{\text{ТР}} = 160 \text{ А}$. Выбор автоматического выключателя производим по литературному источнику [2].

8.4.2 Выбор кабеля к ШР-1.

$$I_{\text{ДОП}} \geq \frac{I_{\text{ТР}} \cdot K_3}{K_t \cdot K_{II} \cdot K_{\text{ПВ}}} = \frac{160 \cdot 1}{1 \cdot 1 \cdot 1} = 160 \text{ А} \quad (8.12)$$

Выбираем кабель марки АБВГ (3x70)(1x50) с допустимым током

$$I_{\text{ДОП}} = 165 \text{ А}$$

Выбор проводниковой продукции производили по литературному источнику [8]. Тип силовой сборки ПР-85.

9 Расчет заземляющего устройства цеховой подстанции

Исходные данные:

Грунт-суглинок. Ток замыкания на земле $I_3 = 25 \text{ А}$

$$U_1 = 6 \text{ кВ}$$

$$U_2 = 0,4 \text{ кВ}$$

$$t_{\text{ср.мин}} = -20,1^\circ \text{ С}$$

$$t_{\text{ср.макс}} = +16,3^\circ \text{ С}$$

Вид заземлителя – пруток диаметром 12 мм

$$L_{\text{ПР}} = 2,5 \text{ м} \text{ – длина прутка}$$

$a = 5 \text{ м}$ – расстояние между прутками

$$b = 40 \times 4 \text{ см}$$

$$t = 70 \text{ см}$$

Прутки расположены в ряд.

Удельное сопротивление грунта $\rho = 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

$$R_{3У} \leq 4 \text{ Ом для } 6 \text{ кВ}$$

$$R_{3У} = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{25} = 5 \text{ Ом для } 6 \text{ кВ}$$

Принимаем наиболее требуемое условие:

$$R_{3У} \leq 4 \text{ Ом}$$

$$K_M = 1,9 \text{ – коэффициент сезонности}$$

Определяем сопротивление одного прутка:

$$R_{\text{ОПР}} = 0,00227 \cdot \rho \cdot K_M = 0,00227 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 43,13 \text{ Ом}$$

Определяем приближённое количество прутков:

$$n_1 = \frac{R_{\text{онр}}}{R_{3У}} = \frac{43,13}{4} = 10,78 \approx 11 \text{ шт}$$

Определяем длину полосы:

$$L_{\text{пол}} = n_1 \cdot a = 11 \cdot 5 = 55 \text{ м}$$

Определяем сопротивление полосы:

$$R_{\text{пол}} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_m}{L_n \cdot \eta_n} \cdot Lg \frac{2(L_{\text{пол}} \cdot 10^3)^2}{b \cdot t} = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 1,9}{5,5 \cdot 10^3 \cdot 0,6} \cdot Lg \frac{2(5,5 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 70} = 11,2 \text{ Ом}$$

$$\frac{L}{a} = 1 = \frac{5}{5} \Rightarrow \eta_n = 0,58$$

Определяем сопротивление, приходящееся на стержни:

$$R_{\text{ст}} = \frac{R_{\text{пол}} \cdot R_{\text{зв}}}{R_{\text{пол}} - R_{\text{зв}}} = \frac{11,2 \cdot 4}{11,2 - 4} = 6,22 \text{ Ом}$$

Определяем действующее количество стержней:

$$n = \frac{R_{\text{опр}}}{R_{\text{ст}} \cdot \eta_c} = \frac{43,13}{6,22 \cdot 0,85} = 11,95 \approx 12 \text{ шт}$$

Протяжённость полосы:

$$L_{\text{пол}} = n \cdot a = 11 \cdot 5 = 55 \text{ м}$$

Определяем сопротивление полосы:

$$R_{\text{пол}} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_m}{L_n \cdot \eta_n} \cdot Lg \frac{2(L_{\text{пол}} \cdot 10^3)^2}{b \cdot t} = \frac{0,366 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 1,9}{6 \cdot 10^3 \cdot 0,57} \cdot Lg \frac{2(6 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 70} = 10,98 \text{ Ом}$$

Определяем сопротивление заземления:

$$R_{3y} = \frac{R_{cm} \cdot R_{пол}}{R_{cm} + R_{пол}} = \frac{6,22 \cdot 10,98}{6,22 + 10,98} = 3,9 \text{ Ом}$$

$$R_{3y} \leq 4 \text{ Ом}$$

Условие выполняется.

