

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

**«Допущен к защите»**  
Заведующий кафедрой ЭПП  
Бакенов К. А., к.т.н., доцент

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

На тему: Определение мощности компенсирующих устройств для сети нелинейными и резкопеременными нагрузками и анализ схемы электроснабжения

Специальность 5В071800 – Электроэнергетика

Выполнил (а) Болатбекулы F ЭСНУ-10

Научный руководитель Алибаева С. А – к.э.н., профессор АУЭС

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

**Консультанты:**

по экономической части:

Жакупов А. А - к.э.н, профессор АУЭС

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

по безопасности жизнедеятельности:

Мананбаева С. Е. - старший преподаватель «ОТиОС»

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

по применению вычислительной техники:

Жакупов А. А - к.э.н, профессор АУЭС

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

Нормоконтролер: Казанина И. В - к.т.н, доцент кафедры ЭПП

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

Рецензент: Бектенов Б. – инженер РЗА АО «АЖК»

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

Алматы 2014 г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Электроэнергетический  
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика  
Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Болатбекулы Галым

Тема проекта: Определение мощности компенсирующих устройств для сети нелинейными и резкопеременными нагрузками и анализ схемы электроснабжения

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.

Срок сдачи законченной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:

Генеральный план завода. Сведения об электрических нагрузках цехов завода. Сведения об электрических нагрузках по цеху. Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два параллельно работающих трансформатора мощностью по 80 МВА, напряжение 115/37/10,5 кВ. Трансформаторы работают раздельно. Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 2100 МВА. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 7 км. Завод работает в три смены.

Перечень подлежащих разработке в дипломного проекта вопросов или краткое содержание выпускной работы:

Расчет осветительных нагрузок цехов предприятия. Расчет электрических нагрузок цехов на шинах 0,4 кВ и 10,5 кВ. Определение числа и мощности цеховых трансформаторов. Расчет компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ и 10,5 кВ. Сравнение вариантов внешнего электроснабжения. Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания напряжением выше 1 кВ. Рассмотрение вопросов безопасности жизнедеятельности и охраны труда. Рассмотрение экономических вопросов.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Генеральный план завода ферросплавов;
2. Однолинейная схема электроснабжения завода ферросплавов;
3. План и разрез ГПП 110/10 кВ с двумя трансформаторами мощностью 40 МВА;
4. Выбор мощности компенсирующих устройств для сети с нелинейными и резкопеременными нагрузками и анализ схемы электроснабжения;

Рекомендуемая основная литература:

1. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебник для проф.учебных заведений. – М.: Высшая школа, 2001.
2. Барыбина Ю.Г. и др. Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Барыбина Ю.Г. и др. Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2005.
5. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Федоров А.А. и др. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Методика расчета электрических нагрузок промышленных предприятий с применением ЭВМ. Методическое пособие. – Алматы.: АЭС, 1988.

Консультации по работе с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Специальная часть	проф.,к.э.н. Алибаева С. А.		
Экономическая часть	проф. к.э.н. Жакупов А. А.		
Безопасность жизнедеятельности	ст.преп. Мананбаева С. Е.		

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Сбор необходимого материала и ознакомление с состоянием проблемы		
2	Расчет электроснабжения завода		
3	Выбор схемы внешнего электроснабжения		
4	Выбор расчетов токов короткого замыкания $U > 1$ кВ		
5	Отладка и испытание программ		
6	Технико-экономическое обоснование		
7	Безопасность жизнедеятельности		

Дата выдачи задания « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (Бакенов К. А.)

Руководитель дипломного проекта \_\_\_\_\_ (Алибаева С. А.)

Задание принял к исполнению

Обучающийся \_\_\_\_\_ (Болатбекұлы F)

## **АННОТАЦИЯ**

В выпускной работе была рассмотрена технологическая схема электроснабжения завода ферросплавов, произведен расчет нагрузок, компенсации реактивной мощности, произведено технико-экономическое сравнение вариантов электроснабжения, выбрано оборудование выше 1000 В.

Рассчитаны экономическая и специальные части, выполнен раздел «Безопасности жизнедеятельности».

## **АНДАТПА**

Бұл бітіру жұмысында ферроқорытпа зауытының технологиялық сұлбасы қарастырылды, электрлік жүктемелерге есептеу, реактивтік қуатқа өтемақы, электрмен жабдықтау нұсқаларына техника-экономикалық салыстырулар жүргізілді, 1000 В жоғары электр жабдықтар таңдап алынды.

«Өміртіршілік қауіпсіздігінің мәселелері», экономикалық және арнайы бөлімдер орындалды.

## **ABSTRACT**

In the final work was considered flowsheet electricity Ferroalloy Plant, a calculation load, reactive power compensation, produced feasibility compare alternative power supply, equipment selected above 1000 V.

Calculated economic and special parts made section "Safety".

## **СОДЕРЖАНИЕ**

АННОТАЦИЯ.....	1
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	9
1.1 Технология производства .....	10
2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА.....	11
2.1 Расчет осветительной нагрузки.....	11
2.2 Расчет электрических силовых нагрузок.....	15
2.3 Определение числа цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на низкой стороне .....	21
2.4 Распределение $Q_{\text{нбк}}$ пропорционально реактивным нагрузкам ТП.....	24
2.5 Расчет высоковольтных нагрузок .....	25
2.5.1 Потери мощности в цеховых трансформаторах.....	25
2.5.2 Определение расчетной мощности синхронных двигателей.....	25
2.5.3 Определение расчетной мощности ДСП.....	26
2.5.4 Расчет компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП .....	27
3 ВЫБОР СХЕМЫ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	30
3.1 Вариант I. Питание от шин 115 кВ подстанции .....	31
3.2 Вариант II. Питание от трансформатора подстанции со стороны 37 кВ и 10 кВ .....	36
3.3 Вариант III. Питание от шин 10,5 кВ.....	42
4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ $U > 1$ КВ .....	47
4.1 Выбор выключателей .....	49
4.2 Выбор измерительных трансформаторов .....	51
4.2.1 Выбор трансформаторов тока .....	51
4.2.2 Выбор трансформаторов напряжения .....	55
4.3 Расчет шин 10 кВ .....	55
4.4 Выбор силовых кабелей .....	56
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СЕТИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ И РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ И АНАЛИЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	59
5.1 Общая часть.....	59
5.2 Расчет резкопеременной нагрузки .....	63
5.3 Расчет нелинейной нагрузки .....	64

5.4	Вывод .....	67
6	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ФИНАНСОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГООБЪЕКТ.....	68
6.1	Общая часть.....	68
6.1.1	Цели разработки проекта.....	68
6.1.2	Анализ рынка сбыта .....	68
6.1.3	Тарифы на электроэнергию .....	68
6.1.3	План производства .....	69
6.1.4	Экологическая информация .....	69
6.2	Расчет технико-экономических показателей.....	70
6.2.1	Определение капитальных вложений.....	70
7	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	74
7.1	Оценка влияния завода ферросплавов на окружающую среду .....	74
7.2	Анализ условий труда обслуживающего персонала электроремонтного цеха, при эксплуатации технического оборудования .....	75
7.3	Расчет категории опасности завода .....	76
7.3.1	Расчет выбросов вредных веществ.....	76
7.3.2	Расчет высоты трубы цеха электропечей.....	79
7.3.3	Расчет вентиляции электроремонтного цеха.....	80
7.4	Расчет зануления электроремонтного цеха.....	86
7.5	ВЫВОД.....	89
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	91
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Электроэнергия используется во всех сферах деятельности, в основном для электропривода разных механизмов, а в последние годы и для разной электротехнологических установок, первоочередно для электротермических и электросварочных установок. Большую часть электроприемников составляют приводы общепромышленных механизмов, используемые во всех сферах деятельности: подъемные транспортные машины, поточные транспортные системы, компрессоры, насосы, вентиляторы.

В сегодняшнее время быстрыми шагами развивается производство для цветной металлургии больших электромашин и электрических машин маленькой мощности, электроаппаратуры напряжением до 1000 В и выше.

Для обеспечения подачи электрической энергии в нужном количестве и соответствующего качества от энергосистем промышленным объектам, установкам, устройствам и механизмам служат системы ЭПП (электроснабжения промышленных предприятий), состоящие из сетей напряжением до и выше 1000 В, трансформаторных, преобразовательных и распределительных подстанций. Передача, распределение и потребление выработанной энергии на промышленных предприятиях должны производиться с высокой экономичностью и надежностью. Для обеспечения этого энергетиками создана надежная и экономичная система распределения электрической энергии на всех стадиях используемого напряжения с максимальным приближением высокого напряжения к потребителям.

У потребителей электричества есть свои особенности, чем и обусловлены определенные требования электроснабжению надежность питания, качество электрической энергии, резервирование и защита отдельных элементов. При проектировании сооружений и эксплуатации систем ЭПП необходимо правильно реализовать в экономическом аспекте выбор напряжений определять электрические нагрузки, выбирать вид, число и мощность трансформаторных под станций, типы их защит, системы компенсации реактивной мощности и методы регулирования напряжения.

В системе цехового распределения электрической энергией обширно используются КРУ, подстанции и силовые токопроводы. Это создает гибкую и надежную систему распределения, в результате чего можно сэкономить большое количество проводов и кабелей. Широко применяются совершенные системы автоматики и простые, надежные устройства защиты отдельных элементов системы ЭПП.



## 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1. Схема генерального плана завода.
2. Сведения об электрических нагрузках по цехам завода.
3. Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два трансформатора мощностью по 80 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Трансформаторы работают раздельно. Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 2100 МВА.
4. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 7 км.
5. Завод работает в три смены.

Таблица 1.1 – Электрические нагрузки по заводу

Наименование	Кол-во ЭП, $n$	Установленная мощность, кВт	
		Одного ЭП, $P_H$	$\Sigma P_i$
1. Гараж	20	1-20	300
2. Столовая	30	1-40	400
3. Заводуправление	10	10-20	100
4. ЦЗЛи СКБ	30	1-28	370
5. Компрессорная станция:			
а) 0,4 кВ;	20	10-40	500
б) СД 10 кВ	4	1250	5000
6. Цех электропечей №1:			
а) 0,4 кВ;	80	1-50	3700
б) ДСП 25 т	2	по каталогу	
7. Кузнечно-механический цех	38	1-80	540
8. Электроремонтный цех	30	1-30	280
9. Склад оборудования	10	1-20	150
10. Склад кварцита, кокса	20	1-40	480
11. Цех дробления и подготовки шихты	40	1-50	900
12. Цех электропечей №2:			
а) 0,4 кВ;	50	1-80	2000
б) ДСП 12т	2	по каталогу	
13. Цех электропечей №3:			
а) 0,4 кВ;	50	1-80	1700
б) ДСП 12 т	4	по каталогу	
14. Насосная:			
а) 0,4 кВ;	10	100	1000
б) СД 10 кВ	4	1500	6000

Освещение цехов и территории завода определить по площади.

## 1.1 Технология производства

Сталь - это сплав железа с углеродом, где содержание углерода колеблется от 0,01 до 2%, кроме углерода, она содержит марганец, кремний, серу и фосфор, доля которых в стали незначительна. Стали обладают высокой механической прочностью, сравнительно легко обрабатываются давлением, резанием, хорошо свариваются и являются основным конструкционным материалом.

Для выплавки стали используются следующие шихтовые материалы: чугун (жидкий или твердый); стальной и чугунный лом; железная руда; металлизированные окатыши; ферросплавы; флюсы. Основу шихты составляет чугун (55%) и металлолом (45%). Соотношение содержания указанных компонентов зависит от типа технологического процесса, места расположения завода и др. В качестве шихты используется твердый или жидкий чугун. В последнем случае чугун из доменного цеха поступает в миксер-сосуд цилиндрической формы, футерованный огнеупорным кирпичом и заключенный в стальной кожух. В верхней части миксера имеется отверстие для заливки чугуна, а сбоку - специальный желоб для выпуска в ковш и транспортировки к конвертерам или мартеновским печам. В миксере чугун не только хранится, но и выравнивается его химический состав. Сера частично вместе со шлаком периодически удаляется из миксера.

В шихте для плавки стали используется металлолом, который образуется на металлургических заводах в результате обрезки металла при прокатке, изготовления бракованных слитков, на машиностроительных предприятиях - в виде стружки и отходов при штамповке, а также амортизационного лома (отслуживших машин, рельсов и др.). Прежде чем использовать лом в сталеплавильных агрегатах, необходимо провести его предварительную обработку (прессование, обжиг и др.). В сталеплавильном производстве в качестве флюсов используются известняк, известь, боксит, плавленый шпат; окислителями служат железная руда, окалина, кислород, агломерат и др. Применяется газообразное топливо доменный, генераторный, коксовый, природный газ; жидкое - мазут, смола; твердое - каменноугольная пыль. От выбора исходных материалов, их подготовки к плавке зависит не только качество выплавляемой стали, но и ее себестоимость.

В настоящее время для выплавки стали применяют дуговые и индукционные электрические печи, которые являются наиболее совершенными сталеплавильными агрегатами. Основные преимущества способа получения стали в электрических печах - возможность создания высокой температуры в плавильном пространстве печи (более 2000°C) и выплавки стали и сплавов любого состава; использование известкового шлака (до 60 ... 60% CaO), способствующего хорошему очищению металла от вредных примесей - серы и фосфора; возможность ведения плавки при всех режимах и условиях производства.

## 2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА

### 2.1 Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки при определении мощности предприятия предлагается производить по методу коэффициента спроса. Расчетная осветительная нагрузка принимается равной средней мощности освещения за наиболее загруженную смену и определяется по формулам:

$$P_{p0} = k_{c0} \cdot P_{y0}, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

$$Q_{p0} = tg \varphi_0 \cdot P_{p0}, \text{ кВар} \quad (2.2)$$

где  $k_{c0}$  – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки, числовые значения которого принимаются по таблицам (значения коэффициента спроса осветительных нагрузок для некоторых характерных помещений приведены в таблице 2.1);

$tg \varphi_0$  – коэффициент реактивной мощности, определяется по известному соеве, осветительной установки;

$P_{y0}$  – установленная мощность приемников освещения по цеху, отделу и т.п.

Таблица 2.1 - Коэффициенты спроса осветительных нагрузок

Наименование объекта освещения	Коэффициент спроса $k_c$
Небольшие производственные здания и торговые помещения	1,0
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Производственные здания, состоящие из нескольких отдельных помещений	0,85
Инженерно-лабораторные, конторско-бытовые здания, лечебные, детские и учебные учреждения	0,8
Предприятия бытового обслуживания населения, гостиницы, общежития, учреждения управления	0,7
Складские здания, распределительные устройства и подстанции	0,6
Наружное и аварийное освещение	1,0

Установленная мощность приемников освещения для помещений, светотехнический расчет которых производился в курсе «Расчет освещения зданий и сооружений» берется по результатам курсовой работы.

