



## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа включает в себя разработку схемы электроснабжения цементного завода.

Было определено напряжение распределительной сети и источники питания цеховой электрической сети. Проведен расчёт электрических нагрузок предприятия, светотехнический расчёт отдельного цеха. На основе технико-экономических показателей выбраны силовые трансформаторы, сечения проводов и кабельных линий, распределительные пункты, коммутационно-защитные аппараты. Проведены и высчитаны потери активной и реактивной мощностей и напряжения в сети данного помещения. Выбрано необходимое оборудование по части высокого напряжения.

В выпускной квалификационной работе бакалавра имеется пояснительная записка в 62 стр., также состоит из 21 таблицы, 6 чертежей в формате А1 и 7 рисунков

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Характеристика объекта и технологических показателей электроприемников.....	7
1.1 Характеристика предприятия как объект электропотребления .....	7
2 Выбор напряжения и источников питания цеховой электрической сети .....	10
3 Определение расчетных электрических нагрузок .....	12
3.1 Расчет первого уровня электроснабжения .....	12
3.2 Определение центра электрических нагрузок и выбор места расположения ЦТП .....	14
3.3 Проектирование схем внутрицехового электроснабжения .....	16
3.4 Расчет второго уровня электроснабжения .....	16
4 Светотехнический расчет блока механических цехов .....	20
5 Выбор схемы ЦТП, типа, числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности .....	25
5.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности .....	25
5.2 Выбор сечений проводов и кабельных линий .....	27
5.3 Выбор распределительных пунктов.....	29
5.4 Выбор коммутационно-защитных аппаратов.....	30
5.5 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети.....	32
5.6 Выбор оборудования на стороне ВН.....	35
5.6.1 Определение потерь мощности и напряжения в трансформаторах...35	
5.6.2 Расчет кабельных и воздушных линий.....	37
5.6.3 Выбор выключателей на 10-110 кВ.....	38
5.6.4 Выбор предохранителей на 10 кВ.....	39
5.6.5 Выбор ОПН на 10 кВ.....	40

5.6.6 Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей на 110 кВ.....	40
6 Расчет системы компенсации реактивной мощности в цеховой электрической сети.....	42
7 Расчет токов короткого замыкания и проверка основного оборудования сети.....	47
7.1 Расчет токов короткого замыкания на ВН.....	47
7.2 Расчет токов КЗ в схеме внутрицехового электроснабжения.....	50
7.3 Проверка основного оборудования сети.....	51
8 Расчет заземления.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения - это совокупность источников и систем преобразования, передачи и канализации электроэнергии, для обеспечения ею электропотребителей.

Функционирование любого промышленного предприятия немыслимо без надёжной системы электроснабжения. Она обеспечивает электроэнергией весь технологический процесс. К электроприёмникам на промышленном предприятии относятся в основном двигатели электрических приводов оборудования, различные нагревательные устройства, сварочные трансформаторы, а так же большое количество разнообразных электротехнологических устройств. В число потребителей электроэнергии входит так же система искусственного электрического освещения помещений и производственных площадок.

По тому как развивается потребление электроэнергии становятся сложным и системы снабжения электроэнергией предприятий промышленного масштаба. К ним относятся сети высокого напряжения, сети распределения электроэнергии, а иногда даже и сети промышленной теплоэлектроцентрали. Появляется надобность вводить автоматизацию СЭС предприятий промышленного масштаба и процессов, которые являются производственными. Вводить в огромных размахах быстрое выполнение производственных процессов при этом изменив телесигнализацию и телеуправление и осуществлять большую работу для уменьшения потребления электричества.

Нарастание процессов производства, увеличение продуктивности работы объединены с улучшением имеющейся и введением новейшей, идущей вперед технологии. Этому развитию помогает большое внедрение сильных преобразователе электрического тока, аппаратов для сварки металла и множество различных установок, при помощи которых, даже при всей их хорошей работоспособности влияют отрицательно на качество электричества в ЭС.

Выгодное пользование электричества имеет большее значение, и это нужно иметь в виду, когда проектируются и эксплуатируются сети низкого и высокого напряжения.

Есть направление уменьшения потерь электричества в сети, и это введение автоматизированных систем управления электроснабжением и проверкой электричества.

Целью работы является модернизация действующей схемы электроснабжения цементного завода.

К решению были поставлены следующие задачи:

1. Определение расчётных электрических нагрузок цементного завода.
2. По настоящим нагрузкам высчитать ток режима, который является номинальным и выбрать необходимое оборудование.
3. По рассчитанным токам короткого замыкания проверить оборудование предприятия.

# **1 Характеристика объекта и технических показателей приемников**

## **1.1 Характеристика предприятия как объект электропотребления**

Цементный завод состоит из 9 цехов, 7 складов, 2 гаражей и 1-ого административного корпуса, суммарная мощность которых 8315 кВт. Площадь предприятия 58007,62 м<sup>2</sup>. Источник питания удален от предприятия на 5500 м.

Технологические установки, которые потребляют электричество, распределены с соблюдением норм и правилами работы. Распределение в помещениях оборудования представляет собой наиболее удобным для рабочих.

Завод состоит из следующих производственных подразделений:

1. Здание выпуска бетонных конструкций
2. Здание выпуска керамзитобетонных конструкций
3. Бетонно-смесительное помещение
4. Хранилище цемента
5. Хранилище стальной арматуры
6. Автоматизированное помещение с устройствами приема
7. Группа механических помещений
8. Здание администрации
9. Место для хранения изготовленной продукции
10. Хранилище метизов и труб
11. Помещение для 25 автомашин
12. Автостоянка автомобилей
13. Здание труб из керамзита №1
14. Здание труб из бетона
15. Складское помещение керамзита
16. Складское помещение изготовленных труб

17.Цех для обработки дерева

18.Котельная

19.Компрессорная

Характеристика используемых электроприборов:

1. По назначению в производстве: данные электроприборы причисляются к электродвигателям силовых промышленных приборов и механизмов производства. Указанные здесь электроприборы питаются от сети 380 вольт.

2. По разновидности тока (I): данные электроприборы принадлежат к приборам, которые питаются от сети, в которой находится переменный ток имеющий частоту в 50 Герц.

3. По месту их распределения: данные электроприборы находятся на одном месте, кроме самоходной тележки.

Все потребители электроэнергии относятся к электроприборам второго класса по надежности. Напряжение на предприятие приходит с ГПП 110/10 кВ. Запитана она по кабельным линиям напряжением 10 кВ.



Рисунок 1.1 – Прокладка кабельных линий 10 кВ по эстакадам

Параметры цеха:

1. Климатические требования в помещении относятся к нормальным, вредные вещества которые находятся в помещении пригодны.

2. В случае если произойдет пожар цех соответствует нормам по классу П-Па - пожаробезопасное.

3. В случае взрыва – взрывобезопасное.

4. В случае доступа – легкодоступное.

Остановка отдельных электроприемников на общий технологический процесс существенно не влияет, но может привести к повреждению оборудования и к убытку экономики.

## **2 Выбор напряжения и источников питания цеховой электрической сети**

В соответствии с заданными условиями питание предприятия будет осуществляться от подстанции энергосистемы на напряжении 110 кВ. Для распределительной сети предприятия наиболее целесообразным вариантом являются напряжения 10 кВ. Так как на рассматриваемом предприятии отсутствуют электродвигатели увеличенной единичной мощности (250 – 630 кВт), они, как обычно, имеют напряжение питания 6 кВ, а высокое напряжение 10 кВ экономически выгоднее, нежели 6 кВ. Чтобы исключить потери в проводах и кабелях рекомендуется приблизить высокое напряжение к центру электрических нагрузок (ЦЭН) – выполнить глубокий ввод. Подстанции глубокого ввода обладают следующими недостатками: необходимо устанавливать опоры ЛЭАП на территории предприятия это создает трудности для движения транспорта по территории предприятия; высоковольтные линии электропередачи оказывают негативное влияние на здоровье людей. Исходя из перечисленных недостатков в работе будут рассмотрены два варианта выполнения системы электроснабжения: подстанция глубокого ввода (ПГВ); главная понизительная подстанция (ГПП) находится за заводом. В электрических установках до 1кВ получается главным питание 380/220 Вольт. Напряжение 380-220 Вольт отлично подходит к потребляющим приборам.

а) удобство что можно питать светильники и электрические двигатели от 220 и 380 вольт.

б) довольно минимальному напряжению от провода и до земли – 220 вольт.

Для питания электрических двигателей если использовать напряжение 127 или 220 вольт с экономической стороны не походит, потому что много потерь электроэнергии и цветного металла.

Питание 660 вольт можно использовать в случае, если по правилам планировки оборудования в цехе, запрещается приближать ЦТП к электрооборудованию, которые находятся в карьерах и под землей в шахтах.

Таким образом в качестве напряжения питания цеховой сети всех объектов предприятия принимается напряжение 380/220 В.

### 3 Определение расчетных электрических нагрузок

#### 3.1 Расчет первого уровня электроснабжения

Предоставленные данные для завода в общем порядке указаны в таблице

3.1

Таблица 3.1 – Характеристики электроприёмников

№	Наименование потребителя (цеха)	N	S, м <sup>2</sup>	P <sub>уст.ЭП</sub> , кВт		cosφ	tgφ	η, %	K <sub>U</sub>	K <sub>C</sub>	ПВ, %	P <sub>ОМ</sub> , кВт
				Для одного ЭП	Общая по ЭП							
1	Здание выпуска бетонных конструкций	50	2583,02	10-50	1100	0,7	1,02	88	0,25	0,35	60	968,3
2	Здание выпуска керамзитных конструкций из бетона	60	2287,07	1-40	1300	0,65	1,17	88	0,25	0,35	40	934,3
3	Цех размешивания цемента	30	156,93	1-40	650	0,65	1,17	88	0,25	0,35	40	467,2
4	Хранилище цемента	10	179,4	1-10	50	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	44,04
5	Хранилище стальной арматуры	15	596,41	1-20	80	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	70,43
6	Автоматизированное помещение с устройствами приема	20	627,84	1-30	296,5	0,7	1,02	88	0,6	0,7	60	260
7	Группа механических помещений	31	864,04	0,6-52,1	328,7	-	-	-	-	-	-	-
8	Здание администрации	30	2690,7	1-30	250	0,8	0,75	88	0,65	0,75	100	284,1
9	Место для хранения изготовленной продукции	5	2623,4	1-30	50	0,8	0,75	88	0,25	0,2	60	44
10	Хранилище метизов и труб	5	896,9	1-20	40	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	35,24
11	Помещение для 25 автомашин	20	941,71	1-30	150	0,8	0,75	88	0,25	-	60	132,05
12	Автостоянка автомобилей	-	7103,32	-	-	0,8	0,75	-	0,85	0,8	100	-

Продолжение таблицы 3.1

13	Здание труб из керамзита №1	50	1533,7	1-60	900	0,8	0,75	88	0,15	0,2	40	646,8
14	Здание труб из бетона	70	1883,5	1-60	1200	0,8	0,75	88	0,15	0,2	40	862,41
15	Складское помещение керамзита	5	345,32	1-20	50	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	44,02
16	Складское помещение изготовленных труб	5	807,21	1-20	50	0,45	1,98	88	0,06	0,1	60	44,04
17	Цех для обработки дерева	30	1363,3	1-30	150	0,6	1,33	88	0,16	0,2	60	132,05
18	Котельная	30	1278,1	1-80	470	0,7	1,02	88	0,6	0,7	40	337,8
19	Компрессорная	15	242,2	1-250	1200	0,8	0,75	88	0,65	0,75	60	1056,3

Самым главным моментом в создании проекта электрического снабжения является выбор и определение электрических нагрузок.