Заключение

Потребители электроэнергии имеют свои специфические особенности, чем и обусловлены определенные требования к их электроснабжению – надежность питания, качество электроэнергии, резервирование и защита отдельных элементов и др. При проектировании, сооружении и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий, необходимо учитывать технико-экономические аспекты при осуществлении выбора напряжений, определении электрических нагрузок, выборе типажа, числа и мощности трансформаторных подстанций, видов их защиты, систем компенсации реактивной мощности и способов регулирования напряжений.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был выполнен расчет электрических нагрузок по всему предприятию и по одному из цехов предприятия. Для установки в распределительной сети предприятия было рассмотрено два варианта с различными мощностями распределительных трансформаторов. Проведен расчет технико-экономических показателей распределительной сети. В результате к установке в распределительной сети предприятия были приняты трансформаторы марки ТМЗ с мощностями 1000 и 630 кВА.

Так же был произведен расчет мощности силового трансформатора на ГПП. В результате был принят к установке трансформатор марки ТМН – 6300/110.

Так же были проведены расчеты токов короткого замыкания и определено место расположения ГПП предприятия. Для определения места расположения была составлена картограмма электрических нагрузок по предприятию. После определения центра электрических нагрузок с учетом розы ветров было выбрано окончательное место расположения ГПП. Так как координаты ГПП получились в зоне, где находятся загрязненные цеха с агрессивной средой, то место расположения ГПП было перенесено в более чистое место.

Так же был проведен расчет и выбор кабелей напряжением 6 и 0,4 кВ в распределительной сети предприятия, выполнен расчет шин на напряжение 0,4 и 6 кВ. А так же выбраны коммутационные и защитные аппараты на стороне 0,4 кВ.

В работе проведен расчет заземления для цеховой трансформаторной подстанции.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения трубопрокатного завода, которая удовлетворяет всем современным требованиям и нормам.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: Энергия, 2012. - 108 с.
5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98/ под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
6. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 № 35-ФЗ с изм. и допол. в ред. от 29.12.2014
7. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению [Текст] / В.П. Шеховцов. - М.: Инфра-М, 2014. - 136 с.
8. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Текст]: учебник. / Е.А. Конюхова. - М.: МЭИ, 2014. - 512 с.
9. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / Б.Н. Неклепаев. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 608 с.
10. Шабад, В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст]: учебное пособие. / В.К. Шабад. - М.: Academia, 2013. - 192 с.
11. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст]: учебник. / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. - М.: Academia, 2014. - 288 с.

12. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций [Текст] / Л.Д. Рожкова, Т.В. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: Academia, 2013. - 448 с.
13. Вахнина, В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий [Текст]: учеб. пособие для вузов. / В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2011. – 68 с.
14. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок [Текст]: учеб. пособие. / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2008.
15. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Текст]: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко.– Тольятти: ТГУ, 2007.
16. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Методическое пособие для курсового проектирования [Текст]: Учебное пособие. / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, 2013. - 216 с.
17. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций [Текст]. / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. - М.: ЁЁ-Медиа, 2012. - 310 с.
18. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов [Текст]: учебное пособие. / Ю.Д. Сибткин. - М.: Форум, 2015. - 384 с.
19. Степкина, Ю. В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций [Текст]: учеб. пособие. / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2006. - 49 с.
20. Вахнина, В. В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров [Текст]: учеб.-метод. Пособие / В.В. Вахнина, Ю.В. Степкина, О.В. Самолина. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 31 с.