Для остальных помещений установленная мощность приемников освещения рассчитывается по методу удельной мощности. Исходными данными для проектирования является тип выбранного светильника, минимальная освещенность, высота и площадь помещения. По этим данным

выбирается величина удельной мощности по справочнику, умножением которой на площадь помещения определяется суммарная мощность ламп РУО помещения

$$P_{y0} = w \cdot F, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

где  $w$  - удельная мощность кВт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь пола производственного помещения, м.

Для ламп типа ДРЛ можно пренебречь зависимостью световой отдачи от номинальной мощности лампы. В таком случае между освещенностью и удельной мощностью существует прямая пропорциональная зависимость и в целях сокращения объема таблиц уместно составлять их для освещенности 100 лк с пропорциональным пересчетом в других случаях.

Последовательность расчета осветительной нагрузки предприятия по генеральному плану предприятия замеряется и вычисляется с учетом масштаба генплана длина и ширина каждого производственного помещения и территории предприятия в метрах.

2.1.1 Вычисляется площадь освещаемой поверхности для каждого помещения, площадь наружного освещения территории вычисляется как разность площадей всей территории предприятия и суммы площадей, занятых производственными помещениями.

2.1.2 Для каждого помещения и территории выбирается тип источника света и тип светильника. Ртутные лампы ДРЛ, обладающие большим единичным световым потоком, применяются для освещения больших производственных помещений высотой более 6 м, в которых не требуется различать цветовые оттенки. При их применении резко снижается количество устанавливаемых осветительных приборов, а это упрощает распределительную сеть, уменьшает монтажные работы и снижает расходы на эксплуатацию. Люминесцентные лампы благодаря высокой световой отдаче, большому сроку службы, а также достаточно хорошей цветопередаче широко применяют для освещения помещений, где необходимо правильное различение цветовых оттенков; производственных, в которых выполняется работа большой и средней точности; не имеющих естественного света, предназначенных для постоянного пребывания людей; в которых необходимо создать особо благоприятные условия для зрения (общеобразовательные школы, учебные заведения, проектно-конструкторские бюро и т. п.); административных, торговых зданий и т. п. Лампы накаливания используются для освещения производственных помещений, в которых по выполняемым в них работам требуются низкие или средние уровни освещенности, т.е. выполняются грубые виды работ; помещений с особо тяжелыми условиями среды; жилых зданий; детских учреждений; палат больниц; вспомогательных помещений без постоянного пребывания людей и освещения улиц, проездов с небольшим движением транспорта.

Рекомендуемые источники света приводятся в СНиП РК 2.04-05-2002: для производственных помещений - Приложение Е; для общего освещения жилых и общественных зданий - Приложение Ж.

2.1.3 Выбор минимальной освещенности для внутреннего и наружного освещения производят по СНиП РК 2.04-05-2002 в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном и отражающих свойств фона (рабочей поверхности). Для определения величины освещенности в зависимости от вышеуказанных параметров требуется тщательное изучение технологического процесса, происходящего в освещаемом помещении.

Учитывая, что в некоторых случаях задача определения освещенности по основным нормам включает в себе некоторые трудности, в проектной практике выбор освещенности производят по отраслевым нормам. Рекомендуемые нормируемые показатели освещения общепромышленных помещений и сооружений приводятся в Приложении И СНиП РК 2.04-05-2002. Рекомендуемые нормируемые показатели освещения основных помещений общественных, жилых, вспомогательных зданий, а также сопутствующих производственных помещений для предприятий бытового обслуживания приводятся в Приложении К СНиП РК 2.04-05-2002.

2.1.4 По справочнику в зависимости от типа источника света и светильника, уровня минимальной освещенности и высоты помещения находится значение удельной мощности  $w$ , кВт/м<sup>2</sup>.

2.1.5 Вычисляется установленная мощность приемников освещения по формуле (2.3) установленная мощность помещений, для которых производился светотехнический расчет, определяется суммированием мощностей источников света осветительной установки помещения.

2.1.6 По таблице 2.1 в зависимости от объекта освещения определяется коэффициент спроса осветительной нагрузки и вычисляется расчетная осветительная нагрузка по формуле 2.1.

2.1.7 Если освещение осуществляется источниками, потребляющими реактивную мощность, то расчетная реактивная мощность освещения вычисляется по формуле 2.2. Значения  $\cos\varphi_0$ , и  $\operatorname{tg}\varphi_0$  для различных источников света приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Значения коэффициентов реактивной мощности для различных источников света

Наименование источника света	$\cos\varphi_0$	$\operatorname{tg}\varphi_0$
Лампы накаливания	1,0	0
Люминесцентные лампы	0,9	0,5
Газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ без компенсации реактивной мощности	0,5	1,73
Газоразрядные лампы высокого давления с компенсацией реактивной мощности	0,9	0,5

Расчеты сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Расчет осветительной нагрузки завода

№ по плану	Наименование производственного помещения	Размеры помещ.		Площадь, м <sup>2</sup>	$\rho_0$	Коэффициент спроса $K_c$	Уст.мощн. осв. $P_{yo}$ , кВт	$P_{po}$ , кВт	$\cos \varphi$	$tg\varphi$	$Q_{po}$ , кВар
		Длина, м	Ширина								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Гараж	100,00	46,43	4643	0,01	0,9	46,43	41,79	0,9	0,5	20,89
2	Столовая	57,14	39,29	2245	0,02	0,9	44,90	40,41	0,9	0,5	20,20
3	Заводоуправление	35,71	92,86	3316	0,02	0,7	66,33	46,43	0,9	0,5	23,21
4	ЦЗЛ и СКБ	78,57	25,00	1964	0,01	0,95	19,64	18,66	0,9	0,5	9,33
5	Компрессорная станция:	39,29	35,71	1403	0,01	0,95	14,03	13,33	0,9	0,5	6,66
6	Цех электрический №1	189,29	60,71	11492	0,015	0,95	172,39	163,77	0,9	0,5	81,88
7	Кузнечно-механический цех	46,43	28,57	1327	0,015	0,95	19,90	18,90	0,9	0,5	9,45
8	Электроремонтный цех	50,00	28,57	1429	0,02	0,95	28,57	27,14	0,9	0,5	13,57
9	Склад оборудования	89,29	35,71	3189	0,01	0,6	31,89	19,13	0,9	0	0,00
10	Склад кварцита, кокса	100,00	71,43	7143	0,01	0,6	71,73	42,89	0,9	0	0,00
11	Цех дробления и подготовки шихты	60,71	57,14	3469	0,015	0,95	52,04	49,44	0,9	0,5	24,72
12	Цех электропечей №2	100,00	50,00	5000	0,015	0,95	75,00	71,25	0,9	0,5	35,63
13	Цех электропечей №3	132,14	46,43	6135	0,015	0,95	92,23	87,43	0,9	0,5	43,71
14	Насосная:	42,89	35,71	1531	0,01	0,95	15,31	14,54	0,9	0,5	7,27
15	Склад оборудования и запасных частей	32,14	85,71	2755	0,01	0,6	27,55	16,53	0,9	0	0,00
16	Освещение территории	582,14	346,43	144630	0,002	1	289,26	289,26	0,9	0,5	144,63

## 2.2 Расчет электрических силовых нагрузок

Расчет электрических нагрузок про изводим по методу упорядоченных диаграмм нагрузок.

Расчет электрических нагрузок сведен в таблицу 2.4.

Порядок расчета и заполнения таблицы:

- 1) В графе 1 проставляются номера цехов.
- 2) В графу 2 записываются наименования цехов.
- 3) В графе 3 записывается количество рабочих электроприемников.
- 4) В графу 4 записываются номинальная мощность наименьшего по мощности электроприемника в цеху.
- 5) В графу 5 записываются номинальная мощность наибольшего по мощности электроприемника в цеху.
- 6) В графу 6 записывается суммарная установленная мощность электроприемников данного цеха.
- 7) В графе 7 записывается число

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мин}} \quad (2.4)$$

где  $P_{н.макс}$ ,  $P_{н.мин}$  – номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников в цеху.

Точное значение числа  $m$  не требуется, достаточно определить  $m > 3$  или  $m \leq 3$ .

8) Графа 8 значение коэффициента использования.

9) В графе 9 в числителе записывается значение коэффициента мощности сове для данного цеха, а в знаменателе соответствующий  $\operatorname{tg}\varphi$ .

10) В графе 10 подсчитывается средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждого цеха по формуле

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н}, \text{ кВт} \quad (2.5)$$

11) В графе 11 подсчитывается средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждого цеха по формуле

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ кВар} \quad (2.6)$$

Далее необходимо подсчитать эффективное число электроприемников  $n_{э}$ , для каждого цеха.

При  $m > 3$  и коэффициенте  $K_{и} > 0,2$  эффективное число электроприемников определяется по формуле

$$n_{э} = \frac{2 \sum_1^n P_{н}}{P_{н.макс}} \quad (2.7)$$

В тех случаях, когда найденное по этой формуле  $n_{э}$ , оказывается большим, чем фактическое число электроприемников  $n$ , то следует принять  $n_{э} = n$ .

13) Графа 14 – коэффициент максимума  $K_m$  определяется по таблице в зависимости от эффективного числа электроприемников  $n_{\text{э}}$ , и коэффициента использования  $K_{\text{и}}$ .

14) Графа 15 – расчетная активная получасовая нагрузка

$$P_p = K_m \cdot P_{\text{см}}, \text{ кВт} \quad (2.8)$$

15) Графа 16 – расчетная реактивная получасовая нагрузка, принимается равной

$$\begin{aligned} \text{при } n_{\text{э}} \leq 10 \quad Q_p &= 1,1Q_{\text{см}}, \\ \text{при } n_{\text{э}} > 10 \quad Q_p &= Q_{\text{см}}. \end{aligned}$$

16) Графа 17 – расчетная полная нагрузка цеха, определяется по формуле

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (2.9)$$



Таблица 2.4 – Расчет силовой нагрузки завода ферросплавов

№ по плану	Наименование цеха	Кол-во ЭП, $n$	Установленная мощность			$m$	$K_{и}$	$\cos j$	$tgj$	Сред. мощн.		$n_{э}$	$K_{.м}$	Расчетные нагрузки			$R, \text{ мм}$
			$P_{mi}$ , кВт	$P_{max}$ , кВт	Суммарная $P_{н}$ , кВт					$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , 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	17	18
1	Гараж а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	20	1	20	300	>3	0,3	0,70	1,02	90	91,8	20	1,35	120,6	91,8		300,7
														40,41	20,80		
														162,4	112,7	197,7	
2	Столовая а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	30	1	40	400	>3	0,5	0,90	0,48	200	96,9	20	1,26	252,0	96,9		479,1
														40,41	20,80		
														292,4	117,7	315,0	
3	Заводоуправление а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	10	10	20	100	<3	0,5	0,70	1,02	50	51,0	10	1,43	71,5	56,1		216,2
														46,43	23,21		
														117,9	79,3	142,1	
4	ЦЗЛ и СКБ а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	30	1	28	370	>3	0,4	0,60	1,33	148	197,3	26	1,21	179,1	197,3		435,1
														18,66	9,33		
														197,7	206,7	286,0	

Таблица 2.4 – Расчет силовой нагрузки завода ферросплавов

№ по плану	Наименование цеха	Кол-во ЭП, $n$	Установленная мощность			$m$	$K_{и}$	$\cos j$	$\operatorname{tg} j$	Сред. мощн.		$n_{э}$	$K_{м}$	Расчетные нагрузки			$R, \text{ мм}$
			$P_{ми}$ , кВт	$P_{ма}$ , кВт	Суммарная $P_{н}$ , кВт					$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , 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	17	18
1	Гараж а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	20	1	20	300	>3	0,3	0,70	1,02	90	91,8	20	1,35	120,6	91,8		300,7
														40,41	20,80		
														162,4	112,7	197,7	
2	Столовая а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	30	1	40	400	>3	0,5	0,90	0,48	200	96,9	20	1,26	252,0	96,9		479,1
														40,41	20,80		
														292,4	117,7	315,0	
3	Заводуправление а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	10	10	20	100	<3	0,5	0,70	1,02	50	51,0	10	1,43	71,5	56,1		216,2
														46,43	23,21		
														117,9	79,3	142,1	
4	ЦЗЛ и СКБ а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	30	1	28	370	>3	0,4	0,60	1,33	148	197,3	26	1,21	179,1	197,3		435,1
														18,66	9,33		
														197,7	206,7	286,0	

Продолжение таблицы 2.4

5	Компрессорная станция: а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	20	10	40	500	>3	0,75	0,80	0,75	375	281,3	20	1,11	416,3	281,3		786,6
														13,33	6,66		
														429,6	287,9	517,1	
6	Цех электропечей №1 а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	80	1	50	3700	>3	0,6	0,90	0,48	222 0	1075,2	80	1,26	252,0	96,9		479,1
														40,41	20,80		
														292,4	117,7	315,0	
7	Кузнечно-механический цех а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	38	1	38	540	>3	0,45	0,75	0,88	243	214,3	28	1,19	289,2	214,3		4275, 3
														18,90	9,45		
														308,1	223,8	380,8	
8	Электроремонтный цех а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	30	1	30	280	>3	0,4	0,70	1,20	112	114,3	19	1,34	150,1	114,3		579,2
														27,14	13,57		
														117,2	127,8	218,5	
9	Склад оборудования а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	10	1	20	150	>3	0,4	0,80	0,75	60	45,0	10	1,6	96,0	49,5		435,1
														19,13	0,00		
														197,7	206,7	286,0	
10	ЦЗЛ и СКБ а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	30	1	28	370	>3	0,4	0,60	1,33	148	197,3	26	1,21	179,1	197,3		435,1
														18,66	9,33		
														197,7	206,7	286,0	

Продолжение таблицы 2.4

11	Цех дробления и подготовки шихты а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	40	1	50	900	>3	0,45	0,75	0,88	405	357,2	36	1,15	465,8	351,2		975,5
														49,44	24,72		
														515,2	381,9	641,3	
12	Цех электропечей №2 а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	50	1	80	2000	>3	0,6	0,90	0,48	1220	581,2	50	1,1	1320,0	581,2		2315,0
														71,25	35,63		
														1391,3	616,8	1521,9	
13	Цех электропечей №3 а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	50	1	80	1700	>3	0,6	0,90	0,48	1020	494,0	43	1,12	1142,4	494,0		2041,7
														87,43	43,71		
														1229,8	537,7	1342,2	
14	Насосная: а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	10	100	100	1000	<3	0,6	0,70	1,02	600	612,1	10	1,26	756,0	673,3		1563,9
														14,54	7,27		
														770,5	680,6	1028,1	
15	Склад оборудования и запасных частей а) силовая нагрузка б) осветительная нагрузка ИТОГО	20	10	20	150	<3	0,4	0,80	0,75	60	45,0	20	1,24	74,4	45,0		154,3
														16,53	0,00		
														90,9	45,0	101,5	
16	Освещение территории													289,26	144,63	323,4	
	Итоги по заводу на шинах 0,4 кВ													8907,7	4960,5	10195,8	15509,2

### 2.3 Определение числа цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на низкой стороне

Правильное определение числа и мощности трансформаторов возможно только путем технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов:

- категория надежности электроснабжения потребителей;
- компенсация реактивных нагрузок на напряжение до 1 кВ;
- перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийном режимах;
- экономических режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

Завода ферросплавов относится ко 2 категории потребителей, завод работает в 3 смены. Коэффициент загрузки  $K_{зтр} = 0,8$ .