Электрическое оборудование для снабжения электричеством системы нужно подбирать по электрическим нагрузкам, по ним же нужно находить потери мощности и энергии. От того как выбрали ожидаемые нагрузки, зависит сколько потратится на электроснабжение, использованные затраты, исправность электрического оборудования.

1) По предоставленным данным находится номинальная активная мощность электрического приемника:

а) электрические нагрузки, которые работают в продленном режиме,  $ПВ = 100\%$  [1]:

$$P_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{уст}}}{\eta}. \quad (3.1)$$

б) электрические приборы, которые работают в повторно-кратковременном режиме,  $ПВ = 100\%$  [3]:

$$P_{\text{НОМ}} = \sqrt{\text{ПВ}} \cdot \frac{P_{\text{УСТ}}}{\eta}. \quad (3.2)$$

2) Высчитывается активная, реактивная и полная нагрузка образываемая одним электрическим приемником, кВт, кВАр и кВА соответственно:

$$P_{M1} = K_3 \cdot P_{\text{НОМ}}; \quad (3.3)$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \text{tg} \varphi; \quad (3.4)$$

$$S_{M1} = \sqrt{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2}. \quad (3.5)$$

3) Для сварочных аппаратов полная мощность:

$$S_{\text{НОМ}} = S_{\text{УСТ}} \sqrt{\text{ПВ}}. \quad (3.6)$$

### 3.2 Нахождение центра электрических нагрузок и выбор места размещения ЦТП

Если цеховая трансформаторная подстанция (ЦТП) находится рядом с объектами, которые питаются от нее, то это разрешает сблизить высокое напряжение к точке расхода электричества и уменьшить расстояние электросетей цеха. Благодаря этому затраты на проводники значительно сокращаются, а потери электричества в системе понижаются.

Когда ищут центр электрических нагрузок (ЦЭН) в цеху нужно применять план с размещением каждого устройства.

Центр электрических нагрузок находим по данным значениям:

$$X_P = \frac{\sum P_{Mi} \cdot x_i}{\sum P_{Mi}}; \quad (3.7)$$

$$Y_P = \frac{\sum P_{mi} \cdot y_i}{\sum P_{mi}}; \quad (3.8)$$

$$X_Q = \frac{\sum Q_{mi} \cdot x_i}{\sum Q_{mi}}; \quad (3.9)$$

$$Y_Q = \frac{\sum Q_{mi} \cdot y_i}{\sum Q_{mi}}; \quad (3.10)$$

где  $x_i$  и  $y_i$  – координаты электроприёмников по плану помещения, м.

Высчитаем центр электрических нагрузок для завода в целом. Закрепленные значения координат помещений запишем в таблицу 3.2, а координаты центра электрических нагрузок в таблице 8.

Таблица 3.2 – Установленные значения координат помещений

Номер электроприёмника	Наименование электроприёмника (Цеха)	$P_{mi}$ , кВт	$Q_{mi}$ , квар	Координаты цеха	
				$X, м$	$Y, м$
1	2	3	4	5	6
1	Здание выпуска бетонных конструкций	1100	874,94	294	228
2	Здание выпуска керамзитных конструкций из бетона	1300	1122,18	248	204,5
3	Цех размешивания цемента	650	561,09	264,5	201,5
4	Хранилище цемента	50	55,204	282	183
5	Хранилище стальной арматуры	80	88,323	351	151,5
6	Автоматизированное помещение с устройствами приема	296,5	235,84	294,5	145,5
7	Группа механических помещений	328,5	209,853	157,5	45,5
8	Здание администрации	250	160,88	96	247
9	Место для хранения изготовленной продукции	50	32,18	354	211,5
10	Хранилище метизов и труб	40	44,163	295,5	85,5
11	Помещение для 25 автомашин	150	96,56	228	86
12	Автостоянка автомобилей	0	0,000	169	48
13	Здание труб из керамзита №1	900	579,153	77,5	198,5
14	Здание труб из бетона	1200	1884,96	87,5	155,5
15	Складское помещение керамзита	50	55,204	343	151
16	Складское помещение изготовленных труб	50	55,204	182,5	158,5
17	Цех для обработки дерева	150	139,1	274,5	57,5
18	Котельная	470	373,84	66,5	72
19	Компрессорная	1200	772,202	112	78

Таблица 3.3 – Координаты центра электрических нагрузок

Наименование центра	Координаты	
	<i>X, м</i>	<i>Y, м</i>
Точка активной нагрузки	179,746	160,239
Точка реактивной нагрузки	174,817	161,881

### **3.3 Проектирование схем внутрицехового электроснабжения**

Своеобразной оригинальностью плана раздачи электроэнергии внутри цеха представляется великая распределенность сети и присутствие различного количества устройств, что дает большое действие на непоколебимость систем снабжения электричеством.

Для подбора схемы и правильного выполнения сети в цеху действуют данные обстоятельства: уровень надежности электроприемников, их расположение в помещении и то в каком порядке они работают, номинальное напряжение и ток.

Составляем вариант схемы электроснабжения. Конфигурация сети приведена на листах графической части.

### **3.4 Расчет второго уровня электроснабжения**

Нагрузку на 2 уровне выбирают определенным количеством электроприборов и модернизированным статистическим методом [2- РТМ 36.18.34.4-92].

Поэтому, имея сведения о установке электрических приемников на плане, расчётные нагрузки на начальном уровне, расположение трансформаторной подстанции в цеху, выбирают и отмечают два вида схем снабжения электричеством цеха. И благодаря этому выбираются узлы второй группы электрического снабжения, уже к которым в дальнейшем выберем расчетную нагрузку.

Расчётная электрическая нагрузка ряда электрических приемников с графиком, который является переменным выбирается из данной формулы:

$$P_M = K_P \cdot P_{CM} = K_P \cdot K_U \cdot P_H;$$

(3.11)

где  $P_{CM}$  – среднесменная мощность ЭП, кВт;

$P_H$  – общая номинальная активная мощность электроприборов, кВт;

$K_U$  – групповой коэффициент использования активной мощности;

$K_P$  – коэффициент расчетной нагрузки.

Если электроприборы работают в одном режиме, то что дано в индивидуальном  $k_u$  и общем  $K_u$  одинаковы. Если у электроприборов разные режимы работы, то общий коэффициент использования выбирают по данному значению:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_{НОМ}} = \frac{\sum_1^n k_u \cdot P_{НОМ}}{\sum_1^n P_{НОМ}}.$$

(3.12)

Показатель расчетной нагрузки  $K_P$  выбирается по таблице 1 [2] смотря какая величина  $K_u$  и резульативного числа группы электрических приемников  $n_э$ . Потому что расчетные показания  $K_u$  и  $n_э$  как это бывает часто не одинаковы с теми, которые занесены в таблицу, значит воспользуемся чтобы их найти вычислением промежуточных значений между двумя известными точками. Сменная мощность, которая больше всех загружена:

$$P_{CM} = K_U \cdot P_H.$$

(3.13)

Реактивная мощность, которая больше всех загружена:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.14)$$

Коэффициент эффективного числа электрических приемников –  $n_3$  имеет некоторое количество его определения:

$$\text{Если } n < 5; m \geq 3 \quad \text{то } n_3 = \frac{(\sum P_{ном})^2}{\sum P_{ном}^2}; \quad (3.15)$$

$$\text{Если } n \geq 5; m \geq 3 \quad \text{то } n_3 = \frac{2 \sum P_{н. \Sigma}}{P_{ном \max.}}; \quad (3.16)$$

$$\text{Если } n \geq 5; m < 3, \quad \text{то } n_3 = n. \quad (3.17)$$

Расчетная нагрузка нескольких электрических приемников выбирается из значения:

$$P_M = K_P \cdot K_U \cdot P_H. \quad (3.18)$$

Расчетная реактивная нагрузка от силовых электрических приемников выбирается:

$$1) \quad \text{при } n_3 \leq 10, Q_M = 1,1 \cdot Q_{CM}; \quad (3.19)$$

$$2) \quad \text{при } n_3 > 10, Q_M = Q_{CM}. \quad (3.20)$$

Полная мощность (максимальная):

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}. \quad (3.21)$$

Максимальный ток нагрузки силового пункта:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} . \quad (3.22)$$

Подбираем более подходящее значение  $tg\varphi$  для силового пункта:

$$tg\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{CM}}{\sum_{i=1}^n P_{CM}} . \quad (3.23)$$

Значения  $K_n$  и  $tg\varphi$  принимаем из справочника [СПЗ1-110-2003].

Исходя из этого, выполним расчёты по данной методике для всех цехов предприятия.

#### 4 Светотехнический расчет блока механических цехов

Подсчеты освещения были сделаны в специальной программе при помощи которой проектируют освещение «DIALux», которая разработана в германии компанией «DIAL GmbH» и предназначена для светотехнических расчетов наружного освещения и внутри помещения.

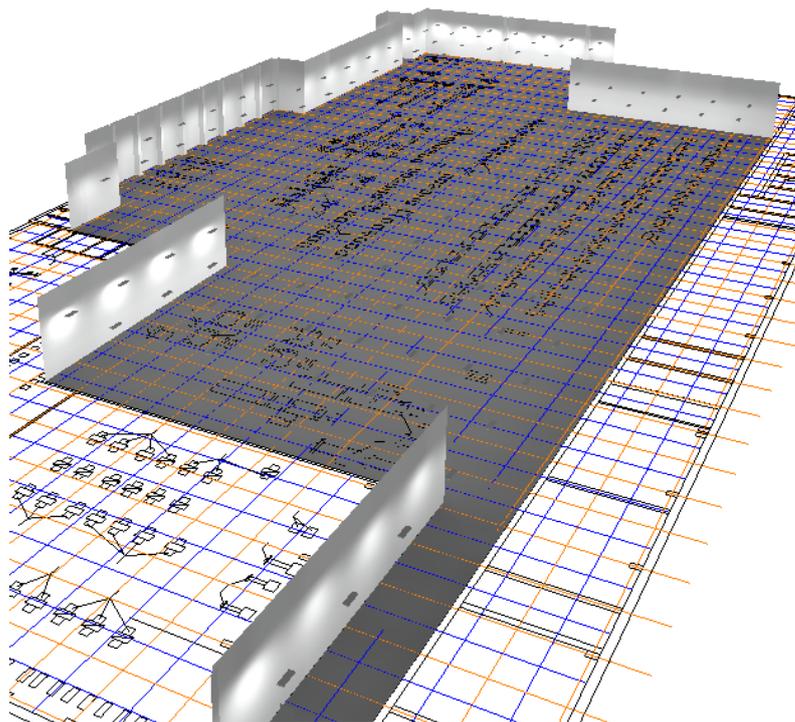


Рисунок 4.1 – 3D модель зоны блока механических цехов

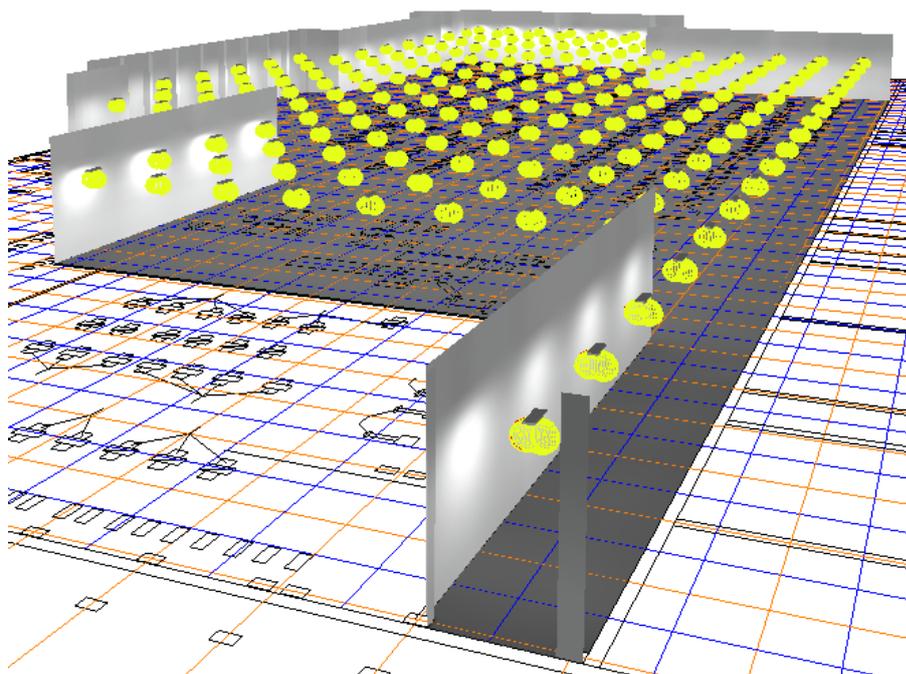


Рисунок 4.2 – 3D модель распределение света блока механических цехов

В механосборочном цехе от пола до потолков 10 метров. Установлены светильники марки ЛСПО 4x58 их количество равно 203 экземпляров, и ЛСПО 6x58 2 экземпляра. Освещение должно быть установлено на высоте 7 метров, висеть они должны на специальном тросовом подвесе.