21. Степкина, Ю. В. Электрооборудование станций и подстанций предприятий [Текст]: учеб. пособие / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2009. - 67 с.
22. Анчарова, Т.В., Рашевская, М.А., Стебунова, Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Текст]: учебник. / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2014. - 416 с.
23. Ерошенко, Г.Н., Эксплуатация электрооборудования [Текст]: учебник. / Г.Н. Ерошенко, Н.П. Кондратьева. - М.: Инфра-М, 2014. - 336 с.
24. Дайнеко, В.А. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики [Текст]: учебное пособие. Гриф МО РФ. / В.А. Дайнеко, Е.П. Забелло, Е.М. Прищепова. - М.: Инфра-М, 2015. - 333 с.
25. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования [Текст]: учебное пособие. / Н.В. Грунтович - М.: Инфра-М, 2015. - 271 с.
26. Варварин, В.К. Выбор и наладка электрооборудования [Текст]: справочное пособие. / В.К. Варварин. - М.: Форум, 2015. - 240 с.
27. Mcdonald, J. D. Electric Power Substations Engineering / J. D. Mcdonald [и др.]. – Майями: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 593с
28. Hewitson, Leslie G. Practical System Protection (Practical Professional Books) / L. G. Hewitson. – Newnes, 2005. – 290 с.
29. Gers, J. M. Protection of Electricity Distribution Networks, 3rd Edition (Energy Engineering) / J. M. Gers, E. D. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 368 с.
30. Lakervi, E. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edition (Energy Engineering) / E. Lakervi, E. J. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2005. – 338 с.
31. Bayliss, C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / C. Bayliss, B. Hardly. – Newnes, 2012. – 1180 с.

Приложение А

Приложение А1 - Сводная ведомость нагрузки цеха 643

Наименование узлов питания и электрических приемников	Количество приемников n	Установленная мощность ПВ=100		m=P _{нmax} /P _{нmin} кВт	Коэффициент использования, К _л	Cos	tg	Средняя нагрузка за самую загруженную смену		Эффективное число приемников, пэф	Расчетный коэффициент Кр	Максимальные расчетные мощности			Расчетный ток Iр, А
		Одного приемн P _н кВт	Общая рабочих и резерв суммы P _н кВт					P _{пр} , кВт	Q _{пр} , квар			P _p кВт	Q _p квар	S _p кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ШР-1															
Печь сушильная	1	55	55		0,6	0,97	0,25	33	8,27	3025					
Фильтр	1	4	4		0,35	0,55	1,52	1,4	2,13	16					
Затвор бункерный	1	1	1		0,12	0,7	1,02	0,12	0,12	1					
Вентилятор	1	4	4		0,7	0,8	0,75	2,8	2,10	16					
Компрессор	1	11	11		0,9	0,87	0,57	9,9	5,61	121					
Питатель	1	8	8		0,4	0,72	0,96	3,2	3,08	64					
Насос	1	7	7		0,8	0,85	0,62	5,6	3,47	49					
Итого по ШР-1	7	1-55	90	>3	0,275	0,91	0,44	56,02	24,78	2	1,75	98,04	27,26	101,76	154,60
ШР-2															
Печь сушильная	1	55	55		0,6	0,97	0,25	33,00	8,27	3025					
Фильтр	1	4	4		0,35	0,55	1,52	1,40	2,13	16					
Затвор бункерный	1	1	1		0,12	0,7	1,02	0,12	0,12	1					
Компрессор	1	11	11		0,9	0,87	0,57	9,90	5,61	121					
Насос	1	7	7		0,8	0,85	0,62	5,60	3,47	49					
Шкаф сушильный	1	10	10		0,6	1	0,00	6,00	0,00	100					
Транспортер	1	5,5	5,5		0,25	0,45	1,98	1,38	2,73	30,25					
Итого по ШР-2	7	1-55	93,5	>3	0,239	0,93	0,39	57,40	22,33	3	1,2	68,87	24,56	73,12	111,10
ШР-3															
Кран мостовой ПВ=60%, S=30кВА, P=30*0,6=23,23 кВт	2	23,23	46,46	>3	0,14	0,7	1,02	6,50	6,64	6					
Итого по ШР - 3	2	23,23	46,46	>3	0,14	0,70	1,02	86,77	40,77	6	1,96	170,08	44,85	175,89	267,24
ШР - 4															
Вентилятор	1	4	4		0,7	0,8	0,75	2,8	2,10	16					
Шкаф сушильный	1	10	10		0,6	1	0,00	6	0,00	100					
Печь	3	4	12		0,7	0,35	2,68	8,4	22,48	48					
Питатель	1	6	6		0,4	0,72	0,96	2,4	2,31	36					
Насос	1	7	7		0,8	0,85	0,62	5,6	3,47	49					
Итого ШР - 4	7	1 - 10	39	>3	0,646	0,64	1,20	25,2	30,37	7	1	25,20	33,40	41,84	63,57