Данные для расчета:

$$S_{p0,4} = 10195,8 \text{ кВА}$$

Плотность нагрузки напряжением 380 В

$$\frac{S_{0,4}}{S} = \frac{10195,8}{57041} = 0,2 \quad (2.10)$$

где  $S_{0,4}$  - нагрузка напряжение 0,4 кВ

$S$  - площадь завода, м<sup>2</sup>.

При плотности нагрузки от 0,1 до 0,2 кВА/м<sup>2</sup> желательно применять трансформаторы мощностью  $S_{Hm} = 1000$  кВА.

Определим число цеховых трансформаторов

$$N_{тр}^{min} = \frac{P_{p0,4}}{S_{Hтр} \cdot K_з} + \Delta N \quad (2.11)$$

где  $P_{p0,4}$  – расчетная активная мощность на стороне 0,4 кВ, кВт;

$S_{Hтр}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$K_з = 0,8$  – коэффициент загрузки для завода ферросплавов;

$\Delta N$  – добавка до ближайшего большего числа;

$$P_{p0,4} = 8907,7 \text{ кВт}; Q_{p0,4} = 4960,5 \text{ кВар};$$

Применяю трансформаторы  $S_{Hm} = 1000$  кВА.

При выборе числа и мощности цеховых трансформаторов, одновременно должен решаться вопрос об экономически целесообразной величине реактивной мощности передаваемой через трансформатор в сети до 1 кВ.

Суммарная расчетная плотность низшего напряжения определяется по минимуму приведенных потерь в 2 этапа:

1. Выбор оптимально экономического числа цеховых трансформаторов.
2. Определяют дополнительную мощность  $Q_{НБК}$ , в целях оптимального снижения потерь в трансформаторе.

Мощность НБК

$$Q_{НБК} = Q_{НБК1} + Q_{НБК2}, \quad (2.12)$$

где  $Q_{НБК1}$  – мощность НБК по условию выбора оптимального числа трансформаторов, кВар.

$Q_{НБК2}$  – мощность НБК по условию снижения потерь в сетях, кВар  
1-ый этап расчета.

Определим число цеховых трансформаторов:

$$N_{Т min} = \frac{8907,7}{0,8 * 1000} = 11,14 + 0,86 = 12 \text{ шт}$$

Экономически целесообразное число трансформаторов

$$N_{тр эк} = N_{тр}^{min} + m \quad (2.13)$$

где  $m$  – дополнительное число трансформаторов.

При относительных затратах на подстанцию  $З_{ТП} = 0,5$ ;  $K_3 = 0,8$ ;  $\Delta N = 0,86$ ,

$N_{Т min} = 12$  принимаем  $m = 0$ .

По выбранному числу трансформаторов определяют наибольшую реактивную мощность  $Q_1$ , которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ, определяется по формуле

$$Q_1 = \sqrt{(N_{ТЭ} \cdot S_{НТ} \cdot K_3)^2 - P_{р0,4}^2} \quad (2.14)$$

$$Q_1 = \sqrt{(12 \cdot 1000 \cdot 0,8)^2 - 8907,7^2} = 3579,53 \text{ кВар}$$

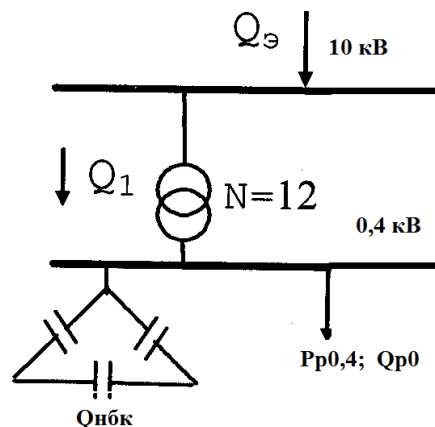


Рисунок 2.1 – Баланс реактивной мощности на 0,4 кВ

Определим мощность  $Q_{НБК1}$

$$Q_{НБК1} = Q_{р0,4} - Q_1 = 4960,5 - 3579,53 = 1380,99 \text{ кВар} \quad (2.15)$$

2-ой этап расчета:

Определим мощность конденсаторных батарей, для снижения потерь мощности в трансформаторах

$$Q_{НБК2} = Q_{p0,4} - Q_{НБК1} - \gamma \cdot N_{ТЭ} \cdot S_{нм}, \quad (2.16)$$

где  $\gamma = 0,65$  – расчетный коэффициент, принимаемый в зависимости от  $K_1$  и  $K_2$ ; ( $K_1 = 16$  – для Казахстана и  $K_2 = 2$  ( $1 \leq 0,5$  км)).

$$Q_{НБК2} = 4960,5 - 1380,99 - 0,65 \cdot 12 \cdot 1000 = -4220,47 \text{ кВар}$$

Так как  $Q_{НБК2} < 0$ , принимаем  $Q_{НБК2} = 0$  отсюда следует

$$Q_{НБК} = Q_{НБК1} + Q_{НБК2} = 1380,99 \text{ кВар} \quad (2.17)$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор

$$Q_{НБК \text{ ТП}} = \frac{Q_{НБК}}{N_{ТЭ}} = \frac{1380,99}{12} = 115,08 \text{ кВар} \quad (2.18)$$

Принимаю  $Q_{НБКТР} = 100$  кВар по справочнику УКМ63-0,4-100-25 УЗ. На основании расчетов, полученных в данном пункте, составляется таблица 2.5 «Распределение нагрузок цехов по ТП».

Таблица 2.5 – Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП

№ТП $S_{н.тр.}, Q_{НБК}$	№ цехов	$P_{p0,4}, \text{ кВт}$	$Q_{p0,4}, \text{ кВар}$	$S_{p0,4}, \text{ кВА}$	$K_3$
1	2	3	4	5	6
ТП1 (2·1000)	1	162,39	112,71		
ТП2 (2·1000)	2	292,4	117,1		
$SS_H = 4000 \text{ кВА}$	3	117,9	79,3		
	4	197,74	206,66		
	9	115,1327	49,5		
	10	258,86	192,00		
	11	515,19	381,90		
	13	1229,83	537,72		
	15	90,93	45,00		
		2980,40	1721,89		
$Q_{НБК} = 4 \cdot 100$			-400,0		
<b>ИТОГО</b>		2980,40	1321,9	3260,39	0,82
ТП3 (2·1000)	5	429,6	287,9		
ТП4 (2·1000)	6	2561,4	1157,1		
$SS_H = 4000 \text{ кВА}$		2990,95	1444,99		
$Q_{НБК} = 4 \cdot 100$			-400,0		
<b>ИТОГО</b>		2990,9	1045,0	3168,24	0,79
ТП5 (2·1000)	7	308,1	223,8		
ТП6 (2·1000)	8	177,2	127,8		
	9	1391,25	616,811153		
$SS_H = 4000 \text{ кВА}$	12	770,54	680,61		
	14	2647,09	1649,01		
	осв.тер.	289,26	144,63		
$Q_{НБК} = 4 \cdot 100$			-400,0		
<b>ИТОГО</b>		2936,3	1393,6	3250,29	0,81

## 2.4 Распределение $Q_{НБК}$ пропорционально реактивным нагрузкам ТП

Исходные данные:

$$Q_{p0,4} = 4960,5 \text{ кВар}; \quad Q_{НБК} = 1380,99 \text{ кВар.}$$

ТП 1, 2:

$$Q_{pТП1,2} = 1721,9 \text{ кВар.}$$

$$Q_{p_{нбк}} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{pТП1,ТП2}}{Q_{p0,4}} = \frac{1380,99 \cdot 1721,9}{4960,5} = 479,4 \text{ кВар} \quad (2.19)$$

то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{ф \text{ ТП1,2}} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ кВар,}$$

а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{нек} = Q_{pТП1,2} - Q_{фТП1,2} = 1721,9 - 400 = 1321,9 \text{ кВар.} \quad (2.20)$$

ТП 3,4:

$$Q_{pТП3,4} = 1445 \text{ кВар}$$

$$Q_{p_{нбк}} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{p \text{ тп4,5}}}{Q_{p0,4}} = \frac{1380,99 \cdot 1445}{4960,5} = 402,3 \text{ кВар}$$

то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{ф \text{ ТП3,4}} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ кВар,}$$

а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{нек} = Q_{pТП3,4} - Q_{фТП3,4} = 1445 - 400 = 1045 \text{ кВар.}$$

ТП 5,6:

$$Q_{pТП5,6} = 1793,6 \text{ кВар}$$

$$Q_{p_{нбк}} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{p \text{ тп4,5}}}{Q_{p0,4}} = \frac{1380,99 \cdot 1445}{1960,5} = 499,3 \text{ кВар}$$

то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{ф \text{ ТП5,6}} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ кВар,}$$

а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{нек} = Q_{pТП3,4} - Q_{фТП5,6} = 1793,6 - 400 = 1393,6 \text{ кВар.}$$

Уточненное распределение  $Q_{НБК}$  по ТП сведем в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Уточненное распределение  $Q_{НБК}$  по ТП

№ТП	$Q_{pТП}$	$Q_{НБК.рТП}$	$Q_{ф \cdot НБК \text{ по ТП}}$		$Q_{нек \text{ комп}}$
ТП1, ТП2	1721,9	479,4	(4 · 100)	400	1321,9
ТП3, ТП4	1445,0	402,3	(4 · 100)	400	1045,0
ТП5, ТП6	1793,6	499,3	(4 · 100)	400	1393,6
Итого	4960,5	1381		1200	3760,5



## 2.5 Расчет высоковольтных нагрузок

### 2.5.1 Потери мощности в цеховых трансформаторах

Выбираем трансформаторы ТМЗ-1000-10/0,4,  $U_B = 10$  кВ,  $U_H = 0,4$  кВ,  $\Delta P_{xx} = 1,9$  кВт,  $\Delta P_{кз} = 10,8$  кВт,  $I_{xx} = 1,2\%$ ,  $U_{кз} = 5,5\%$ .

Определяем фактические потери активной и реактивной мощности в трансформаторах, которые равны:

$$\Delta P_m = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \cdot N, \quad (2.21)$$

$$\Delta Q_m = \left( \frac{\Delta I_{xx}}{100} \cdot S_{HT} + \frac{\Delta U_{кз}}{100} \cdot S_{HT} \cdot K_3^2 \right) \cdot N. \quad (2.22)$$

ТП 1,2:

$K_3 = 0,81$ ,  $N = 4$  шт.

$$\Delta P_m = (1,9 + 10,8 \cdot 0,81^2) \cdot 4 = 36,3 \text{ кВт},$$
$$\Delta Q_m = \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \cdot 0,81^2 \right) \cdot 4 = 194,16 \text{ кВар}$$

ТП 3,4:

$K_3 = 0,79$ ,  $N = 4$  шт.

$$\Delta P_m = (1,9 + 10,8 \cdot 0,79^2) \cdot 4 = 34,7 \text{ кВт},$$
$$\Delta Q_m = \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \cdot 0,79^2 \right) \cdot 4 = 186,02 \text{ кВар}$$

ТП 5,6:

$K_3 = 0,81$ ,  $N = 4$  шт.

$$\Delta P_m = (1,9 + 10,8 \cdot 0,81^2) \cdot 4 = 36,12 \text{ кВт},$$
$$\Delta Q_m = \left( \frac{1,2}{100} \cdot 1000 + \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \cdot 0,81^2 \right) \cdot 4 = 193,26 \text{ кВар}$$

Суммарные потери в 12-ти трансформаторах:  $\Sigma \Delta P_T = 107,13$  кВт,  $\Sigma \Delta Q_T = 573,44$  кВар.

### 2.5.2 Определение расчетной мощности синхронных двигателей

Каждый установленный синхронный двигатель является источником реактивной мощности, минимальное значение которой по условию устойчивой работы СД определяется формулами:

$$P_{p \text{ СД}} = P_{н \text{ СД}} \cdot N_{\text{СД}} \cdot K_3, \quad (2.23)$$

$$Q_{p \text{ СД}} = P_{p \text{ СД}} \cdot \text{tg} \varphi. \quad (2.24)$$

СД 5-го цеха: СД типа СДН15-64-10У3,  $U_{\text{ном}} = 10$  кВ,  $P_{н \text{ СД}} = 1250$  кВт,  $\cos \varphi = 0,9$ ,  $N_{\text{СД}} = 4$ ,  $K_3 = \beta = 0,85$ .

Определим расчетные мощности для СД:

$$P_{p \text{ СД}} = P_{н \text{ СД}} \cdot N_{\text{СД}} \cdot K_3 = 1250 \cdot 4 \cdot 0,85 = 4250 \text{ кВт},$$

$$Q_{p \text{ СД}} = P_{p \text{ СД}} \cdot \text{tg} \varphi = 4250 \cdot 0,48 = 2058,4 \text{ кВар}.$$

СД 14-го цеха: СД типа СДН15-64-10У3,  $U_{\text{ном}} = 10$  кВ,  $P_{\text{н СД}} = 1500$  кВт,  $\cos\varphi = 0,9$ ,  $N_{\text{СД}} = 4$ ,  $K_3 = \beta = 0,85$ .