Как установлены все параметры делается авторасчет. Результат получается в 3D визуализации и карты освещенной зоны работы.

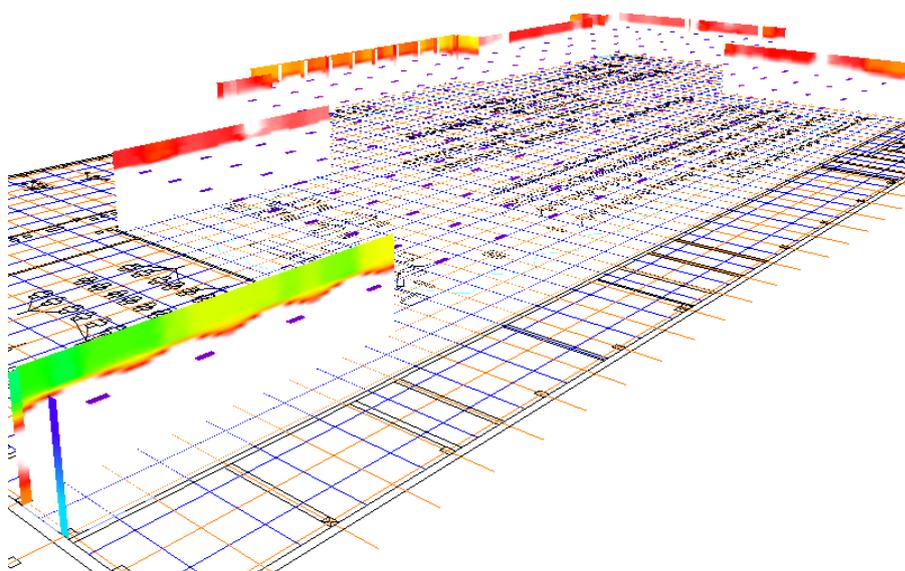


Рисунок 4.3 – 3D изображение рабочего места блока механических цехов

По принятым сведениям на рабочем месте механосборочного цеха технические требования освещения в 300 Лк подходят, освещенность 311 Лк, а коэффициент горизонтального освещения в неравномерной плоскости  $0,369 > 0,3$ .

По карте освещенность пространства изображает в 2D на расстоянии плоскости при которой происходит работа. Плоскость для работы принимаем на уровне пола (отм. 0.00м). Создаем текстуру, в которой содержится информация освещенности трехмерных моделей.

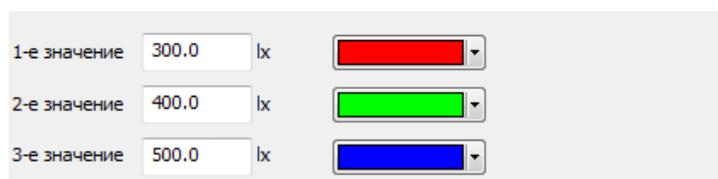


Рисунок 4.4 – Условные обозначения по карте освещенности

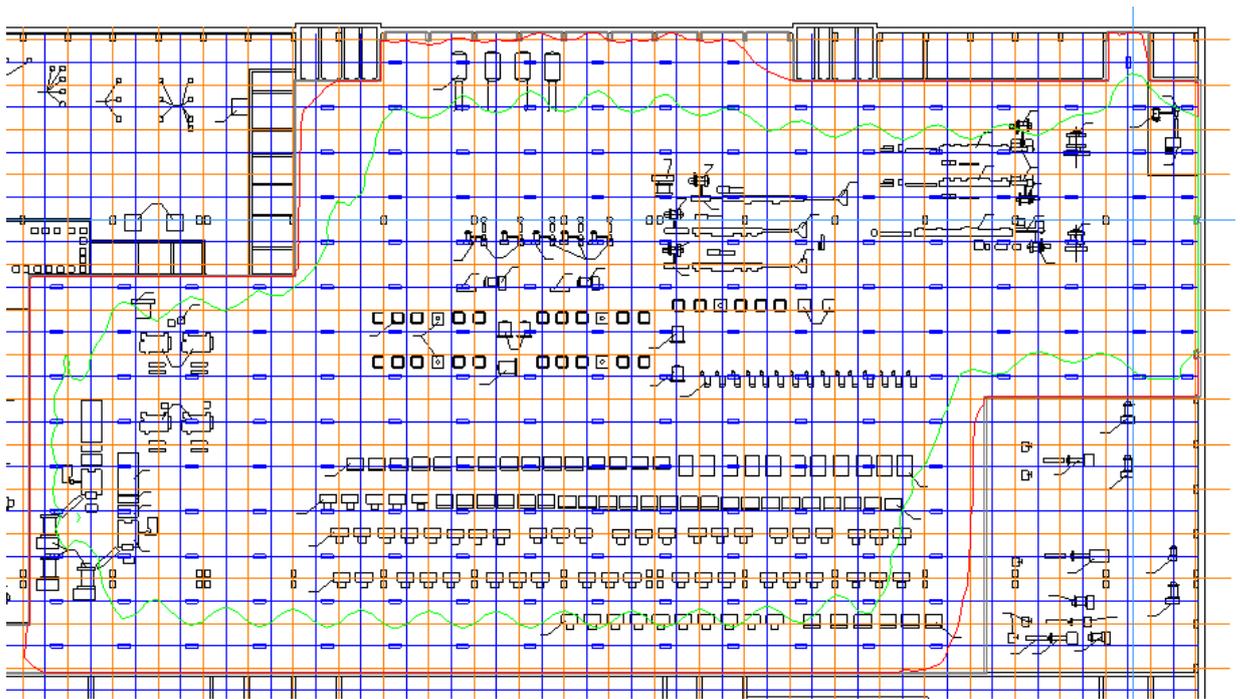


Рисунок 4.5 – Карта освещения рабочей части группы механических цехов

Есть выбор распределения и расстановки отдельных партий светильников, или же одного светильника: по виду светильника, по высоте и т.д.

Рассчитаем удельную осветительную нагрузку:

$$\frac{P_{ОСВ}}{S_{ЦЕХА}} = \frac{45,32}{864} = 0,052 \text{ (кВт/м}^2\text{)}. \quad (4.1)$$

Рассчитаем осветительную нагрузку для цеха 1:

$$P_{ОСВ} = 0,019 \cdot S_{ЦЕХА1} = 0,052 \cdot 2583,03 = 134 \text{ (кВт)}. \quad (4.2)$$

Расчет осветительной нагрузки для всех цехов сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Осветительная нагрузка всех цехов

№п/п	Наименование	$P_{уд.осв},$ $кВт / м^2$	$S, м^2$	$P_{ном.осв},$ $кВт$
1	Здание выпуска бетонных конструкций	0,053	2583,04	137
2	Здание выпуска керамзитобетонных конструкций из бетона	0,053	2287,06	119
3	Цех размешивания цемента	0,053	156,96	8,2
4	Хранилище цемента	0,053	179,38	9,3
5	Хранилище стальной арматуры	0,053	596,43	31
6	Автоматизированное помещение с устройствами приема	0,053	627,82	32,6
7	Группа механических помещений	0,053	864,00	45
8	Здание администрации	0,053	2690,66	140
9	Место для хранения изготовленной продукции	0,053	2623,39	136,4
10	Хранилище метизов и труб	0,053	896,89	46,6
11	Помещение для 25 автомашин	0,053	941,73	49
12	Автостоянка автомобилей	0,053	7103,34	369,4
13	Здание труб и керамзита №1	0,052	1533,67	80
14	Здание труб из бетона	0,052	1883,46	98
15	Складское помещение керамзита	0,052	345,30	18
16	Складское помещение изготовленных труб	0,052	807,20	42
17	Цех для обработки дерева	0,052	1363,27	71
18	Котельная	0,052	1278,06	66,5
19	Компрессорная	0,052	242,16	12,6

## 5 Выбор схемы ЦТП, типа, числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

### 5.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

Приблизительный подбор числа и мощности трансформаторов, которые находятся в помещении ведется по удельной площади  $\sigma_n$  нагрузки, кВА/м<sup>2</sup>:

$$\sigma_n = \frac{S_p}{F};$$

(5.1)

где  $S_p$  – расчётная нагрузка цеха, кВА;

$F$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>.

Подбор мощности трансформатора определяют, взяв во внимание рациональную загрузку в номинальном режиме, с расчетом что после аварийной ситуации резервирование будет наименьшим. При этом номинальная мощность трансформаторов  $S_{ном.т}$  выбирается по расчетной нагрузке  $S_p$  за самую большую загрузку смены, кВА:

$$S_{ном.т} = \frac{S_p}{N \cdot K_3};$$

(5.2)

где  $N$  – количество трансформаторов;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов.

Практически каждая требуемая реактивная мощность должна производиться именно в помещении. Значит трансформаторы выбираем по активной мощности. Расчет проведем сразу нескольких помещений. У всех

групп помещений своя нагрузка, в которых есть помещения с большой нагрузкой, и еще помещения, установленные отдельно для общепроизводственных нужд (компрессорная). Возьмем подстанции с двумя трансформаторами.

Сделаем расчет для первой группы помещений.

Удельная плотность нагрузки будет:

$$\sigma_H = \frac{\Sigma P_p}{\Sigma F} = \frac{913,677}{2583 + 2287 + 157 + 180 + 569 + 628 + 2623} = 0,11 \text{ (кВА/м}^2\text{)}. \quad (5.3)$$

Наилучший вариант если примем трансформатор до 1000 кВА .

Найдем расчётную мощность трансформаторов, здесь мы возьмем коэффициент загрузки 0,7 [1]:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{913,99}{2 \cdot 0,7} = 652,85 \text{ (кВА)}. \quad (5.4)$$

Откуда выбираем трансформатор ТМ – 1000/10/0,4.

Испытаем трансформатор на перегрузку:

$$\frac{\Sigma P_p}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{913,99}{1000} = 0,914 \leq 1,4 - \text{ все требования учитываются.} \quad (5.5)$$

При отборе трансформаторов для главной понизительной подстанции расчетную наибольшую мощность нужно умножить на коэффициент разновременности максимумов  $K_{\text{рм}}=0,9 \dots 0,95$ .

Другие трансформаторы выбираем точно также.