ЩР - 5															
Насос	1	7	7		0,8	0,85	0,62	5,60	3,47	49					
Печь сушильная	1	55	55		0,6	0,97	0,25	33,00	8,27	3025					
Фильтр	1	4	4		0,35	0,55	1,52	1,40	2,13	16					
Затвор бункерный	1	1	1		0,12	0,7	1,02	0,12	0,12	1					
Компрессор	1	11	11		0,9	0,87	0,57	9,90	5,61	121					
Вентилятор	1	4	4		0,7	0,8	0,75	2,80	2,10	16					
Трансформатор сварочный	1	1,6	1,6		0,3	0,3	3,18	0,48	1,53	2,56					
Итого по ЩР - 5	7	1-55	83,6	>3	0,278	0,92	0,44	53,30	23,23	2	1,31	69,82	25,55	74,35	112,96
ЩР - 6															
Печь сушильная	1	55	55		0,6	0,97	0,25	33,00	8,27	3025					
Фильтр	1	4	4		0,35	0,55	1,52	1,40	2,13	16					
Затвор бункерный	1	1	1		0,12	0,7	1,02	0,12	0,12	1					
Компрессор	1	11	11		0,9	0,87	0,57	9,90	5,61	121					
Печь	1	4	4		0,7	0,35	2,68	2,80	7,49	16					
Шкаф сушильный	1	10	10		0,6	1	0,00	6,00	0,00	100					
Транспортер	1	5,5	5,5		0,25	0,45	1,98	1,38	2,73	30,25					
Итого по ЩР - 6	7	1-55	90,5	>3	0,291	0,90	0,48	54,60	26,35	2	1,58	86,26	28,99	91,00	138,26
ЩР - 7															
Шкаф сушильный	3	10	30		0,6	1	0,00	18,00	0,00	300					
Транспортер	2	5,5	11		0,25	0,45	1,98	2,75	5,46	60,5					
Трансформатор сварочный ПВ=60%, S=7кВА P=7*0,3*0,6=1,6 кВт	1	1,6	1,6		0,3	0,3	3,18	0,48	1,53	2,56					
Итого по ЩР - 7	6	1,6-10	42,6	>3	0,46	0,88	0,54	21,23	6,98	5	1,16	24,63	7,68	25,80	39,21
ЩР - 8															
Печь сушильная	1	55	55		0,6	0,97	0,25	33,00	8,27	3025					
Фильтр	1	4	4		0,35	0,55	1,52	1,40	2,13	16					
Затвор бункерный	1	1	1		0,12	0,7	1,02	0,12	0,12	1					
Компрессор	1	11	11		0,9	0,87	0,57	9,90	5,61	121					
Трансформатор сварочный	2	1,6	3,2		0,3	0,3	3,18	0,96	3,05	5,12					
Трансформатор освещения ПВ=15%, S=4 кВА, P=4*0,3*0,15=0,46 кВт	1	0,46	0,46		0,3	0,3	3,18	0,14	0,44	0,2116					
Итого по ЩР - 8	7	1-55	74,66	>3	0,263	0,92	0,43	45,52	19,62	2	1,79	81,48	21,58	84,29	128,06
Печь индукционная	1	1-173,5	173,5	>3	0,7	0,60	1,33	121,45	161,93	30102	1,2	145,74	178,13	230,15	349,68
Итого по цеху	51	1-173,5	706,72	>3	0,5	0,82	0,69	507,63	352,11	26	0,85	431,48	387,33	579,83	880,96