Определим расчетные мощности для СД:

$$P_{\text{р СД}} = P_{\text{н СД}} \cdot N_{\text{СД}} \cdot K_3 = 1500 \cdot 4 \cdot 0,85 = 5100 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р СД}} = P_{\text{р СД}} \cdot \text{tg}\varphi = 5100 \cdot 0,48 = 2470 \text{ кВар}.$$

Суммарные мощности для СД:

$$\Sigma P_{\text{р СД}} = 4250 + 5100 = 9350 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р СД}} = 2058,4 + 2470 = 4528,4 \text{ кВар}.$$

### 2.5.3 Определение расчетной мощности ДСП

$$P_{\text{р ДСП}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot N \cdot K_3, \text{ кВт}, \quad (2.25)$$

$$Q_{\text{р ДСП}} = P_{\text{р ДСП}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар}. \quad (2.26)$$

Дуговая сталеплавильная печь на 25 тонн ДСП-25 электропечного цеха №1: электропечной трансформатор типа - ЭТЦНК-20000/10, схема и группа соединения -  $\Delta/\Delta-6$ ,  $S_{\text{ном}} = 9$  МВА,  $\cos\varphi = 0,85$ ,  $K_3 = 0,55$ ,  $U_1 = 10$  кВ,  $N_{\text{ДСП}} = 2$  шт.

$$P_{\text{р ДСП}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot N \cdot K_3 = 9000 \cdot 0,85 \cdot 0,55 \cdot 2 = 8415 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р ДСП}} = P_{\text{р ДСП}} \cdot \text{tg}\varphi = 8415 \cdot 0,62 = 5215,1 \text{ кВар}.$$

Определим потери мощности в печных трансформаторах

$$\Delta P_{\text{тр ДСП}} = 2\% \text{ от } S_{\text{ном}} = 0,02 \cdot 9000 \cdot 2 = 360 \text{ кВт}, \quad (2.27)$$

$$\Delta Q_{\text{тр ДСП}} = 2\% \text{ от } S_{\text{ном}} = 0,1 \cdot 9000 \cdot 2 = 1800 \text{ кВар}. \quad (2.28)$$

Дуговая сталеплавильная печь на 12 тонн ДСП-12М2 электропечного цеха №2: электропечной трансформатор типа - ЭТЦПК-7500/10, схема и группа соединения -  $\Delta(Y)/\Delta-0(11)$ ;  $S_{\text{ном}} = 5$  МВА;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $K_3 = 0,6$ ;  $U_1 = 10$  кВ;  $N_{\text{ДСП}} = 2$  шт.

$$P_{\text{р ДСП}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot N \cdot K_3 = 5000 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot 2 = 5100 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р ДСП}} = P_{\text{р ДСП}} \cdot \text{tg}\varphi = 5100 \cdot 0,62 = 3160,7 \text{ кВар}.$$

Определим потери мощности в печных трансформаторах

$$\Delta P_{\text{тр ДСП}} = 2\% \text{ от } S_{\text{ном}} = 0,02 \cdot 5000 \cdot 2 = 200 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр ДСП}} = 2\% \text{ от } S_{\text{ном}} = 0,1 \cdot 5000 \cdot 2 = 1000 \text{ кВар}.$$

Дуговая сталеплавильная печь на 12 тонн ДСП-12М2 электропечного цеха №3: электропечной трансформатор типа - ЭТЦПК-7500/10, схема и группа соединения -  $\Delta(Y)/\Delta-0(11)$ ;  $S_{\text{ном}} = 5$  МВА;  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $K_3 = 0,6$ ;  $U_1 = 10$  кВ;  $N_{\text{ДСП}} = 4$  шт.

$$P_{\text{р ДСП}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot N \cdot K_3 = 5000 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot 4 = 10200 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р ДСП}} = P_{\text{р ДСП}} \cdot \text{tg}\varphi = 10200 \cdot 0,62 = 6321,4 \text{ кВар}.$$

Определим потери мощности в печных трансформаторах

$$\Delta P_{\text{тр ДСП}} = 2\% \text{ от } S_{\text{ном}} = 0,02 \cdot 5000 \cdot 4 = 400 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр ДСП}} = 2\% \text{ от } S_{\text{ном}} = 0,1 \cdot 5000 \cdot 4 = 2000 \text{ кВар}.$$

Суммарные мощности для ДСП:

$$\begin{aligned}\Sigma P_{p\text{ ДСП}} &= 8415 + 5100 + 10200 = 23715 \text{ кВт}, \\ Q_{p\text{ ДСП}} &= 5215,1 + 3160,7 + 6321,4 = 14697,2 \text{ кВар}, \\ \Sigma \Delta P_{mр\text{ ДСП}} &= 360 + 200 + 400 = 960 \text{ кВт}, \\ \Sigma \Delta Q_{mр\text{ ДСП}} &= 1800 + 1000 + 2000 = 4800 \text{ кВар}.\end{aligned}$$

## 2.5.4 Расчет компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

Составим схему замещения, показанную на рисунке 2.2.

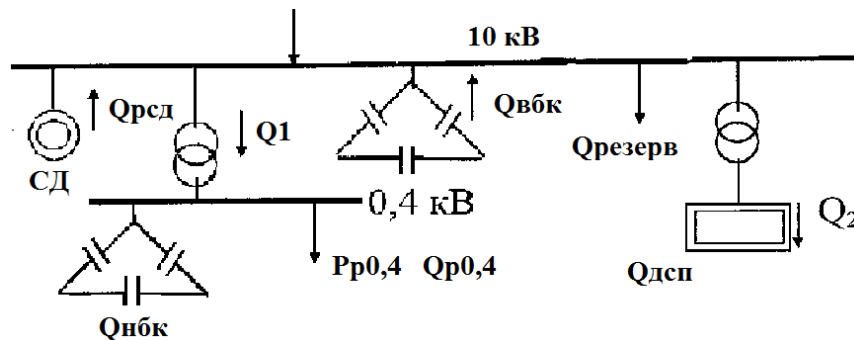


Рисунок 2.2 - Баланс реактивной мощности на 10 кВ

Резервная мощность:

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{расч} = 0,1 \cdot (Q_{p0,4} + \Delta Q_m + \Sigma Q_{p\text{ ДСП}} + \Sigma \Delta Q_{дсп}), \quad (2.29)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot (4960,5 + 573,44 + 14697,2 + 4800) = 2503,1 \text{ кВар}.$$

Мощность, поступающая от энергосистемы:

$$Q_9 = 0,25 \cdot \Sigma P_p = 0,25 \cdot (P_{p0,4} + \Delta P_m + \Sigma P_{сд} + \Sigma P_{p\text{ ДСП}} + \Sigma \Delta P_{p\text{ ДСП}}), \quad (2.30)$$

$$Q_9 = 0,25 \cdot (8907,7 + 107,13 + 9350 + 23715 + 960) = 10760, \text{ кВар}.$$

Мощность ВБК определим из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{ВБК} = Q_{p0,4} + \Delta Q_m + Q_{рез} - Q_9 - Q_{сд} - Q_{НБК}, \quad (2.31)$$

$$Q_{ВБК} = 4960,5 + 573,44 + 2503,1 - 10760 - 4528,4 - 1200 = 11046 \text{ кВар}.$$

Установим ВБК для индивидуальной компенсации реактивной мощности ДСП:

$$Q_{ВБК\text{ ДСП}} = 1350 \text{ кВар}.$$

Принимаем 8 конденсаторных установок: 8 x УКЛ(П)56М-10,5-1350У3

$U_{НОМ} = 10,5 \text{ кВ}$ ;  $Q_{ВБК} = 1350 \text{ кВар}$ ;

Габариты - 2766 x 825 x 1630 мм;

Масса - 905 кг;

ГОСТ, ТУ - ТУ 63 10 РК 00213457 АО-037-2005.

Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу приведен в таблице 2.7

Таблица 2.7 – Уточненный расчет нагрузок по заводу

№ ТП	№ цехов	$n$	$P_{н.min}$ кВт	$P_{н.max}$ кВт	$\Sigma P_{н,}$ кВт	$K_u$	$P_{см,}$ кВт	$Q_{см,}$ кВар	$n_{э}$	$K_m$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВар	$S_p,$ кВА	$K_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТП1; ТП2(4·1000) кВА	1	20	1	20	300		90	92						
	2	30	1	40	400		200	97						
	3	10	10	20	100		50	51						
	4	30	1	28	370		148	197						
	9	10	1	20	150		60	45						
	10	20	1	40	480		144	192						
	11	40	1	50	900		405	357						
	13	50	1	80	1700		1020	494						
	15	20	10	20	150		60	45						
Силовая		23 0	1	80	4550	0,48	2177	1570	114	1,08	2351,16	1570,2		
Осветительная											362,67	142,07		
$Q_{нБК}$												-400,00		
											2713,8	1312,29	3014,46	0,75
ТП1; ТП2(4·1000) кВА	5	20	10	40	500		375	281,25						
	6	80	1	50	3700		2220	1075,2						
Силовая		10 0	1	50	4200	0,62	2595	1356	100	1,07	2776,65	1356,45		
Осветительная											117,10	88,55		
												-400,00		
											2953,7	1044,99	3133,15	0,78

Продолжение таблицы 2.7

ТП5;ТП6 (4·1000) кВА	7	38	1	38	540		243	214						
	8	30	1	30	280		112	114						
	12	50	1	80	2000		1200	581						
	14	10	100	100	1000		600	612						
Силовая		128	1	100	3820	0,56	2155	1522	76	1,1	2370,5	1521,88		
Осветительная											131,84	65,92		
Осв.территории											289,26	144,63		
$Q_{\text{НБК}}$												-400,00		
											2791,6	1332,43	3093,28	0,77
Итого 0,4 кВ											8459,2	3689,70		
$\Sigma \Delta P_{\text{T}}, \Sigma \Delta Q_{\text{T}}$											107,1	573,44		
Итого 0,4кВ,10кВ											8566,3	4263,15		
Компрессорная станция:	5	4	1250		5000						4250,0	-2058,37		
Насосная	10	4	1500		6000						5100,0	-2470,04		
Цех электропечей №1	6	2	9000		18000						8415,0	5215,15		
Цех электропечей №2	12	2	5000		10000						5100,0	3160,70		
Цех электропечей №3	13	4	5000		20000						10200,0	6321,39		
$\Sigma \Delta P_{\text{ТДСП}}, \Sigma \Delta Q_{\text{T}}$											960,0	4800,0		
ВБК												-10800,00		
<b>Итого по заводу</b>											<b>42591,3</b>	<b>8431,97</b>	<b>43417,93</b>	

### 3 ВЫБОР СХЕМЫ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены трансформатора мощностью по 100 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Трансформаторы работают раздельно. Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 2100 МВА. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 7 км. Завод работает в три смены.

Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим три варианта:

1. I вариант – ЛЭП 115 кВ;
2. II вариант – ЛЭП 37 кВ;
3. III вариант – ЛЭП 10,5 кВ.

Схема подстанции энергосистемы на рисунке 3.1.

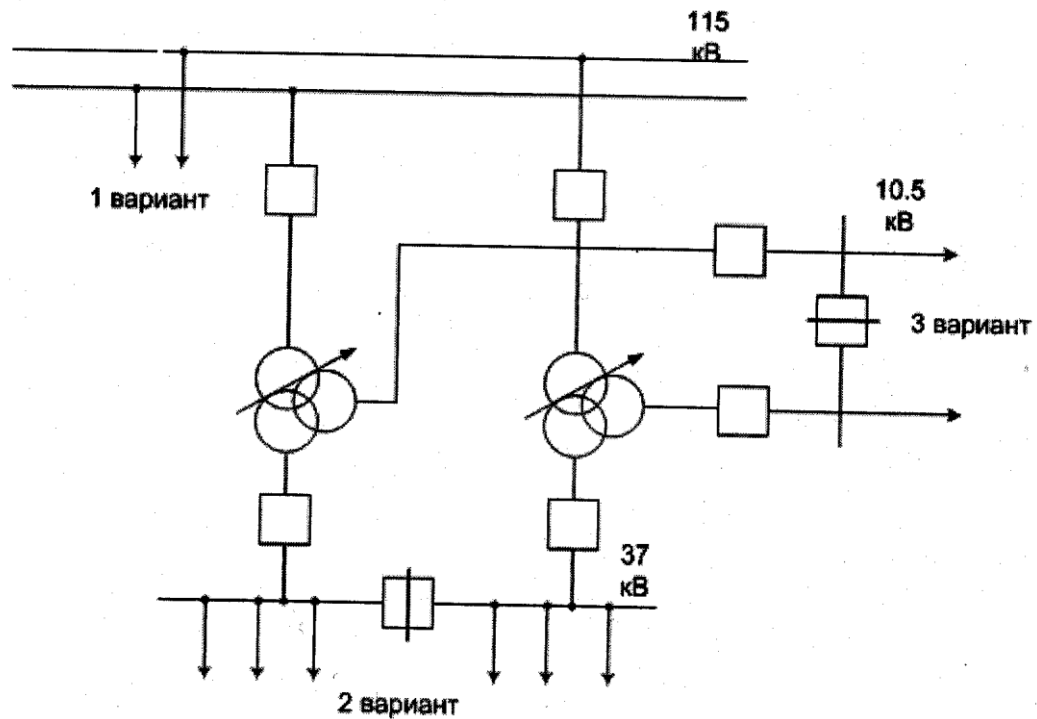


Рисунок 3.1 - Схема возможных вариантов электроснабжения

### 3.1 Вариант I. Питание от шин 115 кВ подстанции

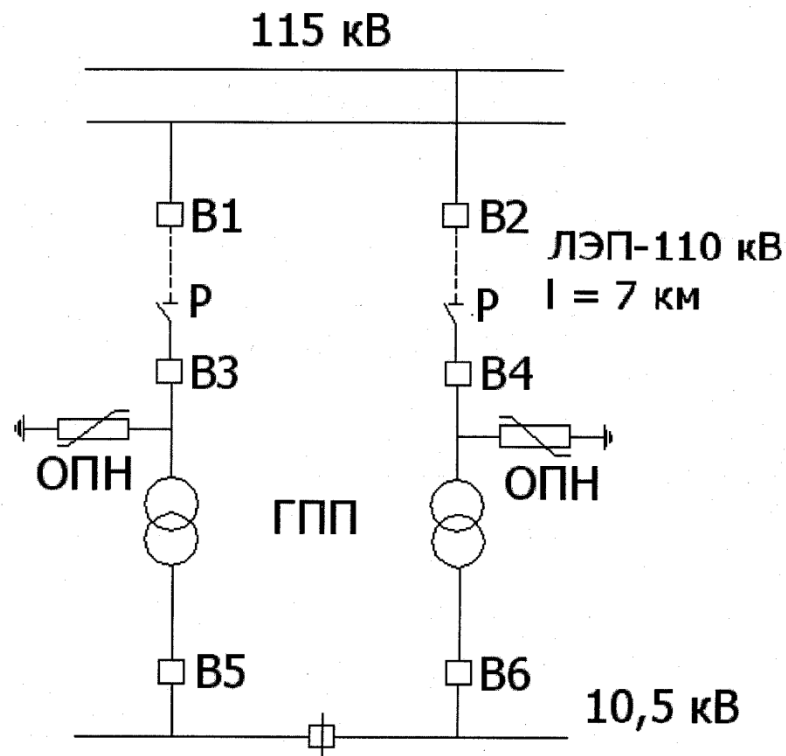


Рисунок 3.2 – Схема электроснабжения от шин 115 кВ подстанции

Выбираем электрооборудование по I варианту.