Подобранные трансформаторы занесем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Выбор трансформаторов

Название подстанции	Название трансформатора	Удельная плотность нагрузки, кВА/м <sup>2</sup>	$S_{РАСЧ.ТР},$ кВА	$P_{НАГР},$ кВт	Перегрузка, кВт	$S_{НОМ.ТР},$ кВА	$U_{ВН}$	$\Delta P_X,$ кВт	$\Delta P_K,$ кВт	$I_{XX},$ %	$U_{КЗ},$ %
ЦПП – 1	ТМ 1000/10/04	0,11	652,9	914	1400	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5
ЦПП – 2	ТМ 630/10/0,4	0,08	439,9	615,84	882	630	10	1,31	7,6	2	5,5
ЦПП – 3	ТМ 1000/10/04	0,096	812,24	1137,1	1400	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5
ГПП	ТМН 2500/110/Ю		1959,7 3	2606,4 1	3500	2500	11 0	6,5	22	1,5	10,5

## 5.2 Выбор сечений проводов и кабельных линий

Провода и кабеля в помещении выберем по разогреву продолжительным расчетным током:

$$I_{дон} \geq I_p ; \quad (5.6)$$

где  $I_{дон}$  – продолжительно разрешенный ток материала;

$I_p$  – расчетный ток кабеля.

Расчетный ток вычисляем по формуле:

$$I_p = \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi} ; \quad (5.7)$$

где  $P_m$  – наибольшая расчетная нагрузка, вычисленная на II уровне;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности электрического приемника.

Сечения проводов электрических приборов были выбраны в ПЗ.1. Далее необходимо выбрать сечения кабелей, питающих силовые пункты и ВРУ цехов.

Таблица 5.2 – Используемые кабели для силовых пунктов

СП	$I_M, A$	$F, мм^2$	$L, км$	$r_{уд}, Ом/км$	$x_{уд}, Ом/км$	Марка кабеля
Кабель до СП1	83,8	35	0,005	0,89	0,065	АВВГ 4Х35
Кабель до СП2	66,5	25	0,003	1,25	0,067	АВВГ 4Х25
Кабель до СП3	30,1	10	0,017	3,13	0,069	АВВГ 4Х10
Кабель до СП4	35,7	10	0,028	3,13	0,068	АВВГ 4Х10
Кабель до СП5	5,2	10	0,030	3,13	0,069	АВВГ 4Х10

Таблица 5.3 – Используемые кабели

Наименование помещения/ТП	$I_M, A$	$F, мм^2$	$L, км$	$r_{уд}, Ом/км$	$x_{уд}, Ом/км$	Марка кабеля
1	2	3	4	5	6	7
Кабель до помещения 1(1–4) медный	291,8	150	0,055	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до помещения 2(1–4) медный	280,2	150	0,005	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до помещения 3(1–2)	268,1	95	0,034	0,199	0,07	ВВГ 4Х95
Кабель до помещения 4(1–2)	27,4	16	0,032	1,953	0,07	АВВГ 4Х16
Кабель до помещения 5(1–2)	47,7	50	0,076	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до помещения 6(1–2)	156,4	70	0,027	0,446	0,07	АВВГ 4Х70
Кабель до помещения 7(1–2)	153,5	70	0,097	0,446	0,07	АВВГ 4Х70
Кабель до помещения 8(1–2)	195	120	0,083	0,260	0,07	АВВГ 4Х120

Продолжение таблицы 5.3

Кабель до помещения 9(1–2)	57,4	50	0,089	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до помещения 10(1–2)	31,1	50	0,182	0,625	0,07	АВВГ 4Х50
Кабель до помещения 11(1–2)	86,9	95	0,106	0,329	0,07	АВВГ 4Х95
Расстояние кабеля до автопарковки	174,9	120	0,021	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до помещения 13(1–2) медный	387,5	185	0,055	0,102	0,07	ВВГ 4Х185
Кабель до помещения 14(1–4) медный	257,3	150	0,005	0,126	0,07	ВВГ 4Х150
Кабель до помещения 15(1–2)	29,3	16	0,019	1,953	0,07	АВВГ 4Х16
Кабель до помещения 16(1–2)	35,1	25	0,049	1,250	0,07	АВВГ 4Х25
Кабель до помещения 17(1–2)	92	95	0,135	0,329	0,07	АВВГ 4Х95
Кабель до помещения 18(1–2)	208,2	120	0,042	0,260	0,07	АВВГ 4Х120
Кабель до помещения 19(1–4)	302,4	185	0,042	0,102	0,07	ВВГ 4Х185

### 5.3 Выбор распределительных пунктов

Для первого варианта схемы электроснабжения, исходя из значений токов, выберем силовые пункты. Результаты сведем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Силовые пункты

Название	Марка	$I_p$ , А	$I_H$ , А	$N_{ПРИС}$	$N_{НОМ.ПРИС}$	Ц, руб
Силовой пункт1	ПР113077–21–043	83,78	До 250	7	10	9268
Силовой пункт2	ПР113077–21–043	66,51	До 250	7	10	9268
Силовой пункт3	ПР113067–21–043	30,13	До 250	7	10	9268

Силовой пункт4	ПР113077–21–043	35,73	До 250	4	6	7288
Силовой пункт5	ПР113059–21–043	5,16	До 250	6	8	3921

#### 5.4 Выбор коммутационно-защитных аппаратов

Важнейшими показателями автоматических выключателей являются номинальный ток выключателя  $I_{ном,а}$ , номинальный ток расцепителя  $I_{ном,рас}$ .

Выбор автоматических выключателей делаем исходя из формул:

$$U_{ном,пр} \geq U_c ; \quad (5.8)$$

$$I_{ном,рас} \geq I_{р,мах} ; \quad (5.9)$$

где  $U_c$  – номинальное напряжение сети;

$I_{р,мах}$  – максимальный рабочий ток.

За ток уставки берем более приближенное, большее из ряда номинальных токов расцепителя.

Что получилось по ходу выбора автоматических выключателей по 1 варианту занесем в таблицу 5.5

Таблица 5.5 – Выбор выключателей для электроприёмников

Местоположение выключателя на разветвлении:	Защитный аппарат	$I_{р,мах}, A$	$I_{ра}, A$	$I_{ном,рас}, A$	$I_{откл.ном}, A$	Ц, руб
1	2	3	4	5	6	7
ответвление1	АЕ2030	11,08	25	12,5	3	95
ответвление2	ППН 33 -100	19,2	100	100	3	62,7
ответвление3	АЕ2030 - 12,5	11,1	25	12,5	3	95
ответвление4	АЕ2030 - 8	6,5	25	8	3	95
ответвление 5	АЕ2030 - 3,2	2,45	25	3,2	3	95
ответвление 6	АЕ2030 - 6	5,8	25	6	3	95
ответвление 7	АЕ2030 - 6	5,8	25	6	3	95
ответвление 8	АЕ2030 - 16	12,6	25	16	3	95
ответвление 9	АЕ2030 - 10	8,31	25	10	3	95
ответвление 10	АЕ2030 - 16	14,4	25	16	3	95
ответвление 11	АЕ2040 - 40	33,6	63	40	6	158,4

ответвление 12	AE2040 - 80	62,73	63	80	6	158,4
ответвление 13	AE2030 - 3,2	4,1	25	3,2	3	95

Продолжение таблицы 5.5

ответвление 14	AE2030 - 16	14,3	25	16	3	95
ответвление 15	AE2030 - 3,2	4,1	25	3,2	3	95
ответвление 16	AE2030 - 16	14,5	25	16	3	95
ответвление 17	AE2030 - 16	14,5	25	16	3	95
ответвление 18	AE2030 - 16	14,5	25	16	3	95
ответвление 19	AE2030 - 16	14,5	25	16	3	95
ответвление 20	AE2030 - 6	14,5	25	6	3	95
ответвление 21	AE2030 - 6	3,6	25	6	3	95
ответвление 22	AE2030 - 6	5	25	6	3	95
ответвление 23	AE2030 - 16	5	25	16	3	95
ответвление 24	AE2030 - 16	14,5	25	16	3	95
ответвление 25	AE2040 - 80	14,5	63	80	6	158,4
ответвление 26	AE2030 - 5	62,7	25	5	3	95
ответвление 27	AE2030 - 8	3,61	25	8	3	95
ответвление 28	AE2030 - 3,2	5,7	25	3,2	3	95
ответвление 29	AE2030 - 2	4,3	25	2	3	95
ответвление 30	AE2030 - 3,2	0,9	25	3,2	3	95
ответвление 31	AE2030 - 3,2	4,34	25	3,2	3	95

Как правильно выбирать выключатели описано выше. Максимальный рабочий ток  $I_{p,max}$ . То что получилось при выборе автоматических выключателей для двух вариантов и их расценки укажем в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Итоги выбора выключателей для силовых пунктов

Расположение выключателя на ответвлении:	Тип выключателя	$I_{Pmax}, A$	$I_{Pa}, A$	$I_{ном.рас}, A$	$I_{откл.ном}, A$	Ц, руб
Силовой пункт1	A – 3716	83,8	160	100	75	1155.00
Силовой пункт2	A – 3716	66,5	160	80	75	1155.00
Силовой пункт3	A – 3716	30,11	160	40	75	996
Силовой пункт4	A – 3716	13,1	160	50	75	996
Силовой пункт5	A – 3716	5,2	160	16	75	996

## 5.5 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети

Потерю напряжения в кабельных линиях определяем по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cdot \cos \varphi + x_{y\partial} \cdot \sin \varphi) \text{ (Вольт);} \quad (5.10)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А;

$r_{y\partial}, x_{y\partial}$  – активное и реактивное удельные сопротивления кабелей, Ом/км;

$l$  – длина линии, км;

$\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  соответствуют коэффициенту мощности в конце линии.

Чтобы найти потери энергии в линии нужно знать каковы потери мощности. Потери энергии влияют на приведённые затраты варианта. Потери активной мощности в линии определим как:

$$\Delta P = I_m^2 \cdot l \cdot r_{y\partial} \text{ (Вт);} \quad (5.11)$$

Потери реактивной мощности определим по формуле:

$$\Delta Q = I_m^2 \cdot l \cdot x_{y\partial} \cdot 3 ; \quad (5.12)$$

Приведем пример для приемника № 4 первого варианта.

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

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 6,486 \cdot 1,512 \cdot (0,0125 \cdot 0,5 + 0,00007 \cdot 0,87) = 0,138 \text{ (В);} \quad (5.13)$$

$$\Delta P = 3 \cdot 6.486^2 \cdot 1.512 \cdot 0.00125 = 0,238 \text{ (Вт)};$$

$$(5.14)$$

$$\Delta Q = 6.486^2 \cdot 1.512 \cdot 0.00007 = 0,01336 \text{ (Вт)}.$$

$$(5.15)$$

Расчёт потерь напряжения и мощности для остальных электроприёмников определяется аналогично.

В таблице 5.7 результаты расчетов потерь напряжения и мощности для кабелей внутрицеховой сети.

Таблица 5.7 – Потери напряжения и мощности кабелей внутрицеховой сети

Расстояние кабеля до силового пункта	$I_M, A$	$F, мм^2$	$L, км$	$r_{уд}, Ом/км$	$x_{уд}, Ом/км$	$\cos(f)$	$\Delta U_1,$ $B$	$\Delta P_1,$ $Bm$	$\Delta Q_1,$ $вар$
До силового пункта1	83,8	35	0,005	0,89	0,065	0,6	0,450	99,04	7,255
До силового пункта2	66,5	25	0,003	1,25	0,067	0,6	0,278	49,76	2,6646
До силового пункта3	30,1	10	0,017	3,13	0,069	0,61	1,685	140,72	3,085
До силового пункта4	35,8	10	0,028	3,13	0,068	0,86	4,728	336,44	7,289
До силового пункта5	5,17	10	0,030	3,13	0,069	0,71	0,598	7,4	0,164

Высчитаем расходы напряжения до каждого электрического приемника после чего найдем потери напряжения в процентах от номинального.