Приложение А2 - Сводная ведомость нагрузки трубопрокатного производства

Наименование узлов питания и электрических приемников	Количество приемников n	Установленная мощность ПВ=100		m=P _{нmax} /P _{нmin} Квт	Коэффициент использования, Ки	Cos	tg	Средняя нагрузка за самую загруженную смену		Эффективное число приемников, пэф	Расчетный коэффициент Кр	Максимальные расчетные мощности			Расчетный ток Iр, А
		Одного приемн P _н Квт	Общая рабочих и резерв суммы P _н Квт					P _{пр} , кВт	Q _{пр} , квар			P _p кВт	Q _p квар	S _p кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цех обжига	25	12-20	700	>3	0,75	0,8	0,75	525,00	393,75	25	0,8	420,00	433,13	603,32	916,65
Сырьевой цех	20	8-200	1800	>3	0,45	0,76	0,86	810,00	692,68	18	0,85	688,50	761,95	1026,94	1560,27
Ремонтно-механический цех	50	1,5-17	760	>3	0,24	0,65	1,17	182,40	213,25	50	0,67	122,21	234,57	264,50	401,86
Клинкерное отделение	12	7-55	2100	>3	0,7	0,8	0,75	1470,00	1102,50	12	0,8	1176,00	1212,75	1689,30	2566,63
Электроцех	28	0,8-10	540	>3	0,14	0,5	1,73	75,60	130,94	28	0,65	49,14	144,04	152,19	231,23
Компрессорные	6	100	600	1	0,75	0,75	0,88	450,00	396,86	6	0,9	405,00	436,55	595,48	904,74
Цех пневмотранспорта	22	0,8-4	1140	>3	0,46	0,85	0,62	524,40	324,99	22	0,72	377,57	357,49	519,96	790,00
Склады сырья	20	4-28	1800	>3	0,8	0,85	0,62	1440,00	892,43	20	0,8	1152,00	981,68	1513,54	2299,58
Цех приготовительный	16	0,8-40	650	>3	0,65	0,75	0,88	422,50	372,61	16	0,85	359,13	409,87	544,94	827,96
Насосные станции	8	120	960	1	0,75	0,75	0,88	720,00	634,98	8	0,9	648,00	698,48	952,77	1447,59
Администр.-бытовой корпус	40	0,5-7	400	>3	0,3	0,8	0,75	120,00	90,00	40	0,7	84,00	99,00	129,83	197,26
Механический цех	6	630	3600	1	0,7	0,8	0,75	2520,00	1890,00	6	0,9	2268,00	2079,00	3076,70	4674,56
Цех 643	51	1-173,5	706,72	>3	0,5	0,82	0,69	507,63	352,11	26	0,85	431,49	387,32	579,83	880,95
Итого по блоку цехов	304	0,5-630	15756,72	>3	0,475169	0,79	0,77	9767,53	7487,11	50	0,85	8302,40	8235,82	11694,39	17767,78
Общее освещение			257					244,15				244,15			
Итого по блоку с освещением	304	0,5-630	16013,72	>3	0,469189	0,80	0,75	10011,68	7513,46	50	0,85	8546,55	8264,80	11889,09	18063,60

Приложение А3 - Осветительная нагрузка по блоку цехов

№ п/п	Наименование	Тип светильника	Н (м)	E _{min} (Лк)	Руд (Вт/м)	S (м)	Рр (кВт)	Примечание
1	Цех обжига	ЖСП 02В	8	50	20	1440	33,120	
2	Сырьевой цех	ЖСП 02В	10	30	18	864	17,885	
3	Ремонтно механический цех	ЖСП 02В	10	150	17	648	12,668	
4	Клинкерное отделение	ЖСП 02В	10	30	18	2016	41,731	
5	Электроцех	ЛСП 02	5	100	15	144	2,160	
6	Компрессорная	ЛСП 02	5	100	17	432	7,344	
7	Цех пневмотранспорта	ЛСП 02	5	50	15	540	8,100	
8	Цех 643	ЛСП 02	5	50	18	648	11,664	
9	Склады сырья	ЖСП 02В	10	30	17	576	9,792	
10	Приготовительный цех	ЖСП 02В	10	30	20	648	12,960	
11	Насосная станция	ЛСП 02	4	100	15	1260	18,900	
12	Административно-бытовой корпус	ЛСП 02	2,8	250	12	540	8,100	
13	Механический цех	ЖСП 02В	10	30	18	4032	72,576	
Итого						13788	257,000	