Выбираем трансформаторы ГПП

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{42591,3^2 + 10760^2} = 43929,44 \text{ кВА} \quad (3.1)$$

Принимаем 2 варианта:

а) ТДН-25000/110

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_n} = \frac{43929,44}{2 \cdot 25000} = 0,88, \quad (3.2)$$

б) ТРДН-40000/110

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_n} = \frac{43929,44}{2 \cdot 40000} = 0,55.$$

Выбираем два трансформатора мощностью 40000 кВА.

Паспортные данные трансформатора:

ТРДН-40000/110/10,5,  $S_n = 40000$  кВА,  $U_{вн} = 115$  кВ,  $U_{нн} = 10,5$  кВ,  $\Delta P_{xx} = 34$  кВт,  $\Delta P_{кз} = 170$  кВт,  $U_{кз} = 10,5\%$ ,  $I_{xx} = 0,55\%$ ,  $K_{мп} = 37,4$  тыс.у.е.

Потери мощности в трансформаторах:

активной:

$$\Delta P_{ТРГПП} = 2 \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2), \quad (3.3)$$

$$\Delta P_{ТРГПП} = 2 \cdot (34 + 170 \cdot 0,552) = 170,52 \text{ кВт.}$$

реактивной:

$$Q_{ТРГШ} = 2 \cdot \left( \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_n + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_n \cdot K_3^2 \right) \quad (3.4)$$

$$Q_{ТРГШ} = 2 \cdot \left( \frac{0,55}{100} \cdot 10000 + \frac{10,5}{100} \cdot 40000 \cdot 0,55^2 \right) = 2972,86 \text{ кВар}$$

Потери энергии в трансформаторах.

При трех сменном режиме работы  $T_{вкл} = 6000$  ч.,  $T_{макс} = 5000$  ч. время максимальных потерь

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{5000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3411, \text{ ч} \quad (3.5)$$

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta W = 2(\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2), \quad (3.6)$$

$$\Delta W = 2(34 \cdot 6000 + 170 \cdot 3411 \cdot 0,55^2) = 757697 \text{ кВтч/г.}$$

Полная мощность, проходящая по ЛЭП-115кВ:

$$S_{лэн} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{ТГШ})^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (3.7)$$

$$S_{лэн} = \sqrt{(42591,2 + 170,52)^2 + 10759,9^2} = 44094,78 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии

$$I_p = \frac{S_{лэн}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{44094,78}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 122,11 \text{ А.} \quad (3.8)$$

Ток аварийного режима

$$I_a = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 122,11 = 224,22 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{112,1}{1,1} = 101,92 \text{ мм}^2, \quad (3.9)$$

где  $j = 1,1$  А/мм<sup>2</sup> экономическая плотность тока при  $T_m = 5000$  ч и алюминиевых проводах.

Принимаем АС -120/19 с  $I_{дон} = 390$  А.

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе

$$I_{дон} = I_p, \\ 390 \text{ А} > 112,1 \text{ А.}$$

При аварийном режиме

$$I_{дон ав} = 1,3 \cdot I_{дон} > I_{ав}, \\ 507 \text{ А} > 224,22 \text{ А.}$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{лэн} = 2 \cdot (3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \phi) \text{ кВтч/г,} \quad (3.10)$$

$$\Delta W_{лэн} = 2 \cdot (3 \cdot 102,1^2 \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 3411) = 4450191,73 \text{ кВтч/г,}$$

где  $R = r_0 \cdot L = 0,25 \cdot 7 = 1,75$  Ом,



где  $r_0 = 0,25$  Ом/км - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $120 \text{ мм}^2$ ,  $l = 7$  км – длина линии.

Расчет токов короткого замыкания для выбора оборудования вариант I

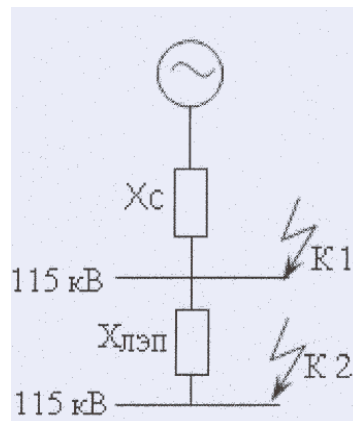


Рисунок 3.3 – Схема замещения

Перед выбором аппаратов составим схему замещения и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

$$S_{\bar{o}} = 1000 \text{ МВА}; U_{\bar{o}} = 115 \text{ кВ}; S_{\text{кз}} = 2100 \text{ МВА.}$$

$$X_c = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\text{кз}}} = \frac{1000}{2100} = 0,48 \text{ о.е.}, \quad (3.12)$$

$$\dot{I}_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,08 \text{ кА}, \quad (3.13)$$

$$I_{K-1} = \frac{I_{\bar{o}}}{X_c} = \frac{5,48}{0,48} = 10,58 \text{ кА}, \quad (3.14)$$

$$i_{\text{ук-1}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 10,58 = 26,85 \text{ кА}, \quad (3.15)$$

$$X_{\text{лэп}} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\text{ср}}^2} = 0,43 \cdot 7 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,23 \text{ о.е.}, \quad (3.16)$$

где  $x_0 = 0,43$  Ом/км - индуктивное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $120 \text{ мм}^2$ .

$$I_{K-2} = \frac{I_{\bar{o}}}{X_c + X_{\text{лэп}}} = \frac{5,48}{0,48 + 0,23} = 7,15 \text{ кА}, \quad (3.17)$$

$$i_{\text{ук-2}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,15 = 18,2 \text{ кА}, \quad (3.18)$$

$$S_{\text{кзк-1}} = \sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}} \cdot I_{K-1} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 10,58 = 2104,89 \text{ МВА}, \quad (3.19)$$

$$S_{\text{кзк-2}} = \sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}} \cdot I_{K-2} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 7,15 = 1406,05 \text{ МВА}, \quad (3.20)$$

Выбор выключателей, разъединителей и ограничителей перенапряжения на  $U = 115$  кВ.

Выбираем выключатели В1, В2 и В3, В4.

Выключатели типа ВГТ-110-40/2500У1		
Паспортные данные	Расчетные данные В1, В2	Расчетные данные В3, В4
$U_H = 110$ кВ	$U_H = 110$ кВ	$U_H = 110$ кВ
$I_H = 2500$ А	$I_{ав} = 224,4$ А	$I_{ав} = 224,4$ А
$I_{дин} = 102$ кА	$I_{ук-1} = 26,85$ кА	$I_{ук-2} = 18,2$ кА
$I_{терм} = 40$ кА	$I_{к-1} = 10,58$ кА	$I_{к-2} = 7,15$ кА
$S_{кз} = 7958$ МВА	$S_{кз} = 2104,89$ МВА	$S_{кз} = 1406,05$ МВА

Выбираем разъединители:

Разъединители типа РДЗ-110/1000НУХЛ1	
Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 110$ кВ	$U_H = 110$ кВ
$I_H = 1000$ А	$I_{ав} = 224,4$ А
$I_{дин} = 63$ кА	$I_{ук-2} = 18,2$ кА
$I_{терм} = 25$ кА	$I_{к-2} = 7,15$ кА

Выбираем ограничители перенапряжения:

ОПН-П1(2)-110/73/10/2 УХЛ1

$U_{ном} = 110$  кВ,  $I_{ном} = 250$  А.

Расчет затрат на I вариант:

1. Затраты на трансформаторы ГПП:  $K_{ТРГПП} = 88$  тыс. у.е.

$$K_{ТРГПП} = L \cdot K_{ТРГПП} = 2 \cdot 88 = 176 \text{ тыс. у.е.} \quad (3.21)$$

2. Затраты на ЛЭП на двухцепной железобетонной опоре:

$K_{лэп} = 8,35$  тыс. у.е./км.

$$K_{лэп} = L \cdot K_{лэп} = 7 \cdot 14,55 = 101,85 \text{ тыс. у.е.} \quad (3.22)$$

3. Затраты на выключатели В1-В4:  $K_{В1-В4} = 19,35$  тыс.у.е.

$$K_{В1-В4} = 4 \cdot K_{В1-В4} = 2 \cdot 19,35 = 77,4 \text{ тыс. у.е.}$$

4. Затраты на разъединители:  $K_p = 5,23$  тыс.у.е.

$$K_p = 2 \cdot K_p = 2 \cdot 5,23 = 10,45 \text{ тыс.у.е.}$$

5. Затраты на ограничители перенапряжения:  $K_{ОПН} = 1,43$  тыс.у.е.

$$K_{ОПН} = 2 \cdot K_{ОПН} = 2 \cdot 1,43 = 2,86 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные затраты на оборудование первого варианта

$$K_{\Sigma 1} = K_{ТРГПП} + K_{лэп110} + K_{В1-В4} + K_{ОПН}, \quad (3.23)$$

$$K_{\Sigma 1} = 176 + 101,85 + 77,4 + 10,46 + 2,86 = 368,57 \text{ тыс. у.е.}$$

Определим издержки.

Издержки на эксплуатацию ЛЭП

$$I_{\text{эксЛЭП}} = 0,028 \cdot K_{\text{лэн}} = 0,028 \cdot 101,85 = 2,85 \text{ тыс.у.е.} \quad (3.24)$$

Амортизация ЛЭП

$$I_{\text{аЛЭП}} = 0,028 \cdot K_{\text{лэн}} = 0,028 \cdot 101,85 = 2,85 \text{ тыс.у.е.} \quad (3.25)$$

Издержки на эксплуатацию оборудования

$$I_{\text{эксоб}} = 0,03 \cdot K_{\text{об}} = 0,03 \cdot (176 + 77,4 + 10,46 + 2,86) = 8 \text{ тыс.у.е.} \quad (3.26)$$

где  $K_{\text{об}}$  – суммарные затраты без стоимости ЛЭП.

Амортизация оборудования

$$I_{\text{аоб}} = 0,03 \cdot K_{\text{об}} = 0,03 \cdot 266,72 = 16,8 \text{ тыс.у.е.} \quad (3.27)$$

Стоимость потерь:

$$I_{\text{пот}} = C_0 \cdot (W_{\text{ТРГПП}} + W_{\text{лэн}}),$$

$$I_{\text{пот}} = 0,067 \cdot (2016379,32 + 455985,43) = 165,65 \text{ тыс. у.е.} \quad (3.28)$$

где  $C_0 = 0,067 \text{ у.е./кВт}\cdot\text{ч}$ .

Суммарные издержки:

$$\Sigma I_1 = I_{\text{эксЛЭП}} + I_{\text{аЛЭП}} + I_{\text{эксоб}} + I_{\text{аоб}} + I_{\text{пот}},$$

$$\Sigma I_1 = 2,85 + 2,85 + 8 + 16,8 + 165,65 = 196,16 \text{ тыс.у.е.} \quad (3.29)$$

Приведены суммарные затраты

$$Z_1 = 0,12 \cdot K_{\Sigma} + I_{\Sigma 1} = 0,12 \cdot 470,42 + 196,16 = 240,38 \text{ тыс.у.е.} \quad (3.30)$$

### 3.2 Вариант II. Питание от трансформатора подстанции со стороны 37 кВ и 10 кВ

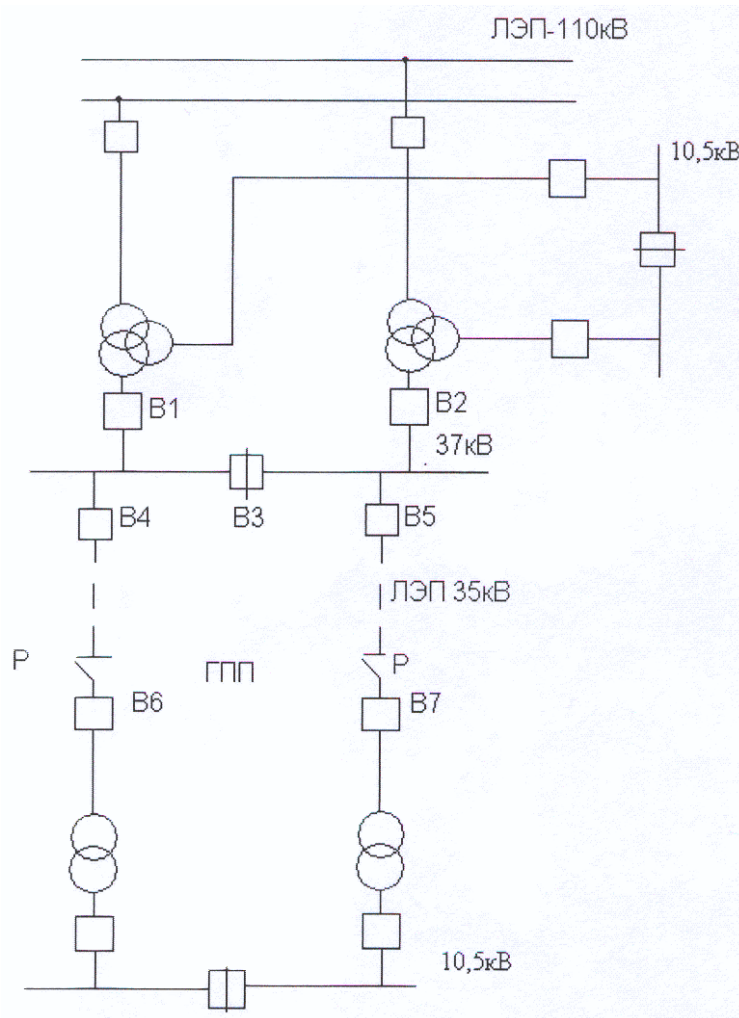


Рисунок 3.4 – Питание завода по ЛЭП 37 кВ и ЛЭП 10 кВ

Выбираем электрооборудование по II варианту.