Для того чтобы найти потери напряжения в процентах используем значение:

$$\Delta U_{\%} = \Delta U \cdot \frac{100}{380} ;$$

$$(5.16)$$

Пример расчета приведем для электроприемника №12.

$$\Delta U_{12-СП1} = 0,61 \text{ В}; \quad \Delta U_{СП1-ТП} = 0,449 \text{ (В)}; \quad (5.17)$$

$$\Delta U = \Delta U_{12-СП1} + \Delta U_{СП1-ТП} = 0,61 + 0,449 = 1,059 \text{ (В)}; \quad (5.18)$$

$$\Delta U_{\%} = \Delta U \cdot \frac{100}{380} = 1,059 \cdot \frac{100}{380} = 0,27(\%). \quad (5.19)$$

Расчет для остальных электроприемников такой же.

Вычисление потерь напряжения и мощности для кабелей, соединяющих цеховую трансформаторную подстанцию и ВРУ цехов находится также. Результаты вычислений запишем в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Потери напряжения и мощности для кабелей, соединяющих ЦТП и ВРУ цехов

Наименование помещения/ТП. Кабель	$I_M, A$	$F, мм^2$	$L, км$	$r_{уд}, Ом/км$	$x_{уд}, Ом/км$	$\cos(f)$	$\Delta U_1, В$	$\Delta P_1, Вт$	$\Delta Q_1, вар$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние до помещения 1(1-4) медный	291,8	150	0,055	0,126	0,07	0,70	3,84	1769	984,4
Расстояние до помещения 2(1-4) медный	280,2	150	0,005	0,126	0,07	0,65	0,33	148,2	82,45
Расстояние до помещения 3(1-4) медный	268,1	95	0,034	0,199	0,07	0,65	2,87	1451	511,3
Расстояние до помещения 4(1-2)	27,4	16	0,032	1,953	0,07	0,45	1,42	139,3	4,991
Расстояние до помещения 5(1-2)	47,7	50	0,076	0,625	0,07	0,45	2,17	325,5	36,45
Расстояние до помещения 6(1-2)	156,4	70	0,026	0,446	0,07	0,70	2,60	866,8	135,9
Расстояние до помещения 7(1-2)	153,5	70	0,097	0,446	0,07	0,80	10,36	3074	482

Расстояние до помещения 8(1-2)	195	120	0,083	0,260	0,07	0,80	6,98	2453	659,4
Расстояние до помещения 9(1-2)	57,4	50	0,089	0,625	0,07	0,80	4,79	548,7	61,45
Расстояние до помещения 10(1-2)	31,1	50	0,182	0,625	0,07	0,45	3,37	329,7	36,93
Расстояние до помещения 11(1-2)	86,9	95	0,106	0,329	0,07	0,80	4,86	788,1	167,7
Расстояние до автостоянки	174,9	120	0,021	0,260	0,07	0,60	1,36	505,9	136
Расстояние до помещения 13(1-2) медный	387,5	185	0,055	0,102	0,07	0,80	4,57	2530	1736
Расстояние до помещения 14(1-4) медный	257,3	150	0,005	0,126	0,07	0,80	0,32	124,9	69,5
Расстояние до помещения 15(1-2)	29,3	16	0,019	1,953	0,07	0,45	0,91	96,06	3,443
Расстояние до помещения 16(1-2)	35	25	0,049	1,250	0,07	0,45	1,85	224,1	12,55
Расстояние до помещения 17(1-2)	92	95	0,136	0,329	0,07	0,60	5,47	1131	240,6
Расстояние до помещения 18(1-2)	208,2	120	0,042	0,260	0,07	0,70	3,55	1434	385,5
Расстояние до помещения 19(1-4) медный	302,4	185	0,042	0,102	0,07	0,80	2,74	1185	813,4

## 5.6 Выбор оборудования на стороне ВН

### 5.6.1 Определение потерь мощности и напряжения в трансформаторах

Потерю активной мощности в трансформаторах определим по формуле:

$$\Delta P = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot P_k \cdot \frac{S^2}{S_{ном.т}^2}; \quad (5.20)$$

где  $n$  – число трансформаторов;

$P_{xx}$  и  $P_k$  – мощности холостого хода и короткого замыкания трансформаторов, кВт;

$S_{ном.т}$  – номинальная мощность трансформаторов, кВА.

Потерю напряжения в трансформаторах определим по формуле:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_p \cdot \cos \varphi - U_a \cdot \sin \varphi); \quad (5.21)$$

где  $\alpha = U_0/U_{ном}$  – коэффициент, равный отношению вторичного напряжения трансформатора при коротком замыкании, к номинальному напряжению сети;

$\beta = S/S_{ном}$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

$U_a$  и  $U_p$  – активная и реактивная составляющие напряжения к.з. –  $U_k$ , %.

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{10 \cdot S_{ном}}; \quad (5.22)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}. \quad (5.23)$$

Для трансформатора ТМ-1000/10/0,4. Проведем вычисление потерь напряжения:  $S = 1000$  кВА;  $\cos \varphi = 0,661$ ;  $\sin \varphi = 0,75$ .

$$U_a = \frac{12200}{10 \cdot 1000} = 1,22(\%); \quad (5.24)$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36(\%); \quad (5.25)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{T1} &= \frac{913,99}{2000} \cdot (1,22 \cdot 0,661 + 5,36 \cdot 0,75) + \\ &+ \left( \frac{913,99}{2000} \right)^2 \cdot \frac{1}{200} \cdot (5,36 \cdot 0,661 - 1,22 \cdot 0,75) = 2,21(\%); \end{aligned} \quad (5.26)$$

$$\Delta P = 2 \cdot 2,45 + \frac{1}{2} \cdot 12,2 \cdot \frac{913,99^2}{1000^2} = 9,99 \text{ (кВт)}. \quad (5.27)$$

У следующих трансформаторов вычисление потерь будет таким же.  
Вычисление потерь для всех трансформаторов сведем в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 – Потери в трансформаторах

Название трансформаторной подстанции	Название трансформатора	$P_{расч},$ кВт	$S_{ном.тр}$ кВА	$U_{вн},$ кВ	$\Delta P_x,$ кВт	$\Delta P_k,$ кВт	$I_{xx},$ %	$U_{кз},$ %	$\Delta P,$ кВт	$U_{a.кз},$ %	$U_{p.кз},$ %	$\Delta U,$ %
Цеховая подстанция 1	ТМ 1000/10/0,4	914	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5	10,00	1,22	5,36	2,21
Цеховая подстанция 2	ТМ 630/10/0,4	615,8	630	10	1,31	7,6	2	5,5	6,25	1,21	5,37	2,18
Цеховая подстанция 3	ТМ 1000/10/0,4	1137,1	1000	10	2,45	12,2	1,4	5,5	12,79	1,22	5,36	2,57
Цеховая понижительная подстанция	ТМН 2500/110/10	2743,6	2500	110	6,5	22	1,5	10,5	26,25	0,88	10,46	4,38

### 5.6.2 Расчет кабельных и воздушных линий

Подбор сделаем для кабеля ААБл – 10 – 3\*50 сечение которого 50 мм<sup>2</sup>, и у которого длительно допустимый ток 140 А.

Высчитаем потери напряжения в кабеле:

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

(5.28)

Высчитаем потери мощности в кабеле:

$$\Delta P_{\text{кл}} = 3 \cdot I_{\text{кл}}^2 \cdot 1 \cdot r_{\text{уд}} = 3 \cdot 30,1^2 \cdot 0,144 \cdot 0,625 = 244,7 \text{ (Вт)}; \quad (5.29)$$

$$\Delta Q_{\text{кл}} = 3 \cdot I_{\text{кл}}^2 \cdot 1 \cdot x_{\text{уд}} = 3 \cdot 30,1^2 \cdot 0,144 \cdot 0,08 = 31,32 \text{ (Вар)}. \quad (5.30)$$

Для ВЛ - W1,2 взяли провод АС-70/11 с общим сечением 70 мм<sup>2</sup>, сечением стальной жилы 11 мм<sup>2</sup>, которая имеет длительно допустимый ток 265 А.

Какие были выбраны сечения, и потери мощности, запишем в таблицу 5.10.

Таблица 5.10 – Выбор кабелей

Наименование цеха/ТП	$I_M, A$	$F, \text{мм}^2$	$L, \text{км}$	$r_{\text{уд}}, \text{Ом/км}$	$x_{\text{уд}}, \text{Ом/км}$	$\cos(\varphi)$	$\Delta U_1, B$	$\Delta P_1, \text{Вт}$	$\Delta Q_1, \text{вар}$
Расстояние до подстанции 1(1–2)	30,1	50	0,09	0,625	0,08	0,66	1,41	97,15	12,44
Расстояние до подстанции 2(1–2)	18,7	50	0,06	0,625	0,08	0,75	1,61	62,57	8,009
Расстояние до подстанции 3(1–2)	44,4	50	0,09	0,625	0,08	0,74	3,61	336,2	43,03
Линия (1–2)	7,6	70	0,22	0,420	0,441	0,71	1,73	15,63	16,41

### 5.6.3 Выбор выключателей на 10-110 кВ

#### Для ЦТП - 1

$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot I_{\text{т.ном}} = 1,4 \cdot 57,8 = 81 \text{ (А)}$ . Берем выключатель нагрузки ВНР-10/400-10ЗУЗ [3].

Параметры данного ВН:

- номинальный ток, А 400
- ток отключения, А 800
- номинальное напряжение, кВ 10

Выбор всех выключателей сведем в таблицу 5.11.

Таблица 5.11 – Выбор автоматических выключателей

	Наименование	$I_{раб}, A$	$I_{ном}, A$	$I_{откл}, A$	$U_{НОМ}, кВ$
Цеховая трансформаторная подстанция 1	ВНР – 10/400–10з0зУЗ(вв)	60,2	400	800	10
	ВНР – 10/400–10з0зУЗ(вв)	60,2	400	800	10
Цеховая трансформаторная подстанция 2	ВНР – 10/400–10з0зУЗ(вв)	37,4	400	800	10
	ВНР – 10/400–10з0зУЗ(вв)	37,4	400	800	10

Продолжение таблицы 5.11

Цеховая трансформаторная подстанция 3	ВНР – 10/400–10з0зУЗ(вв)	88,8	400	800	10
	ВНР – 10/400–10з0зУЗ(вв)	88,8	400	800	10
Главная понизительная подстанция	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/в)	186,4	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/в)	186,4	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/с)	93,2	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/отх.л)	60,2	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/отх.л)	60,2	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/отх.л)	37,4	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/отх.л)	37,4	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/отх.л)	88,8	630	10000	10
	ВВТЭ – М – 10 – 20/630 У2(в/отх.л)	88,8	630	10000	10
Линия электропередач	МКП – 110Б – 630 – 20 У1	15,2	630	20000	110
	МКП – 110Б – 630 – 20 У1	15,2	630	20000	110

#### 5.6.4 Выбор предохранителей на 10 кВ

Для ЦТП – 1

Плавкая вставка выбирается путем отстройки от тока броска намагничивания по условию:

$$I_{вс.ном} = (1,5-2) I_{т.ном}$$

$$2 I_{т.ном} = 72,8 \text{ А};$$

$$1,5 I_{т.ном} = 54,6 \text{ А};$$

$$I_{вс.ном} = 80 \text{ А}.$$

$$2 I_{т.ном} = 115,6 \text{ А};$$

$$1,5 I_{т.ном} = 86,7 \text{ А};$$

$$I_{вс.ном} = 100 \text{ А}.$$

Защитный предохранитель взяли марки ПКТ103-10-12,5УЗ.

Параметры данного предохранителя:

- номинальный ток плавкой вставки, А 100
- ток отключения, А 12500
- номинальное напряжение, кВ 10

Выбор предохранителей на подстанции ЦТП 2 и 3 сведем в таблицу 5.12.