Приложение Б

Приложение Б1 - Сводная ведомость уточненной нагрузки

Наименование узлов питания и электрических приемников	Количество приемников п	Установленная мощность ПВ=100		m=P _{нmax} /P _{нmin} Квт	Коэффициент использования, Ки	Cos	tg	Средняя нагрузка за самую загруженную смену		Эффективное число приемников, пэф	Расчетный коэффициент Кр	Максимальные расчетные мощности			Расчетный ток Iр, А
		Одного приемн P _н Квт	Общая рабочих и резерв суммы P _н Квт					P _{пр} кВт	Q _{пр} квар			P _р кВт	Q _р квар	S _р кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП-1															
Цех обжига	25	12-20	700	>3	0,75	0,8	0,75	525,00	393,75						
Сырьевой цех	20	8-200	1800	>3	0,45	0,76	0,86	810,00	692,68						
Итого силовая	45	8-200	2500	>3	0,534	0,78	0,81	1335,00	1086,43	25	0,77	1027,95	1086,43	1495,66	86,35
Освещение			44,30					51,00				51,00			
Потери								22,94	109,35			20,91	100,17		
Итого по ТП - 1	45	8-200	2544,3	>3	0,554	0,76	0,85	1408,94	1195,78	25	0,77	1099,86	1186,6	1617,93	93,41
ТП-2															
Ремонтно-механический цех	50	1,5-17	760	>3	0,24	0,65	1,17	182,40	213,25						
Электроцех	28	0,8-10	540	>3	0,14	0,5	1,73	75,60	130,94						
Цех пневмотранспорта	22	0,8-4	1140	>3	0,46	0,85	0,62	524,40	324,99						
Цех приготовительный	16	0,8-40	650	>3	0,65	0,75	0,88	422,50	372,61						
Администр.-бытовой корпус	40	0,5-7	400	>3	0,3	0,8	0,75	120,00	90,00						
Итого силовая	156	0,5-40	3490	>3	0,38	0,76	0,85	1324,90	1131,80	156	0,7	927,43	1131,8	1463,25	84,48
Освещение			60,09					43,98				43,98			
Потери								23,79	113,18			20,51	98,40		
Итого по ТП - 2	156	0,5-40	3550,09	>3	0,392	0,75	0,89	1392,67	1244,98	156	0,7	991,92	1230,20	1580,28	91,24
ТП-3															
Клинкерное отделение	12	7-55	2100	>3	0,7	0,8	0,75	1470,00	1102,50						
Итого силовая	12	7-55	2100	>3	0,7	0,8	0,75	1470,00	1102,50	12	0,9	1323,00	1102,50	1722,16	99,43
Освещение			36,3					41,73				41,73			
Потери								25,10	119,09			22,11	105,61		
Итого по ТП - 3	12	7-55	2136,3	>3	0,719	0,78	0,79	1536,83	1221,59	12	0,87	1386,84	1208,11	1839,25	106,19
ТП-4															
Компрессорные	6	100	600	1	0,75	0,75	0,88	450,00	396,86						
Насосные станции	8	120	960	1	0,75	0,75	0,88	720,00	634,98						
Итого силовая	14	120	1560	1	0,75	0,75	0,88	1170,00	1031,84	14	0,9	1053,00	1031,84	1474,28	85,12
Освещение			26,24					26,24				26,24			
Потери								19,36	93,22			19,36	93,22		
Итого по ТП - 4	14	120	1586,24	1	0,766	0,73	0,93	1215,60	1125,06	14	0,9	1098,60	1125,06	1572,48	90,79

ТП-5;ТП-6																
Цех 643	51	1-173,5	706,72	>3	0,5	0,82	0,69	507,63	352,11							
Склады сырья	20	4-28	1800	>3	0,8	0,85	0,62	1440,00	892,43							
Итого силовая	71	1-173,5	2506,72	>3	0,777	0,84	0,64	1947,63	1244,54	71	0,73	1421,77	1082,61	1787,03	103,17	
Освещение			21,46					21,45				21,45				
Потери								33,19	178,43			28,32	158,60			
Итого по ТП - 5; ТП - 6	71	1-173,5	2528,18	>3	0,792	0,82	0,71	2002,27	1422,97	71	0,77	1471,54	1241,21	1925,11	111,15	
Механический цех	6	630	3600	1	0,7	1	0,00	2520,00	0,00	6	0,91	2293,20	0,00	2293,20	132,55	
Освещение			72,57					72,57				72,57				
Итого по всем ТП	304	0,5-200	12417,68	>3	0,614	0,78	0,81	7628,88	6210,38	18	1	7507,43	6048,45	9640,81	557,27	
Реакт. мощн. комп. уст.									1428,28				1428,28			
Реакт. мощн. СД									1890,00				1890,00			
Итого по всем ТП с комп. уст.	304	0,5-200	12244,18	>3	0,61	0,93	0,39	7507,43	2892,10	18	1	7507,43	2730,17	7988,45	461,76	