Выбираем трансформаторы ГПП

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{42591,3^2 + 10760^2} = 43929,44 \text{ кВА}$$

Выбираем два трансформатора мощностью 40000 кВА.

Коэффициент загрузки

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_n} = \frac{43929,44}{2 \cdot 40000} = 0,55.$$

Паспортные данные трансформатора:

ТРДНС-40000/37/10,5,  $S_n = 40000$  кВА,  $U_{вн} = 37$  кВ,  $U_{нн} = 10,5$  кВ,  
 $\Delta P_{xx} = 36$  кВт,  $\Delta P_{кз} = 170$  кВт,  $U_{кз} = 12,7\%$ ,  $I_{xx} = 0,5\%$ .

Потери мощности в трансформаторах:

активной:

$$\Delta P_{ТГПП} = 2 \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (36 + 170 \cdot 0,55^2) = 170,52 \text{ кВт.}$$

реактивной:

$$Q_{ТРГШ} = 2 \cdot \left( \frac{0,5}{100} \cdot 40000 + \frac{12,7}{100} \cdot 40000 \cdot 0,55^2 \right) = 3463,55 \text{ кВар}$$

Потери энергии в трансформаторах.

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta W = 2(\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2),$$
$$\Delta W = 2(36 \cdot 6000 + 170 \cdot 3411 \cdot 0,55^2) = 781697 \text{ кВтч/г.}$$

Полная мощность, проходящая по ЛЭП-35кВ:

$$S_{лэн} = \sqrt{(42591,3 + 174,52)^2 + 10759,9^2} = 44098,66 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии

$$I_p = \frac{S_{лэн}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{44098,66}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 37} = 348,5 \text{ А.}$$

Ток аварийного режима

$$I_a = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 348,5 = 397 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{348,5}{1,1} = 316,8 \text{ мм}^2,$$

где  $j = 1,1 \text{ А/мм}^2$  экономическая плотность тока при  $T_m = 5000 \text{ ч}$  и алюминиевых проводах.

Примем 2-х цепную линию типа 2хАС-185мм<sup>2</sup> с  $I_{дон} = 520 \text{ А}$ ,  
2х  $I_{дон} = 1040 \text{ А}$  №

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе

$$I_{дон} = I_p,$$
$$1040 \text{ А} > 348,5 \text{ А.}$$

При аварийном режиме

$$I_{дон ав} = 1,3 \cdot I_{дон} > I_{ав},$$
$$1352 \text{ А} > 697 \text{ А.}$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$W_{лэн} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 348,5^2 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 3411 = 2783851,9 \text{ кВтч/г.}$$

где  $R = r_0 \cdot L = 0,16 \cdot 7 = 1,12 \text{ Ом}$ ,

где  $r_0 = 0,16 \text{ Ом/км}$  - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением 185 мм<sup>2</sup>,  $l = 7 \text{ км}$  - длина линии.

Выбираем трансформаторы энергосистемы

Тип ТДНТ-80000-115/38,5/11,  $S_n = 80 \text{ МВА}$ ,  $U_{вн} = 115 \text{ кВ}$ ,  $U_{сн} = 35,8 \text{ кВ}$ ,  
 $U_{нн} = 11 \text{ кВ}$ ,  $\Delta P_{xx} = 64 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_{кз} = 365 \text{ кВт}$ ,  $u_{кВН-СН} = 11\%$ ,  $u_{кВН-НН} = 18,5\%$ ,  
 $u_{кСН-НН} = 7\%$ ,  $I_{ХХ} = 0,5\%$ .

Коэффициенты долевого участия завода в мощности трансформаторов энергосистемы

$$\gamma_1 = \frac{S_{рЛЭП}}{2 \cdot S_n} = \frac{44098,66}{2 \cdot 80000} = 0,28.$$

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рис. 3.5) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

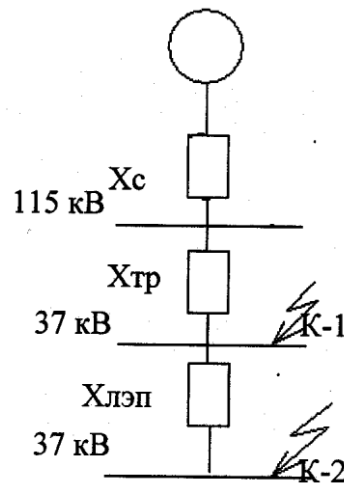


Рисунок 3.5 – Схема для расчета тока к.з.

$$S_{\bar{o}} = 1000 \text{ МВА}; S_c = \infty \text{ МВА}; U_{\bar{o}} = 115 \text{ кВ}; X_c = 0,48 \text{ о.е.}$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 4,9 \text{ кА},$$

ЛЭП:

$$X_{лэп} = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{cp}^2} = 0,41 \cdot 7 \cdot \frac{1000}{37^2} = 2,1 \text{ о.е.},$$

Трансформаторы энергосистемы

$$X_{mp.cuc} = \frac{U_{кВВ-CH} \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{mp.cuc}} = \frac{11 \cdot 1000}{100 \cdot 80} = 1,38 \text{ о.е.}$$

К-1:

$$I_{K-1} = \frac{I_{\bar{o}}}{X_c + X_{mp.cuc}} = \frac{4,9}{0,48 + 1,38} = 2,8 \text{ кА},$$

$$i_{ук-1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,8 = 7,2 \text{ кА},$$

$$S_{кзк-1} = \sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}} \cdot I_{K-1} = 1,73 \cdot 115 \cdot 2,8 = 550,14 \text{ МВА.}$$

К-2:

$$I_{K-2} = \frac{I_{\bar{o}}}{X_c + X_{mp.cuc} + X_{лэп}} = \frac{4,9}{0,48 + 1,38 + 2,1} = 1,1 \text{ кА},$$

$$i_{ук-2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ кА},$$

$$S_{кзк-2} = \sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}} \cdot I_{K-2} = 1,73 \cdot 115 \cdot 1,1 = 216,10 \text{ МВА.}$$

Выбираем выключатели

В1 и В2:

$$S_{ав.тр.сис} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ МВА.}$$

$$I_{р.В1-В2} = \frac{S_{ав.тр.сис}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{80000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1264,42 \text{ А.}$$

$$I_{ав.В1-В2} = 2 \cdot I_{р.В1-В2} = 2 \cdot 1264,42 = 2528,84 \text{ А.}$$

$$\gamma_{2В1-В2} = \frac{I_{ав.зав}}{I_{ном.з}} = \frac{697}{3200} = 0,22.$$

В3:

$$I_{р.В3} = \frac{S_{ав.тр.сис}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{80000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 37} = 632,21 \text{ А}$$

$$\gamma_{3В3} = \frac{I_{р.зав}}{I_{ном.В3}} = \frac{348,5}{2000} = 0,17.$$

Выключатели В1, В2

Выключатели типа ВГТ-35-50/3150У1	
Паспортные данные	Расчетные данные В1, В2
$U_H = 35 \text{ кВ}$	$U_H = 35 \text{ кВ}$
$I_H = 3150 \text{ А}$	$I_{ав} = 2528,84 \text{ А}$
$I_{дин} = 102 \text{ кА}$	$i_{вк-1} = 21,56 \text{ кА}$
$I_{терм} = 50 \text{ кА}$	$I_{к-1} = 8,49 \text{ кА}$
$S_{кз} = 3027,5 \text{ МВА}$	$S_{кз} = 537,16 \text{ МВА}$

Выключатели В3

Выключатели типа ВБУ-35	
Паспортные данные	Расчетные данные В3
$U_H = 35 \text{ кВ}$	$U_H = 35 \text{ кВ}$
$I_H = 1600 \text{ А}$	$I_{ав} = 1264,42 \text{ А}$
$I_{дин} = 102 \text{ кА}$	$i_{вк-1} = 21,56 \text{ кА}$
$I_{терм} = 40 \text{ кА}$	$I_{к-1} = 8,49 \text{ кА}$
$S_{кз} = 2422 \text{ МВА}$	$S_{кз} = 537,16 \text{ МВА}$

Выбираем выключатели В4-В7

Выключатели типа ВГБ-35-12,5/1000		
Паспортные данные	Расчетные данные В4, В5	Расчетные данные В6, В7
$U_H = 35 \text{ кВ}$	$U_H = 35 \text{ кВ}$	$U_H = 35 \text{ кВ}$
$I_H = 1000 \text{ А}$	$I_{ав} = 697,3 \text{ А}$	$I_{ав} = 697,3 \text{ А}$
$I_{дин} = 31 \text{ кА}$	$i_{вк-1} = 21,56 \text{ кА}$	$I_{вк-2} = 10,13 \text{ кА}$
$I_{терм} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{к-1} = 8,49 \text{ кА}$	$I_{к-2} = 3,99 \text{ кА}$
$S_{кз} = 756,87 \text{ МВА}$	$S_{кз} = 537,16 \text{ МВА}$	$S_{кз} = 255,39 \text{ МВА}$

Выбираем разъединители:

Разъединители типа РДЗ-35/1000НУХЛ1	
Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 35$ кВ	$U_H = 35$ кВ
$I_H = 1000$ А	$I_{ав} = 697,3$ А
$I_{дин} = 40$ кА	$I_{ук-2} = 10,13$ кА
$I_{терм} = 16$ кА	$I_{к-2} = 3,99$ кА

Выбираем ограничители перенапряжения:

ОПН-П1-35/40,5/10/2УХЛ1

$U_{ном} = 35$  кВ,  $I_{ном} = 1000$  А.

Расчет затрат на II вариант:

1. Затраты на трансформаторы ГПП:  $K_{ТРГПП} = 79$  тыс. у.е.

$$K_{ТРГПП} = L \cdot K_{ТРГПП} = 2 \cdot 79 = 158 \text{ тыс. у.е.}$$

2. Затраты на трансформаторы ЭС

$$K_{ТР.ЭН.СИС} = 2 \cdot 137 \cdot 0,28 = 76,72 \text{ тыс. у.е.}$$

3. Затраты на ЛЭП на двухцепной железобетонной опоре:

$K_{уд.лэп} = 11,25$  тыс. у.е./км.

$$K_{уд.лэп} = L \cdot K_{уд.лэп} = 7 \cdot 11,25 \cdot 2 = 157,5 \text{ тыс. у.е.}$$

4. Затраты на выключатели В1 и В2:  $K_{уд.В1-В2} = 8,28$  тыс.у.е.

$$K_{В1-В2} = 4 \cdot K_{уд.В1-В2} = 2 \cdot 8,28 \cdot 0,22 = 3,64 \text{ тыс. у.е.}$$

5. Затраты на выключатели В3:  $K_{уд.В3} = 8,28$  тыс.у.е.

$$K_{В3} = 8,28 \cdot 0,17 = 1,41 \text{ тыс. у.е.}$$

6. Затраты на выключатели В4 – В7:  $K_{уд.В4-В7} = 8,28$  тыс.у.е.

$$K_{В4-В7} = 4 \cdot 8,28 = 33,12 \text{ тыс. у.е.}$$

7. Затраты на разъединители:  $K_{уд.Р} = 4,84$  тыс.у.е.

$$K_P = 2 \cdot K_{уд.Р} = 2 \cdot 4,84 = 9,68 \text{ тыс.у.е.}$$

8. Затраты на ограничители перенапряжения:  $K_{уд.ОПН} = 1,02$  тыс.у.е.

$$K_{ОПН} = 2 \cdot K_{уд.ОПН} = 2 \cdot 1,02 = 2,04 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные затраты

$$K_{\Sigma 2} = 158 + 76,72 + 157,5 + 3,64 + 1,41 + 33,12 + 9,68 + 2,04 = 442,11 \text{ тыс. у.е.}$$

Определим издержки.

Издержки на эксплуатацию ЛЭП

$$I_{эксЛЭП} = 0,028 \cdot K_{лэп} = 0,028 \cdot 157,5 = 4,41 \text{ тыс.у.е.}$$



Амортизация ЛЭП

$$I_{aЛЭП} = 0,028 \cdot K_{лэн} = 0,028 \cdot 157,5 = 4,41 \text{ тыс.у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования

$$I_{эксоб} = 0,03 \cdot K_{об} = 0,03 \cdot 284,61 = 8,54 \text{ тыс.у.е.}$$

где  $K_{об}$  – суммарные затраты без стоимости ЛЭП.

Амортизация оборудования

$$I_{aоб} = 0,063 \cdot K_{об} = 0,063 \cdot 284,61 = 17,93 \text{ тыс.у.е.}$$

Стоимость потерь:

$$I_{ном} = C_0 \cdot (W_{ТРГПП} + W_{лэн}),$$

$$I_{ном} = 0,067 \cdot (814048,39 + 2786314,82) = 241,22 \text{ тыс. у.е.}$$

где  $C_0 = 0,067 \text{ у.е./кВт}\cdot\text{ч.}$

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma} = I_{эксЛЭП} + I_{aЛЭП} + I_{эксоб} + I_{aоб} + I_{ном},$$

$$I_{\Sigma} = 4,41 + 4,41 + 8,54 + 17,93 + 241,22 = 276,51 \text{ тыс.у.е.}$$

Приведены суммарные затраты

$$Z_{II} = 0,12 \cdot K_{\Sigma} + I_{\Sigma} = 0,12 \cdot 422,11 + 276,51 = 329,57 \text{ тыс.у.е.}$$

### 3.3 Вариант III. Питание от шин 10,5 кВ

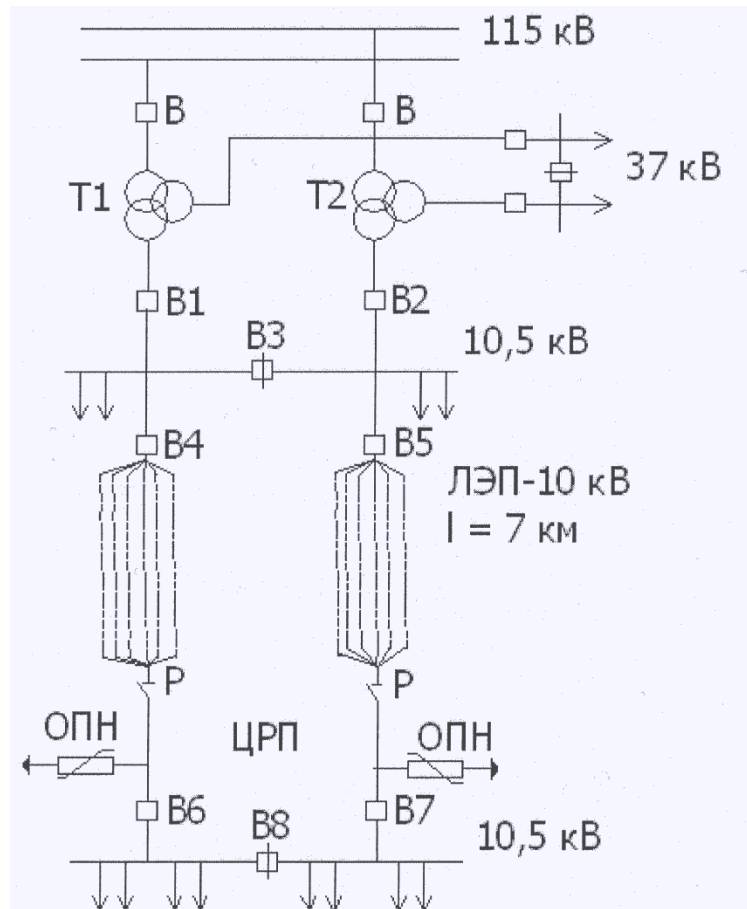


Рисунок 3.6 – Третий вариант схемы электроснабжения

Выбираем ЛЭП - 10,5 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП-10 кВ

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{42591,3^2 + 10760^2} = 43929,44 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии

$$I_p = \frac{S_{лэп}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{43929,44}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 1223,32 \text{ кВА.}$$

Ток аварийного режима

$$I_a = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 1223,32 = 2446,64 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{1223,32}{1,1} = 1112,1 \text{ мм}^2.$$

где  $j = 1,1 \text{ А/мм}^2$  экономическая плотность тока при  $T_M = 5000 \text{ ч}$  и алюминиевых проводах.