Таблица 5.12 – Выбор предохранителей

номер ТП	$I_{раб}, А$	$I_{вс.ном}, А$	$I_{откл}, А$	Тип исполнения
Первая	115,6	100	12500	ПКТ103 – 10 – 12,5 УЗ
	86,7	100	12500	ПКТ103 – 10 – 12,5 УЗ
Вторая	72,8	80	12500	ПКТ103 – 10 – 12,5 УЗ
	54,6	80	12500	ПКТ103 – 10 – 12,5 УЗ
Третья	115,6	100	12500	ПКТ103 – 10 – 12,5 УЗ
	86,7	100	12500	ПКТ103 – 10 – 12,5 УЗ

### 5.6.5 Выбор ограничителя перенапряжения на 10 кВ

$U_p = 10$  кВ. Подбираем ограничитель перенапряжения марки VariGAP стандартный класс (UNG).

Характеристики ограничителя перенапряжения:

- класс рабочего напряжения, кВ 15
- наибольшее напряжение в системе, кВ 12,7
- наименьшее напряжение перекрытия, кВ 25,4
- степень защиты на фронте импульса, кВ 43
- коммутационный импульс, кВ 28,8

### 5.6.6 Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей на 110 кВ

С учетом перегрузки  $1,4I_{т.ном} = 18,4$  А Выбираем разъединитель РНД(З)-110(Б)(У)-1000У1(ХЛ).

Его основные характеристики:

- номинальный ток, А 1000
- ток отключения, А -
- номинальное напряжение, кВ 110

Подбор всех устройств ОРУ-110 сведем в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 – Выбор коммутационных аппаратов ОРУ 110 кВ

Название	$I_{раб}, А$	$I_{ном}, А$	$U_{НОМ}, кВ$	Тип исполнения
Размыкатель	18,4	1000	110	РНД(З)-110-(Б)(У)/1000У1(ХЛ).
Аппарат для автоматического отключения	18,4	1000	110	ОД-110/1000-У1
Аппарат для искусственного КЗ	-	-	110	КЗ-110-У1

## 6 Расчет системы компенсации реактивной мощности в цеховой электрической сети

Важнейшим и наиболее значительным вопросом при разработке и подготовке проекта систем электроснабжения завода, учитывается вопрос о компенсации реактивной мощности.

Отдача большой доли реактивной мощности из энергосистемы к заказчикам нецелесообразна потому что: появляются внеочередные убытки энергии и активной мощности везде в элементах электроснабжения, определенные загрузкой их реактивной мощностью, и добавочные затраты напряжения в снабжающих сетях.

Восполнение реактивной мощности с его же усовершенствованием электроэнергии непосредственно в сетях промышленных предприятий представляется одним из важнейших указаний уменьшения затрат электроэнергии и увеличения результативности электроустановок завода.

Уравнение баланса реактивной мощности запишем:

$$Q_{ИП} + Q_{КУ} = Q_{\Sigma H} + \Delta Q_{\Sigma} + Q_{рез}; \quad (6.1)$$

$Q_{ИП}$  - мощность источника питания;

$Q_{КУ}$  - мощность компенсирующих аппаратов;

$Q_{\Sigma H}$  - реактивная мощность нагрузки;

$\Delta Q_{\Sigma}$  - общие потери реактивной мощности по помещению;

$Q_{рез}$  - мощность резерва.

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

$$Q_{ИП} = P_{PM} \cdot \operatorname{tg}(\varphi); \quad (6.2)$$

где  $P_{PM}$  – активная мощность нагрузки;

$tg(\varphi) = 0,29$  – тангенс, задаваемый энергосистемой.

$$Q_{III} = 2606,42 \cdot 0,29 = 755,86 \text{ (кВАр)}; \quad (6.3)$$

где  $Q_{рез}$  - мощность резерва, составляет 6 % от мощности источника.

$$Q_{рез} = 0,06 \cdot 755,86 = 45,35 \text{ (кВАр)}; \quad (6.4)$$

где  $Q$  - суммарные потери в сетях предприятия.

$$Q = Q_{КЛ} + Q_{тр} \quad (6.5)$$

где  $Q_{КЛ}$  – затраты мощности в кабельной линии которая связывает главную понизительную подстанцию с цеховой трансформаторной подстанцией и цеховую трансформаторную подстанцию с внутренним распределительным устройством цеха;

$\Delta Q_{тр}$  – потери реактивной мощности в трансформаторе.

Рассчитаем потери по всему предприятию и сведем их в таблицу.

Таблица 6.1 – Потери которые подсчитываются по всему заводу

Название цеха/ТП	$\Delta Q_2, \text{вар}$	$N$ кабелей	$\Delta Q, \text{вар}$
1	2	3	4
Длина кабеля до здания 1(1–4) медный	89,4	4	357,6
Длина кабеля до здания 2(1–4) медный	454	4	1815,71
Длина кабеля до здания 3(1–2) медный	256	2	511,3
Кабель до цеха 4(1–й/2–й)	3,7	2	7,33
Кабель до цеха 5(1–й/2–й)	43,5	2	87,1
Кабель до цеха 6(1–й/2–й)	337	2	674,2
Кабель до цеха 7(1–й/2–й)	440	2	880,2
Кабель до цеха 8(1–й/2–й)	507,3	2	1014,1
Кабель до цеха 9(1–й/2–й)	42,4	2	84,9
Кабель до цеха 10(1–й/2–й)	30,5	2	60,99
Кабель до цеха 11(1–й/2–й)	208	2	415,94

Продолжение таблицы 6.1

Длина кабеля до автопарковки	32,1	1	32,1
Длина кабеля до здания 13(1–2) медный	1069	2	2137
Длина кабеля до здания 14(1–4) медный	69,51	4	278
Длина кабеля до здания 15(1–2)	6,89	2	13,7
Длина кабеля до здания 16(1–2)	15,3	2	30,56
Длина кабеля до здания 17(1–2)	225,51	2	451,1
Длина кабеля до здания 18(1–2)	636	2	1272
Длина кабеля до здания 19(1–4) медный	651	4	2603
Длина кабеля до КТП -1(1–2)	31,3	2	62,64
Длина кабеля до КТП -2(1–2)	25,3	2	50,55
Длина кабеля до КТП -3(1–2)	116	2	232,2
Суммарные потери Q, ВАр			13072

Для цеховой трансформаторной подстанции – 1 трансформатор 3:

$$\Delta Q_{\text{ТР}} = n \cdot \frac{I_{\text{ХХ}}}{100} S_{\text{НОМ}} + \frac{1}{n} \cdot \frac{u_{\text{К}}}{100} \cdot \frac{(S_{\text{Н}})^2}{S_{\text{НОМ}}} = 2 \cdot \frac{1,4}{100} 1000 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(913,99)^2}{1000} = 50,972 (\text{кВар}). \quad (6.6)$$

Вычисление потерь для общего числа трансформаторов запишем в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Расчёт потерь для всех трансформаторов

Название подстанции	$P, \text{кВт}$	$S_{\text{НОМ.ТР}}, \text{кВА}$	$U_{\text{ВН}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ХХ}}, \%$	$U_{\text{КЗ}}, \%$	$\Delta P_{\text{К}}, \text{кВт}$	$\Delta Q, \text{квар}$
Центральная ТП – 1	914	1000	10	1,4	5,5	10,00	51
Центральная ТП – 2	615,8	630	10	2	5,5	6,25	41,7
Центральная ТП – 3	1137,1	1000	10	1,4	5,5	12,79	63,6
Главная понизительная подстанция	2743,6	2500	110	1,5	10,5	26,25	233,1
Суммарные потери Q, кВАр							389,4

$$\Sigma Q = 13,072 + 389,36 = 402,43 (\text{кВАр}). \quad (6.7)$$

Потери реактивной мощности в кабелях, питающих отдельные электрические приемники, не считаются, потому что минимальны и не создают видимого эффекта на общие потери.

$$Q_{KY} = Q_{\Sigma H} + \Sigma Q + Q_{рез} - Q_{ИП} = 0 + 402,43 + 45,35 - 755,86 = - 308,078 \text{ (кВАр)}. (6.8)$$

Так как мощность заменяющих приборов вышла не положительная, значит ставить в сети 10 кВ компенсирующие приборы не нужно.

Пользуясь данными о нагрузках предприятия из пункта 5.1 выберем тип и количество ККУ.

Таблица 6.3 – Варианты установки ККУ

№	Наименование узлов питания и групп помещений	$Q_m, \text{квар}$	Тип исполнения КУ	$N$ батарей	$Q_{\Sigma}, \text{квар}$
1	2	3	4	5	6
I	ЦТП - 1				
	Здание выпуска бетонных конструкций	740,86	УКЛ (II) Н-0,38-432-108УЗ	2	864
	Здание выпуска керамзитных конструкций из бетона	819,25	УКЛ (II) Н-0,38-432-108УЗ	2	864
	Цех размешивания цемента	409,6	УКЛ (II) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Хранилище цемента	65,51	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Хранилище стальной арматуры	104,81	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Автоматизированное помещение с устройствами приема	199,7	УКН-0,38-108УЗ	2	216
	Место для хранения изготовленной продукции	24,76	УКН-0,38-75УЗ	1	75
II	ЦТП - 2				
	Группа механических помещений	139,68	УКН-0,38-75УЗ	2	150
	Здание администрации	159,8	УКЛ (II) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Здание труб из керамзита №1	363,8	УКЛ (II) Н-0,38-216-108УЗ	2	432
	Здание труб из бетона	485,12	УКЛ (II) Н-0,38-300-150УЗ	2	600
	Складское помещение керамзита	65,51	УКН-0,38-75УЗ	2	150

	Складское помещение изготовленных труб	65,51	УКН-0,38-75У3	2	150
III	ЦТП - 3				
	Хранилище метизов и труб	52,4	УКН-0,38-75У3	2	150
	Помещение для 25 автомашин	74,27	УКН-0,38-75У3	2	150
	Автостоянка автомобилей	-	-	-	-
	Цех для обработки дерева	132,03	УКН-0,38-75У3	2	150
	Котельная	258,5	УКН-0,38-150У3	2	300
	Компрессорная	594,15	УКЛ (П) Н-0,38- 300-150У3	2	600

## 7 Расчет токов короткого замыкания и проверка основного оборудования сети

### 7.1 Расчет токов короткого замыкания на ВН

Важнейшим основанием расстройства правильного режима работы сети электроснабжения представляется появление в сети или в электрооборудовании возникновения короткого замыкания, причиной чего может быть непредусмотренные действия обслуживающих электромонтеров или замыкание проводов. Чтобы уменьшить вред, относящемуся к поломке электрооборудования при прохождении токов КЗ, а еще чтобы наиболее в скорое время восстановить нормальный режим работы, нужно всегда правильно выбирать токи КЗ, и уже по ним подбирать коммутационные аппараты.

Расчет ТКЗ выполняется в именованных или относительных единицах.