Приложение В

Приложение В1 - Выбор силового кабеля на 6 кВ

№ТП	$I_p(a), A$	I_p, A	K_t	K_p	$K_{пв}$	K^*	$I_{доп1}, A$	$I_{доп2}, A$	Марка кабеля	F_{min}	Марка кабеля	V_k	F_{min}	Марка кабеля	X_o	R_o	X_k	R_k	U_k	$U\%$
ТП1	93,41	46,7	0,84	0,85	1	1,3	65,4	100,63	ААБЛУ 6-(3x35) I _{доп} =105 А	33,35	ААБЛУ 6-(3x35) I _{доп} =105 А	62,17	87,6	ААБЛУ 6-(3x95) I _{доп} =200 А	0,083	0,326	0,013	0,052	12,1	0,2
ТП2	91,24	45,62	0,84	0,85	1	1,3	63,89	98,29	ААБЛУ 6-(3x35) I _{доп} =105 А	32,58	ААБЛУ 6-(3x35) I _{доп} =105 А	62,17	87,6	ААБЛУ 6-(3x95) I _{доп} =200 А	0,083	0,326	0,0207	0,081	11,26	0,180
ТП3	106,19	53,095	0,84	0,85	1	1,3	74,36	114,4	ААБЛУ 6-(3x50) I _{доп} =135 А	37,92	ААБЛУ 6-(3x50) I _{доп} =135 А	62,17	87,6	ААБЛУ 6-(3x95) I _{доп} =200 А	0,083	0,326	0,0082	0,032	14,64	0,24
ТП4	90,79	45,395	0,84	0,85	1	1,3	63,58	97,81	ААБЛУ 6-(3x35) I _{доп} =105 А	32,42	ААБЛУ 6-(3x35) I _{доп} =105 А	62,17	87,6	ААБЛУ 6-(3x95) I _{доп} =200 А	0,083	0,326	0,014	0,056	11,96	0,19
ТП5	111,15	55,57	0,84	0,85	1	1,3	77,83	119,75	ААБЛУ 6-(3x50) I _{доп} =135 А	19,15	ААБЛУ 6-(3x25) I _{доп} =85 А	62,17	87,6	ААБЛУ 6-(3x95) I _{доп} =200 А	0,083	0,326	0,036	0,143	15,44	0,26
ТП6	111,15	55,57	0,84	0,85	1	1,3	77,83	119,75	ААБЛУ 6-(3x50) I _{доп} =135 А	19,15	ААБЛУ 6-(3x25) I _{доп} =85 А	62,17	87,6	ААБЛУ 6-(3x95) I _{доп} =200 А	0,083	0,326	0,036	0,143	15,44	0,26