Принимаем 10хАС – 120 с  $I_{дон} = 380 \text{ А}$ , так как максимальное сечение для ЛЭП – 10 кВ принимается равной  $120 \text{ мм}^2$ .

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе

$$I_{доп} > I_p, \\ 800 \text{ А} > 1223,32 \text{ А}.$$

При аварийном режиме

$$I_{доп.ав} = 1,3 \cdot I_{доп} > I_{ав}, \\ 4940 \text{ А} > 2446,64 \text{ А}.$$

Потери электроэнергии в ЛЭП

$$\Delta W_{лэп} = 2 \cdot 3 \cdot 1223,32^2 \cdot 0,19 \cdot 10^{-3} \cdot 3411 = 5819249,86 \text{ кВт/ч}$$

$$\text{где } R = (r_0 / 10) \cdot L = (0,27 / 10) \cdot 7 = 0,19 \text{ Ом},$$

где  $r_0 = 0,27 \text{ Ом/км}$  – удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $120 \text{ мм}^2$ ,  $l = 7 \text{ км}$  – длина линии.

Выбираем трансформаторы энергосистемы

Тип ТДТН-80000-115/38,5/11,  $S_n = 80 \text{ МВА}$ ,  $U_{вн} = 115 \text{ кВ}$ ,  $U_{нн} = 38,5 \text{ кВ}$ ,  $U_{нн} = 11 \text{ кВ}$ ,  $\Delta P_{xx} = 64 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_{кз} = 365 \text{ кВт}$ ,  $U_{кВН-СН} = 11 \%$ ,  $U_{кВН-НН} = 18,5\%$ ,  $U_{кСН-НН} = 7\%$ ,  $I_{xx} = 0,5\%$ .

$$\gamma_1 = \frac{S_{лэп-10}}{2 \cdot S_n} = \frac{43929,44}{2 \cdot 80000} = 0,27.$$

Выбор выключателей, разъединителей и ограничителей перенапряжения

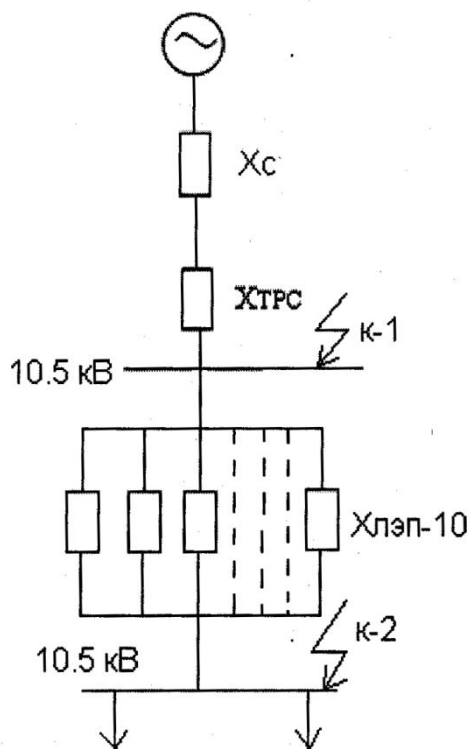


Рисунок 3.7 - Схема для расчетов токов к.з.

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рис.3. 7) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

$$S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}; S_c = \infty \text{ МВА}; S_{кз} = 2100 \text{ МВА}; U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ}; X_c = 0,48 \text{ о.е.}$$

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,05 \text{ кА},$$

ЛЭП:

$$X_{лэп-10} = \frac{X_0}{10} \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} = \frac{0,32}{10} \cdot 7 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,03 \text{ о.е.},$$

Трансформаторы энергосистемы

$$X_{mp.cuc} = \frac{U_{кВВ-CH} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{mp.cuc}} = \frac{18,5 \cdot 1000}{100 \cdot 80} = 2,31 \text{ о.е.}$$

К-1:

$$I_{K-1} = \frac{I_{\delta}}{X_c + X_{mp.cuc}} = \frac{55,05}{0,48 + 2,31} = 19,73 \text{ кА},$$

$$i_{ук-1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 19,73 = 50,07 \text{ кА},$$

$$S_{кзк-1} = \sqrt{3} \cdot U_{\delta} \cdot I_{K-1} = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 19,73 = 358,42 \text{ МВА}.$$

К-2:

$$I_{K-2} = \frac{I_{\delta}}{X_c + X_{mp.cuc} + X_{лэп-10}} = \frac{55,05}{0,48 + 2,03 + 2,31} = 11,42 \text{ кА},$$

$$i_{ук-2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K-2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 11,42 = 28,99 \text{ кА},$$

$$S_{кзк-2} = \sqrt{3} \cdot U_{\delta} \cdot I_{K-2} = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 11,42 = 207,47 \text{ МВА}.$$

Выбираем выключатели

В1 и В2:

$$I_p = \frac{S_{ав.мп.сис}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 10^2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 2202,04 \text{ кА}.$$

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 2202,04 = 4404,07 \text{ кА}.$$

$$\gamma_2 = \frac{I_{ав}}{I_H} = \frac{4404,07}{5000} = 0,88.$$

Принимаем

Выключатели типа МГГ-10-5000-54У3	
Паспортные данные	Расчетные данные В1, В2
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 5000 \text{ А}$	$I_{ав} = 4404,07 \text{ А}$
$I_{дин} = 120 \text{ кА}$	$i_{ук-1} = 50,07 \text{ кА}$
$I_{терм} = 45 \text{ кА}$	$I_{к-1} = 19,73 \text{ кА}$
$S_{кз} = 2724,75 \text{ МВА}$	$S_{кз} = 358,42 \text{ МВА}$

В3:

$$\gamma_3 = \frac{I_p}{I_H} = \frac{2202,04}{3150} = 0,7.$$

Принимаем

Выключатели типа ВБЭ-10-31, 5/3-150	
Паспортные данные	Расчетные данные В3
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 3150$ А	$I_{ав} = 2202,04$ А
$I_{дин} = 80$ кА	$i_{ук-1} = 50,07$ кА
$I_{терм} = 31,5$ кА	$I_{к-1} = 19,73$ кА
$S_{кз} = 1907,33$ МВА	$S_{кз} = 358,42$ МВА

В4-В7

Принимаем

Выключатели типа ВБЭ-10-31,5/3150		
Паспортные данные	Расчетные данные В4, В5	Расчетные данные В6, В7
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 3150$ А	$I_{ав} = 2446,64$ А	$I_{ав} = 2446,64$ А
$I_{дин} = 80$ кА	$i_{ук-1} = 50,07$ кА	$I_{ук-2} = 28,99$ кА
$I_{терм} = 31,5$ кА	$I_{к-1} = 19,73$ кА	$I_{к-2} = 11,42$ кА
$S_{кз} = 1907,33$ МВА	$S_{кз} = 358,42$ МВА	$S_{кз} = 207,47$ МВА

Выбираем разъединители:

Разъединители типа РДЗ-35/1000НУХЛ1	
Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 2500$ А	$I_{ав} = 2446,64$ А
$I_{дин} = 125$ кА	$I_{ук-2} = 28,99$ кА
$I_{терм} = 45$ кА	$I_{к-2} = 11,42$ кА

Выбираем ограничители перенапряжения:

ОПН-П1-10/10,5/10/2УХЛ1(2)

$U_{ном} = 10$  кВ,  $I_{ном} = 5000$  А.

Расчет затрат на III вариант:

1. Затраты на трансформаторы ЭС:  $\gamma_1 = 0,27$

$$K_{ТР.ЭН.СИС} = 2 \cdot 137 \cdot 0,27 = 158 \text{ тыс. у.е.}$$

2. Затраты на ЛЭП-10 на одноцепной железобетонной опоре:

$$K_{уд} = 2,2 \text{ тыс. у.е./км.}$$

$$K_{лэп} = N \cdot L \cdot K_{уд} = 20 \cdot 7 \cdot 2,2 = 308 \text{ тыс. у.е.}$$

3. Затраты на выключатели В1 и В2:  $K_{уд.В1-В2} = 5,03$  тыс.у.е.,  $\gamma_1 = 0,22$   
 $K_{В1-В2} = 2 \cdot 5,03 \cdot 0,22 = 2,21$  тыс. у.е.
4. Затраты на выключатели В3:  $K_{уд.В3} = 8,28$  тыс.у.е.,  $\gamma_3 = 0,17$   
 $K_{В3} = 5,03 \cdot 0,17 = 0,68$  тыс. у.е.
5. Затраты на выключатели В4 – В5:  $K_{уд.В4-В5} = 5,03$  тыс.у.е.  
 $K_{В4-В5} = 4 \cdot 5,03 = 20,12$  тыс. у.е.
6. Затраты на разъединители:  $K_{уд.Р} = 1,29$  тыс.у.е.  
 $K_{р} = 2 \cdot 1,29 = 2,58$  тыс.у.е.
7. Затраты на ограничители перенапряжения:  $K_{уд.ОПН} = 1,02$  тыс.у.е.  
 $K_{ОПН} = 2 \cdot K_{уд.ОПН} = 2 \cdot 1,02 = 2,04$  тыс.у.е.

Суммарные затраты

$$K_{\Sigma 3} = 158 + 73,98 + 308 + 2,21 + 0,86 + 20,12 + 2,58 + 2,04 = 567,79 \text{ тыс. у.е.}$$

Определим издержки.

Издержки на эксплуатацию ЛЭП

$$I_{эксЛЭП} = 0,028 \cdot K_{лэп} = 0,028 \cdot 308 = 8,62 \text{ тыс.у.е.}$$

Амортизация ЛЭП

$$I_{аЛЭП} = 0,028 \cdot K_{лэп} = 0,028 \cdot 308 = 8,62 \text{ тыс.у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования

$$I_{эксоб} = 0,03 \cdot K_{об} = 0,03 \cdot 259,79 = 7,79 \text{ тыс.у.е.}$$

где  $K_{об}$  – суммарные затраты без стоимости ЛЭП.

Амортизация оборудования

$$I_{аоб} = 0,063 \cdot K_{об} = 0,063 \cdot 259,79 = 16,37 \text{ тыс.у.е.}$$

Стоимость потерь:

$$I_{пот} = C_0 \cdot W_{лэп} = 0,067 \cdot 5819249,86 = 389,89 \text{ тыс. у.е.}$$

где  $C_0 = 0,067$  у.е./кВт·ч.

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma} = I_{а} + I_{э} + I_{пот},$$

$$I_{\Sigma 3} = 8,62 + 10,78 + 7,79 + 16,67 + 389,89 = 433,45 \text{ тыс.у.е.}$$

Приведенные суммарные затраты

$$Z_{III} = 0,12 \cdot K_{\Sigma} + I_{\Sigma} = 0,12 \cdot 567,79 + 433,45 = 501,59 \text{ тыс.у.е.}$$

Составим сводную таблицу по всем вариантам.

Таблица 3.1 – Сравнимые варианты

Вариант	$U_n$ , кВ	$K_{\Sigma}$ , тыс.у.е.	$I_{\Sigma}$ , тыс.у.е.	$Z_{\Sigma}$ , тыс.у.е.
1	115	368,57	196,16	240,38
2	37	442,11	276,51	329,57
3	10,5	567,79	433,45	501,59

По суммарным капитальным затратам, по издержкам и затратам подходит вариант I. Между I и II вариантами разница составляет 37 %, поэтому принято решение взять I вариант.

#### 4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ $U > 1$ КВ

Для выбора оборудования необходимо произвести расчет ТКЗ на шинах ГПП предприятия.

Расчет токов короткого замыкания  $I_{кз}$  ( $U = 10,5$  кВ) с учетом подпитки от СД.

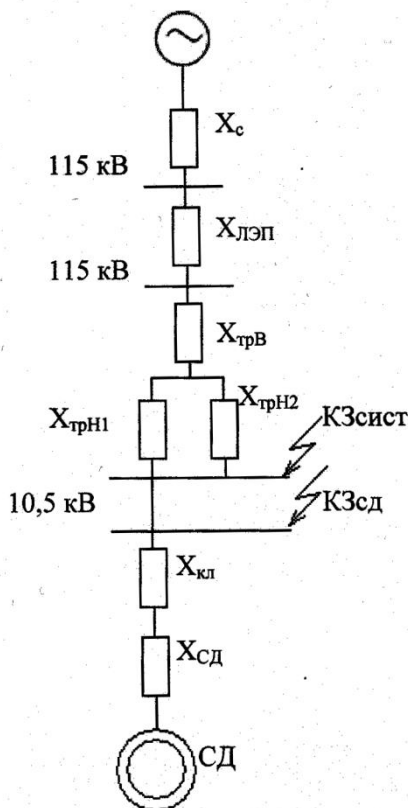


Рисунок 3.8 – Схема замещения электроснабжения ГПП

Токи КЗ в точке К-1, К-2 рассчитаны выше, остается рассчитать токи в точке К-3.