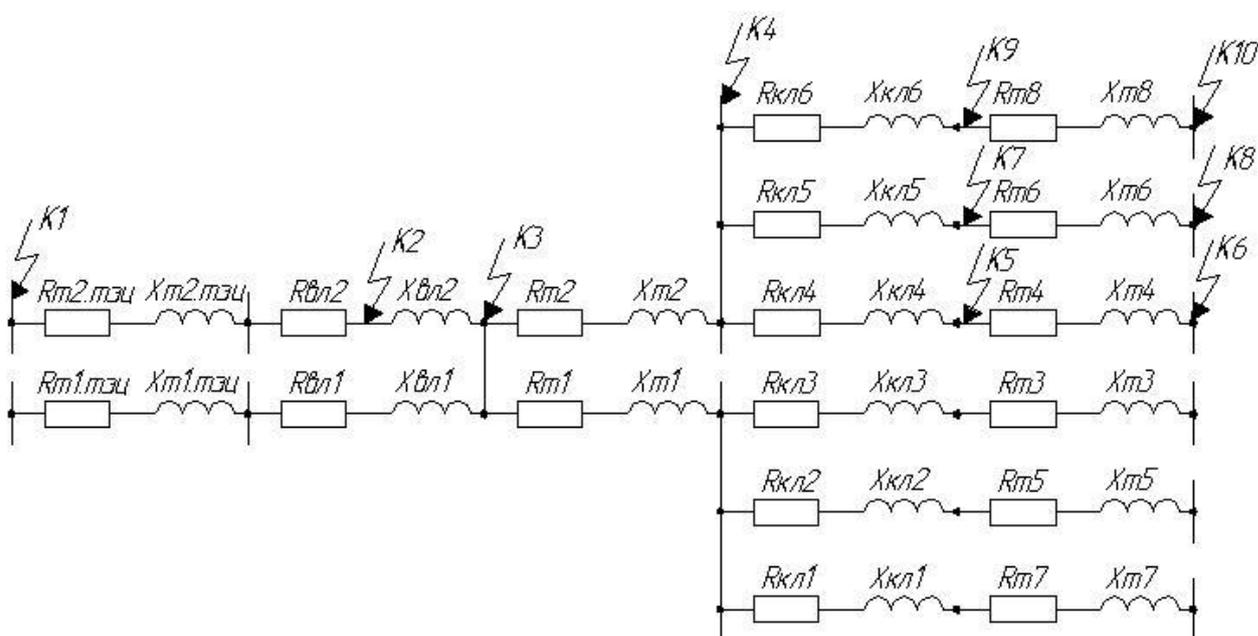


Рисунок 7.1 – Схема замещения

Для данной сети расчет ТКЗ будем вести в именованных единицах.

Для расчета ТКЗ на первом этапе необходимо определить сопротивления всех элементов сети. Определим сопротивления для трансформатора:

$$r_{T1-2} = \Delta P_{K3} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = 170 \cdot \frac{115^2}{40000^2} = 1,405 (Ом); \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} x_{T1-2} &= \sqrt{Z_{T1-2}^2 - r_{T1-2}^2} = \sqrt{\left(\frac{U_{K3} \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H}\right)^2 - r_{T1-2}^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 40000}\right)^2 - 1,405^2} = 34,715 (Ом). \end{aligned} \quad (7.2)$$

Определим сопротивления линий:

$$r_{вл1-2} = r_0 \cdot l = 0,42 \cdot 5,5 = 2,31 (Ом); \quad (7.3)$$

$$x_{вл1-2} = x_0 \cdot l = 0,441 \cdot 5,5 = 2,42 (Ом). \quad (7.4)$$

Определим сопротивления до точки К1:

$$r_{рез} = \frac{r_{T1} \cdot (r_{T2} + r_{БЛ1} + r_{БЛ2})}{r_{T1} + r_{T2} + r_{БЛ1} + r_{БЛ2}} = \frac{1,405 \cdot (1,405 + 2,31 + 2,31)}{1,405 + 1,405 + 2,31 + 2,31} = 1,14 (Ом); \quad (7.5)$$

$$x_{рез} = \frac{x_{T1} \cdot (x_{T2} + x_{БЛ1} + x_{БЛ2})}{x_{T1} + x_{T2} + x_{БЛ1} + x_{БЛ2}} = \frac{34,715 \cdot (34,715 + 2,42 + 2,42)}{34,715 + 34,715 + 2,42 + 2,42} = 18,49 (Ом). \quad (7.6)$$

Значение ТКЗ в точке К1:

$$I_{K3} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2}} = \frac{115000}{1,73 \cdot \sqrt{1,14^2 + 18,49^2}} = 3588 (А). \quad (7.7)$$

Ударный ТКЗ определяется:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{K3}; \quad (7.8)$$

где  $K_{уд}$  - ударный коэффициент.

$$i_{уд} = 1,89 \cdot K_{уд} \cdot i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,89 \cdot 3588 = 9590(A). \quad (7.9)$$

Результаты расчета ТКЗ для всех расчетных точек, обозначенных на рисунке 7.1 сведем в таблицу 7.1

Таблица 7.1 – Результаты расчета ТКЗ

Расчетная точка КЗ	Наименование элемента	$r, Ом$	$x, Ом$	$r_{КЗ}, Ом$	$x_{КЗ}, Ом$	$I_{КЗ}, A$	$x/r$	$k_u$	$I_{уд}, A$
1,1'	Трансформатор источника	1,405	34,716	1,139	18,491	3588,06	24,71	1,89	9590,40
2,2'	Середина линии	1,155	1,213	1,678	18,551	3568,79	1,05	1,06	5349,85
3,3	Конец линии	2,310	2,426	1,858	18,571	3561,76	1,05	1,06	5339,32
4,4'	Обмотка ВН трансформатора	46,552	555,45	48,41	574,021	115,39	11,93	1,75	285,59
4,4'	Обмотка НН трансформатора	0,352	4,2	0,40	4,744	1214,15	11,93	1,75	3004,87
5,5'	Кабельная линия 1	0,090	0,012	0,49	4,756	1209,11	0,13	1,00	1709,93
7,7'	Кабельная линия 2	0,188	0,024	0,588	4,768	1203,20	0,13	1,00	1701,58
9,9'	Кабельная линия 3	0,154	0,012	0,554	4,764	1205,32	0,13	1,00	1704,58
6,6'	Обмотка ВН цеховой ТП1	1,220	5,50	1,71	10,256	555,96	4,51	1,43	1124,33
6,6'	Обмотка НН цеховой ТП1	0,002	0,009	0,003	0,016	13898,95	4,51	1,43	28108,21
8,8'	Обмотка ВН цеховой ТП2	1,915	8,73	2,503	13,498	421,05	4,56	1,43	851,51
8,8'	Обмотка НН цеховой ТП 2	0,003	0,014	0,004	0,022	10526,36	4,56	1,43	21287,72
10,10'	Обмотка ВН цеховой ТП3	1,220	5,50	1,774	10,264	554,96	4,51	1,43	1122,32
10,10'	Обмотка НН цеховой ТП 3	0,002	0,009	0,003	0,016	13874,07	4,51	1,43	28057,88

## 7.2 Расчет токов КЗ в схеме внутрицехового электроснабжения

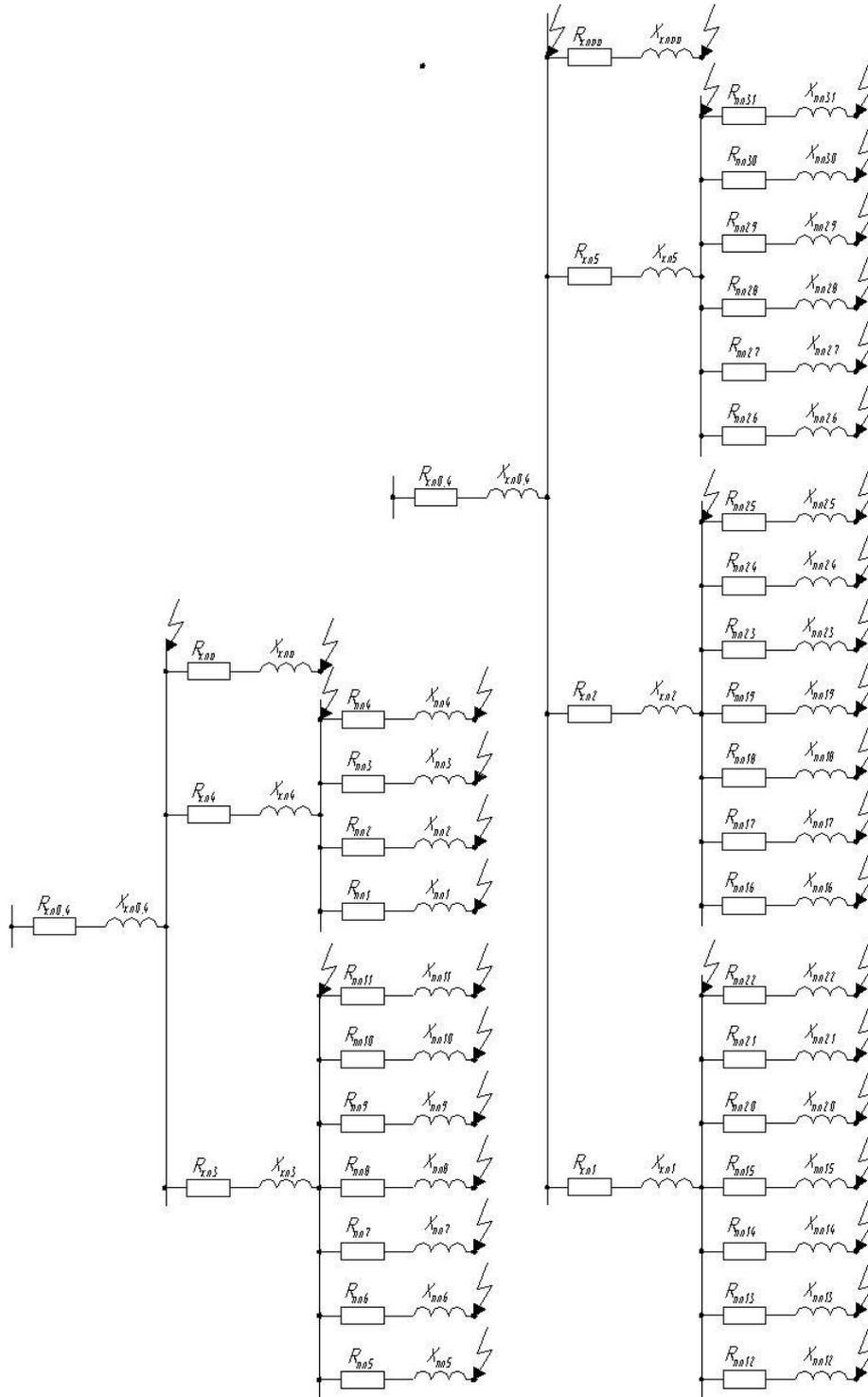


Рисунок 7.2 – Схема замещения для расчета ТКЗ

Расчет ТКЗ на стороне низкого напряжения 0,4 кВ делается также как на стороне ВН 110 - 10 кВ, кроме такого момента, что на шинах ТП принимается во

внимание активное добавочное сопротивление  $R_{доб}$ , мОм. Если шина близко значение меньше, а если дальше, то больше. Рассчитаем ток КЗ на шинах ЦТП:

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

(7.10)

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

(7.11)

$$i_{yo} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 8037 = 11934(\text{А}).$$

(7.12)

Чтобы высчитать однофазное КЗ будем пользоваться следующим значением:

$$I_{к3}^{(1)} \geq \frac{U_{\Phi}}{Z_T / 3 + Z_{\Pi}};$$

(7.13)

где  $U_{\Phi}$  – в сети напряжение равно 220 В;

$Z_T / 3$  – сопротивление трансформатора току однофазного КЗ на корпус в нашем случае 0,358 Ом;

$Z_{\Pi}$  – полное сопротивление петли фазный нулевой провод.