Приложение Д

Приложение Д1 - Выбор электрооборудования

№	Электрические приемники	$R_{квт}/\cos$	Ки/КПД	$I_n (I_p),$ А	$I_{\text{пуск}}$ ($I_{\text{пик}}),$ А	$I_{\text{пуск}},$ А	Тип автомата	$I_{\text{ном}},$ А	Марка пускателя	Тип реле	$I_{\text{нэ}},$ А	Тип провода	$I_{\text{доп}},$ А	Способ прокладки	Кт/Кпв	Кп/Кз	Примечание
1	Фильтр	4/0,89	7,5/0,86	7,903	59,27	23,708	ВА53-37	63	ПМЛ1500-02	РТЛ101404	8,5	АПВ-4(1x2,5)	19	В трубе	0,94/1	1/0,33	
2	Вентилятор	4/0,89	7,5/0,86	7,903	59,27	23,708	ВА53-37	63	ПМЛ1500-02	РТЛ101404	8,5	АПВ-4(1x2,5)	19	В трубе	0,94/1	1/0,33	
3	Печь сушильная	55/0,92	7,5/0,91	99,93	749,47	374,3	ВА53-37	100	ПМЛ6500-02	РТЛ312504	107,5	АПВ-4(1x25)	130	В трубе	0,94/1	1/0,33	
4	Кран мостовой	23,2/0,91	7,5/0,88	43,82	328,65	164,3	ВА53-37	63	ПМЛ4500-02	РТЛ205704	45	АПВ-4(1x16)	130	В трубе	0,94/1	1/1	
5	Насос	11/0,9	7,5/0,88	21,123	158,4	63,36	ВА53-37	63	ПМЛ2500-02	РТЛ102204	25,5	АПВ4(1x4)	28	В трубе	0,94/1	1/0,33	
6	Компрессор	7/0,81	6,5/0,85	15,46	100,49	40,19	ВА53-37	63	ПМЛ2500-02	РТЛ102204	16	АПВ-4(1x2,5)	19	В трубе	0,94/1	1/0,33	
7	Питатель	6/0,85	7,0/0,85	22,63	158,4	63,36	ВА53-37	63	ПМЛ2500-02	РТЛ102204	25,5	АПВ4(1x4)	28	В трубе	0,94/1	1/0,33	
8	Транспортер	5,5/0,85	7,0/0,85	22,63	158,4	79,2	ВА53-37	63	ПМЛ2500-02	РТЛ102204	25,5	АПВ4(1x4)	28	В трубе	0,94/1	1/0,33	
9	Бункерный затвор	1/0,81	5/0,75	2,5	12,5	6,25	ВА53-37	63	ПМЛ1500-02	РТЛ1100704	3,2	АПВ-4(1x2,5)	19	В трубе	0,94/1	1/0,33	
10	Шкаф сушильный	10/0,87	7,5/0,87	20,09	150,67	75,33	ВА53-37	63	ПМЛ2500-02	РТЛ102204	25,5	АПВ4(1x4)	28	В трубе	0,94/1	1/1	
11	Печь	4/0,89	7,5/0,86	7,95	59,62	29,81	ВА53-37	63	ПМЛ1500-02	РТЛ101404	8,5	АПВ-4(1x2,5)	19	В трубе	0,94/1	1/0,33	

Приложение Д2 - Выбор к силовой сборке

Наименование	Sp кВА	Pн, кВт	Ки	Кп	Ip/In дв (А)	Iпик (А)	1,25Iпик (А)	Тип автомата	Iтр, (А)	Iэр(А)	Тип кабеля
ШР-1	101,76	55	0,6	7,5	154,6/99,93	844,112	1055,14	ВА53-37 In=160 А	160	1120	АВВГ(3х70)(1х50) Iдоп=165А
ШР-2	73,12	55	0,6	7,5	111,1/99,93	800,612	1000,76	ВА53-37 In=160 А	160	1120	АВВГ(3х50)(1х25) Iдоп=130А
ШР-3	175,89	23,23	0,14	7,5	267,24/43,82	589,75	737,18	ВА53-37 In=400 А	400	800	АВВГ(3х150)(1х50) Iдоп=400А
ШР-4	41,84	10	0,6	7,5	63,57/20,09	202,18	252,72	ВА53-37 In=100 А	100	300	АВВГ(3х25)(1х16) Iдоп=80 А
ШР-5	74,35	55	0,6	7,5	112,96/99,93	802,47	1003,08	ВА53-37 In=160 А	160	1120	АВВГ(3х50)(1х25) Iдоп=130А
ШР-6	91,00	55	0,6	7,5	138,26/99,93	827,77	1034,71	ВА53-37 In=160 А	160	1120	АВВГ(3х70)(1х50) Iдоп=165А
ШР-7	25,78	10	0,6	7,5	39,21/20,09	152,50	330,96	ВА53-37 In=63 А	63	378	АВВГ(3х10)(1х5) Iдоп=60 А
ШР-8	83,04	55	0,6	7,5	126,16/99,93	815,67	1019,58	ВА53-37 In=160 А	160	1120	АВВГ(3х50)(1х25) Iдоп=130А