### 7.3 Проверка основного оборудования сети

#### 1. Проверка выключателя Q1,2

а) по номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{уст};$$

(7.14)

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

б) по номинальному длительному току:

$$I_{ном} \geq I_{раб}; \quad (7.15)$$

$$I_{ном} = 630 \text{ A} > I_{ав} = 7,58 \text{ (A)}; \quad (7.16)$$

в) на динамическую стойкость:

$$I_{нс} \geq I_{кз}^3; \quad (7.17)$$

$$i_{нс} \geq i_{уд}; \quad (7.18)$$

где  $I_{нс}$  – предельный сквозной ток;

$I_{кз}^3$  – наибольший ток трехфазного короткого замыкания;

$i_{нс}$  – амплитудное значение предельного сквозного тока;

$i_{уд}$  – ударный ток.

$$I_{нс} = 52 \text{ кА} > I_{кз}^3 = I_{к1}^3 = 3,58 \text{ (кА)}; \quad (7.19)$$

$$i_{нс} = 52 \text{ кА} > i_{уд} = 9,59 \text{ (кА)}; \quad (7.20)$$

г) по допустимому току термической стойкости:

$$I_t^2 \cdot t \leq I_\infty^2 \cdot t_{np}; \quad (7.21)$$

$$3,58^2 \cdot 2,2 \leq 20^2 \cdot 3; \quad (7.22)$$

где  $I_\infty$  - предельный ток термической стойкости.

$$I_\infty^2 \cdot t_{np} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \geq I_t^2 \cdot t = 3,58^2 \cdot 2,2 = 28,32 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}; \quad (7.23)$$

д) по отключающей способности выключателя:

$$I_{кз} < I_{отк}; \quad (7.24)$$

$$3,58 \text{ (кА)} < 20 \text{ (кА)}.$$

(7.25)

2. Обследование сечений провода линий электропередач ВН по выдержки токам короткого замыкания выполняется по формуле:

$$F_{\text{кл}} \geq F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \text{ (мм}^2\text{)}; \quad (7.26)$$

где  $C$  – функция, значения которой зависят от вида проводника и номинального напряжения, для рассматриваемого кабеля  $C = 100$ .

$$B_K = (I_{\text{кз}}^2) \cdot (t_{o,\text{в}} + T_{a,c}); \quad (7.27)$$

где  $t_{o,\text{в}}$  – время отключения участка сети, которое состоит из времени отключения выключателя и времени действия релейной защиты;

$T_{a,c} = 0,01$  с - постоянная времени сети.

$$B_K = 3,59^2 \cdot (0,12 + 0,1 + 0,01) = 2,964 \text{ (кА}^2\text{·с)}; \quad (7.28)$$

$$F_{\text{min}} = F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{35,80 \cdot \sqrt{2}}{100} = 52 \text{ (мм}^2\text{)}; \quad (7.29)$$

$F_{\text{кл}} = 70 \text{ мм}^2$ , т.е. условие выполняется.

## 8 Расчет заземления

С линии 10 кВ сопротивление заземляющего устройства выберем как:

$$R_3 \leq \frac{125}{I_{3НЗ}}; \quad (8.1)$$

где  $I_{3НЗ}$  - ток замыкания на землю на стороне 10 кВ, А.

Ток можно определить по формуле:

$$I_{3НЗ} = \frac{\sqrt{3}U \cdot l}{a}; \quad (8.2)$$

где  $U$  – линейное напряжение сети, кВ;

$l$  – суммарная длина линий, км;

$a = 10$  кВ·км/А – коэффициент для кабельных линий.

$$I_{3НЗ} = \frac{\sqrt{3}10 \cdot 13,82}{10} = 2,39 \text{ (А)}; \quad (8.3)$$

$$R_3 = \frac{125}{2,39} = 52,28 \text{ (Ом)}. \quad (8.4)$$

Сопротивление заземляющего устройства для электрических установок напряжением до 1 кВ не надо брать больше 4 Ом, значит берем  $R_3 = 4$  Ом.

Нужные данные по заземлителям не нашли поэтому берем:  $R_{II} = 0$  Ом.

Выбираем расчетные сопротивления земли для для обоих заземлителей:

$$\rho_p = \rho_{y\delta} \cdot K_{II}; \quad (8.5)$$

где  $\rho_{y\delta} = 100$  Ом·м – удельное сопротивление грунта типа суглинок;

$K_{II}$  - увеличивающие коэффициенты для вертикальных и горизонтальных электродов при данном типе грунта.

$$\rho_{pI} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}; \quad (8.6)$$

$$\rho_{pB} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}. \quad (8.7)$$

Вертикальные электроды сделаны из арматуры которая имеет диаметр 16 миллиметров. Сопротивление растеканию одного вертикального электрода стержневого типа:

$$R_{OBЭ} = \frac{\rho_{pB}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right); \quad (8.8)$$

где  $l = 2$  м – длина электрода;

$d = 0,016$  м – диаметр электрода;

$t = 1,7$  м – длина от верха земли до середины электрода.

$$R_{OBЭ} = \frac{140}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 1}{4 \cdot 1,7 - 1} \right) = 64,89 \text{ (Ом)}; \quad (8.9)$$

Линия заземления расположена в 1 метре от помещения. Линия выполнена размером - 38×26 м. Взяв это во внимание заранее возьмем число вертикальных заземлителей если расстояние между ними 4 метра:

$$N = P/4 = 32 \text{ (шт)}; \quad (8.10)$$

где  $P = 128$  м – линия обхватывающего заземления.

К утвержденному количеству заземлителей коэффициент использования при отношении расстояния между электродами к их длине которая будет 3 составит  $k_{и,в} = 0,6$ . А значит электродов будет:

$$N = \frac{R_{OЭВ}}{k_{И,В} \cdot R_3} = \frac{64,89}{0,6 \cdot 4} = 27,037 \approx 28 \text{ (шт)}. \quad (8.11)$$

Оба вида электродов сделаны из одинакового металла. Находим расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов:

$$R_{РГЭ} = \frac{\rho_{р,Г}}{k_{И,Г} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_Г} \cdot \ln \frac{l_Г^2}{d \cdot t_Г}; \quad (8.12)$$

где  $k_{И,Г}$  - коэффициент использования горизонтального заземлителя если число вертикальных электродов будет 28;

$l_Г$  - длина горизонтального заземлителя;

$t_Г$  - длина горизонтального заземлителя в глубь земли.

$$R_{РГЭ} = \frac{200}{0,46 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 128} \cdot \ln \frac{128^2}{0,016 \cdot 0,708} = 7,668 \text{ (Ом)}. \quad (8.13)$$

Подтверждаем нужное сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{ВЭ} = \frac{R_{РГЭ} \cdot R_3}{R_{РГЭ} - R_3} = \frac{7,668 \cdot 4}{7,668 - 4} = 8,362 \text{ (Ом)}. \quad (8.14)$$

Находим сколько нужно вертикальных электродов:

$$N = \frac{R_{OЭВ}}{k_{И,В} \cdot R_{ВЭ}} = \frac{64,89}{0,6 \cdot 8,362} = 12,934 \approx 13 \text{ (шт)}. \quad (8.15)$$

В итоге берем 13 вертикальных электродов. Из них 8 размещены в длину, пять в ширину.

Проведем проверку:

$$R_{\text{ВЭ}} = \frac{R_{\text{ОВЭ}}}{k_{\text{и,В}} \cdot N} = \frac{64,89}{0,6 \cdot 13} = 8,319 \text{ (Ом)}; \quad (8.16)$$

$$R_3 = \frac{R_{\text{РГЭ}} \cdot R_{\text{ВЭ}}}{R_{\text{РГЭ}} + R_{\text{ВЭ}}} = \frac{7,668 \cdot 8,319}{7,668 + 8,319} = 3,99 \text{ (Ом)}. \quad (8.17)$$

Для того, чтобы выбрать заземление для помещения, нужно 154 метра арматуры из стали диаметром 16 миллиметров.

Распределим:

1) 26 м – для 13 вертикальных электродов имеющей длину 2 метра, распределенных по границе электрода, который вкопан в землю на 0,7 метра;

2) 128 м – чтобы углубить горизонтальный электрод, находящийся в земле на 0,7 м, и который объединяет вертикальные электроды, объединения сделаны при помощи сварки металла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной бакалаврской работы рассчитали электроснабжение цементного завода. Расчёт проводили на основе показателей блока механических цехов, который относится к этому предприятию. За разработки работы учитывались важнейшие параметры приемников электроэнергии: расчётная мощность, номинальное напряжение, номинальный ток. Приняв во внимание всю необычность данного предприятия, за расчетный вариант была принята схема электроснабжения для цеха и схема электроснабжения для данного завода.

В данной схеме электроснабжения цеха выполнялось детальное электротехническое вычисление силовой области. Была проведена 3-D визуализация освещенности механосборочного цеха, на основании которого для установки в цеху были выбраны светильники ЛСПО 4×58 в количестве 203 штуки, а также светильники ЛСПО 6×58 в количестве 2 штук.

Также на основании расчётов были выбраны для установки на территории завода силовые трансформаторы: в ЦТП-1 устанавливается ТМ 1000/10/0,4; в ЦТП-2 устанавливается ТМ 630/10/0,4; в ЦТП-3 устанавливается ТМ 1000/10/0,4; в ГПП устанавливается ТМН 2500/110/10.

Также рассчитали потери активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети, потери в силовых трансформаторах.

На основании расчётных данных выбрали следующее оборудование для завода: кабельные линии, высоковольтные выключатели, предохранители, ограничители перенапряжения, разъединители, отделители, короткозамыкатели.

Также рассчитали необходимую величину компенсации реактивной мощности в цеховой электрической сети. Для проверки главных устройств сети высчитали ТКЗ.

Рассчитали заземление, которое необходимо подстанциям завода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. А.М. Меламед М.: НЦ ЭНАС, 2012.
2. ПОТ РМ-016-2001, РД 153-310-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, утвержденных Минтруд, Минэнерго России, 2013.
3. ПОТ РМ-016-2001, РД 153-310-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, утвержденных Минтруд, Минэнерго России, 2014.
4. Правила проектирования и монтажа электроустановок, утвержденных Минэнерго России, 2012.
5. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ, утвержденных Минэнерго России, 2012.
6. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках, РД 153.34.03.603-2003, утвержденных Минэнерго России, 2014.
7. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий, РД 153 – 34.0 – 03.301 – 00, утвержденных РАО «ЕЭС России», 2013.
8. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, РД 153–34.21.122 – 2003, утвержденных Минэнерго России, 2014.
9. Методические указания по устойчивости Энергосистем, утвержденных Минэнерго России, 2013.
10. Проектирование силовых электроустановок промышленных предприятий. Нормы технологического проектирования, НТП 99, утвержденных ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2012.

11. Рождествина, А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / А.А. Рождествина. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
12. Нормы устройства электроустановок производственных зданий, утвержденных ЗАО «Энергосервис», 2013.
13. Диагностика оборудования силовых масляных трансформаторов: учебное пособие, Е.Е. Пивалов  
«Директ-Медиа», 2015 год.- 82 страницы
14. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 352 с
15. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2013. - 412 с.
16. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г. М. Кнорринга. Л., «Энергия», 2012. – 98 с.
17. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
18. Электрические кабели провода и шнуры: Справочник/Н. И. Белоруссов и др. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2012. – 536 с.
19. А.М. Кривцов, В.В. Шеховцов Сетевое планирование и управление: Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Экономика, 2012г. – 243 с.
20. Основы электробезопасности: учебное пособие: в 3 ч., Ч.2. Заземление электроустановок систем электроснабжения. Е.Е. Пивалов  
«Директ-Медиа», 2016 год -156 страниц
21. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие / А. В. Лыкин. - Гриф УМО. - М. : Логос, 2012. - 253 с.
22. Кудрин, Б. И. Электрооборудование промышленности : учеб. для вузов / Б. И. Кудрин, А. Р. Минеев. - Гриф УМО. - М. : Академия, 2013. - 424 с.

23. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 / [науч. ред. Б.Н. Неклепаев]. - М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2013. - 143 с.

24. Кужеков, С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - Изд. 2-е, доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2012. - 492 с.

25. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. - 479 с.

26. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.

27. Изоляция и перенапряжение в системах электроснабжения: учебное пособие, Ч.1. С.В. Горелов, Л.Н. Татьянченко, С.О. Хомутов.

«Директ-Медиа», 2016 год- 117 страниц

28. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - М.: Форум, 2012. - 496 с.