Параметры схемы замещения:

$$S_{\bar{o}} = 1000 \text{ МВА}; U_{\bar{o}} = 10,5 \text{ кВ}; X_c = 0,48 \text{ о.е.}; X_{лэп} = 0,23 \text{ о.е.}$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,05 \text{ кА},$$

$$K_p = 4 \cdot \left( \frac{U_{кВН1}}{U_{кВН}} - 1 \right) = 4 \cdot \left( \frac{21}{12} - 1 \right) = 3, \quad (4.1)$$

$$X_{мпВ} = \frac{U_{кВН}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{нтр}} \cdot \left( 1 - \frac{K_p}{4} \right) = \frac{12}{100} \cdot \frac{1000}{40} \cdot \left( 1 - \frac{3}{4} \right) = 0,75 \text{ о.е.}, \quad (4.2)$$

$$X_{мпН} = \frac{U_{кВН}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{нтр}} \cdot \frac{K_p}{2} = \frac{12 \cdot 1000 \cdot 3}{100 \cdot 40 \cdot 2} = 4,5 \text{ о.е.}, \quad (4.3)$$

$$I_{к.з.сис.} = \frac{I_{\bar{o}}}{X_c + X_{лэп} + X_{мпВ} + X_{мпН}} = \frac{55,05}{0,48 + 0,23 + 0,75 + 4,5} = 9,24 \text{ кА.} \quad (4.4)$$

Выбор кабелей для СД  
Компрессорной станции (4 СД)

$$I_{p1} = \frac{P_n \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{1250 \cdot 0,85}{1,73 \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 64,99 \text{ А}, \quad (4.5)$$

а) по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э1}} = \frac{I_{p1}}{j_3} = \frac{64,99}{1,4} = 46,42 \text{ мм}^2,$$

б) по минимальному сечению термической стойкости

$$F_{\text{мин}} = \alpha \cdot I_k \cdot \sqrt{t_n} = 12 \cdot 9,24 \cdot \sqrt{0,4} = 70,13 \text{ мм}^2, \quad (4.6)$$

Берем кабель типа ААШв-10-(3х70) с  $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$ . Параметры кабеля:  
 $r_0 = 0,44 \text{ Ом/км}$ ,  $x_{y\delta} = 0,086 \text{ Ом/км}$ . Примем  $l = 168 \text{ м}$ .

Проверим по длительному току

$$I_{\text{доп}} > I_p, \\ 165 \text{ А} > 64,99 \text{ А}.$$

$$X_{\text{кл1}} = l \cdot x_{y\delta} \cdot \frac{S_{\bar{0}}}{N \cdot U_{\text{cp}}^2} = 0,086 \cdot 0,168 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 10,5^2} = 0,07 \text{ о.е.}, \quad (4.7)$$

$$S_{\text{нСД}} = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{1250}{0,9} = 1388,89 \text{ кВА}, \quad (4.8)$$

$$X_{d1} = X_d'' \cdot \frac{S_{\bar{0}}}{N \cdot S_{\text{нСД}}} = 0,2 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 1,38} = 72 \text{ о.е.}, \quad (4.9)$$

Насосной станции (4СД)

$$I_{p2} = \frac{P_n \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{1500 \cdot 0,85}{1,73 \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 77,99 \text{ А}, \quad (4.10)$$

а) по экономической плотности тока:

$$F_2 = \frac{I_{p2}}{j_3} = \frac{77,99}{1,4} = 55,71 \text{ мм}^2.$$

Берем кабель типа ААШв-10-(3х70) с  $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$ . Параметры кабеля:  
 $r_0 = 0,44 \text{ Ом/км}$ ,  $x_{y\delta} = 0,086 \text{ Ом/км}$ . Примем  $l = 96 \text{ м}$ .

Проверим по длительному току

$$I_{\text{доп}} = 165 \text{ А} > I_p = 77,99 \text{ А}.$$

$$X_{\text{кл2}} = l \cdot x_{y\delta} \cdot \frac{S_{\bar{0}}}{N \cdot U_{\text{cp}}^2} = 0,086 \cdot 0,096 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 10,5^2} = 0,04 \text{ о.е.},$$

$$S_{\text{нСД}} = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{1500}{0,9} = 1666,67 \text{ кВА},$$

$$X_{d2} = X_d'' \cdot \frac{S_{\bar{0}}}{N \cdot S_{\text{нСД}}} = 0,2 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 1,66} = 60 \text{ о.е.},$$

$$E_{\text{СД}} = E_n'' \cdot \frac{U_{\bar{0}}}{U_n} = 1,05 \text{ о.е.} \quad (4.11)$$



Токи короткого замыкания от СД:

$$I_{кзСД1} = \frac{E_{СД} \cdot I_{\sigma}}{X_{кл1} + X_{d1}} = \frac{1,05 \cdot 55,05}{0,07 + 72} = 0,8 \text{ кА}, \quad (4.12)$$

$$I_{кзСД2} = \frac{E_{СД} \cdot I_{\sigma}}{X_{кл2} + X_{d2}} = \frac{1,05 \cdot 55,05}{0,04 + 60} = 0,96 \text{ кА}.$$

Токи короткого замыкания на шинах 10 кВ:

$$I_{кз} = I_{кзсис} + I_{кзСД1} + I_{кзСД2} = 9,24 + 0,8 + 0,96 = 11,01 \text{ кА}, \quad (4.13)$$

$$i_{ук-2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 11,01 = 27,94 \text{ кА},$$

$$S_{кзк-2} = \sqrt{3} \cdot U_{\sigma} \cdot I_{кз} = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 11,01 = 199,95 \text{ МВА}.$$

#### 4.1 Выбор выключателей

Вводные выключатели В 1-В4.

Мощность завода  $S_{зав.} = 43417,93$  кВА.

Расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{43417,93}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 597,55 \text{ А}.$$

Аварийный ток

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 597,55 = 1195,1 \text{ А}.$$

Принимаем

Выключатели типа ВВ/TEL-10-20/1600У1	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 1600$ А	$I_{ав} = 1195,1$ А
$I_{дин} = 52$ кА	$i_{ук-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 20$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 1600$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{кз} = 1211$ МВА	$S_{кз} = 199,95$ МВА

Секционные выключатели

Выключатели типа ВВ/TEL-10-12,5/630У1	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 630$ А	$I_{ав} = 597,55$ А
$I_{дин} = 32$ кА	$i_{ук-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 12,5$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 1600$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{кз} = 1211$ МВА	$S_{кз} = 199,95$ МВА

Выключатели отходящих линий:

1. Магистраль ГПП-ТП1, ТП2:

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_{mp})^2 + (Q_p + \Delta Q_{mp})^2}, \quad (4.14)$$

$$S_p = \sqrt{(2714 + 36,3)^2 + (1312,29 + 194,16)^2} = 3135,67 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3135,67}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 86,31 \text{ А}. \quad (4.15)$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 86,31 = 172,62 \text{ А}.$$

2. Магистраль ГПП-ТП3, ТП4:

$$S_p = \sqrt{(2954 + 34,7)^2 + (1044,99 + 186,02)^2} = 3232,01 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3232,01}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 88,96 \text{ А}.$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 88,96 = 177,93 \text{ А}.$$

3. Магистраль ГПП-ТП5, ТП6:

$$S_p = \sqrt{(2792 + 36,12)^2 + (1331,43 + 193,26)^2} = 3213,06 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3213,06}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 88,44 \text{ А}.$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 88,44 = 176,88 \text{ А}.$$

4. Магистраль ГПП-ДСП-12т (6 печи):

$$S_p = \sqrt{(2550 + 100)^2 + (1580,35 + 500)^2} = 3369,03 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3369,03}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 185,47 \text{ А}.$$

5. Магистраль ГПП-ДСП-25т (2 печи):

$$S_p = \sqrt{(4208 + 180)^2 + (2607 + 900)^2} = 5617,23 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{5617,23}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 309,23 \text{ А}.$$

6. Магистраль ГПП-СД 1250 кВт (4 двигателей):

$$I_p = \frac{P_p \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{1250 \cdot 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 64,99 \text{ А}.$$

7. Магистраль ГПП-СД 1500 кВт (4 двигателей):

$$I_p = \frac{P_p \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{1500 \cdot 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 77,99 \text{ А}.$$

Для всех отходящих линий принимаем

Выключатели типа ВВ/TEL-10-12,5/630У1	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 630$ А	$I_{ав} = 306,23$ А
$I_{дин} = 32$ кА	$i_{вк-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 12,5$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 1600$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{кз} = 1211$ МВА	$S_{кз} = 199,95$ МВА

Выбор выключателей нагрузки.

Выключатели нагрузки выбираются по аварийному режиму. Предохранители служат для защиты от токов короткого замыкания. Выключатели нагрузки используются для отключения линии в нормальных режимах, к примеру, для вывода линии в ремонт.

Расчет токов, проходящих по линиям, приведен выше.

ТП1, ТП2:  $I_{ав} = 172,62$  А.

ТП3, ТП4:  $I_{ав} = 177,93$  А.

ТП5, ТП6:  $I_{ав} = 176,88$  А.

Для всех трансформаторов принимаем выключатель нагрузки типа ВНЭ-10-400/203-У3 и предохранители типа ПКТ101-10-2-12,5У3.

## 4.2 Выбор измерительных трансформаторов

### 4.2.1 Выбор трансформаторов тока

Объем измерений для каждого присоединения устанавливается согласно ПУЭ.

Трансформаторы тока выбирают по следующим условиям:

1. по напряжению установки:

$$U_{уст} < U_{ном};$$

2. по току:

$$I_{ном} < I_{Iном};$$

$$I_{max} < I_{Imax};$$

3. по электродинамической стойкости:  $K_{дин} \geq \frac{i_{уд}}{\sqrt{2} \cdot I_{номТТ}}$ ;

4. по вторичной нагрузке:  $S_{н2} \leq S_{нагр.расч}$ ;

5. по термической стойкости:  $K_{мс} \geq \frac{I_{об}}{t_{нт} \cdot I_{номТТ}}$ ;

6. по конструкции и классу точности.

Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей.

1) Трансформаторы тока ввода

$$I_p = I_{ав} = 1195,1 \text{ А}, U_n = 10 \text{ кВ.}$$

$$S_{н2} = I_{н2} \cdot Z_{нТТ}. \quad (4.16)$$

где  $Z_{нТТ} = \Sigma(r_{приб} + r_{дон} + r_{конт})$  - полное сопротивление внешней сети.

Таблица 4.1 – Нагрузка трансформаторов тока ввода

Приборы	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
Амперметр	Э-350	0,5	0,5	0,5
Счетчик активной энергии	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
Ваттметр	Д-365	0,5	-	0,5
Варметр	И-395	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Примем ТТ типа ТПЛК-10,  $S_{ном} = 15 \text{ ВА}$ .

Проверка по вторичной нагрузке:

$$R_2 = R_{приб} + R_{пров} + R_{кон}. \quad (4.17)$$

Сопротивление приборов определяется по формуле

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}, \quad (4.18)$$

$$r_{2н} = \frac{S_{2нТТ}}{I_2^2} = \frac{15}{5^2} = 0,6 \text{ Ом}. \quad (4.19)$$

где  $S_{приб}$  – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$I_2$  – вторичный номинальный ток прибора, А.

Допустимое сопротивление проводов равно

$$r_{дон} = r_{2н} - r_{приб} - r_{кон} = 0,6 - 0,26 - 0,1 = 0,240 \text{ м}. \quad (4.20)$$

Тогда сечение может быть определено

$$q_{2н} = \frac{\rho \cdot L}{r_{дон}} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ мм}^2.$$

где  $l = 5 \text{ м}$  – длина соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов.

Принимаем кабель типа – АКРТБ, сечением  $F_3 = 2,5 \text{ мм}^2$ .

$$R_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{q_{пров}} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ мм}^2, \quad (4.21)$$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пров} + R_{кон} = 0,056 + 0,26 + 0,1 = 0,146 \text{ Ом},$$

$$S_2 = r_2 \cdot I_2^2 = 0,146 \cdot 52 = 10,4 \text{ МВА}. \quad (4.22)$$

Проверка выбранного ТТ

Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 1500$ А	$I_{ав} = 1195,1$ А
$I_{дин} = 74,5$ кА	$i_{вк-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 25$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 2500$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{2H} = 15$ МВА	$S_{2H} = 10,4$ МВА

2) Выбор трансформаторов тока для секционных выключателей

Таблица 4.2 – Нагрузка трансформаторов тока к секционным выключателям

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
Итого		5,5	5,5	5,5

Решение проводим аналогичное

Примем

ТТ типа ТЛМ-10-2	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 600$ А	$I_{ав} = 597,55$ А
$I_{дин} = 100$ кА	$i_{вк-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 23,3$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 2171,56$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{2H} = 15$ МВА	$S_{2H} = 9,4$ МВА

Все остальные решения проводим аналогично.

Таблица 4.3 – Нагрузка трансформаторов тока ТП

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
Итого		5,5	5,5	5,5

Примем

ТТ типа ТПЛК-10	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав} = 177,93$ А
$I_{дин} = 74,5$ кА	$i_{вк-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 25$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 2500$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{2H} = 10$ МВА	$S_{2H} = 9,4$ МВА

#### 4) Выбор трансформаторов тока к СД

Таблица 4.4 – Нагрузка трансформаторов тока СД

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
А	Э-351	0,5	0,5	0,5
А	Э-352	0,5	0,5	0,5
Var	Д-395	0,5	-	0,5
Итого		2	1,5	2

Примем

ТТ типа ТПЛК-10	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав} = 77,99$ А
$I_{дин} = 74,5$ кА	$i_{ук-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 25$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 2500$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{2H} = 10$ МВА	$S_{2H} = 5,9$ МВА

#### 5) Выбор трансформаторов тока к ДСП

Таблица 4.5 – Нагрузка трансформаторов тока ДСП-12М2? ДСП-25

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
А	Э-351	0,5	0,5	0,5
А	Э-352	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Итого		4	4	4

Примем

ТТ типа ТПЛК-10	
Паспортные данные	Расчетные данные ВЗ
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав} = 309,23$ А
$I_{дин} = 74,5$ кА	$i_{ук-1} = 27,94$ кА
$I_{терм} = 25$ кА	$I_{к-1} = 11,01$ кА
$I_t^2 \cdot I_t = 2500$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{кз} = 484,88$ кА <sup>2</sup> ·с
$S_{2H} = 10$ МВА	$S_{2H} = 7,9$ МВА

Выбор трансформаторов тока для стороны 110 кВ.

Для ДФЗ силового трансформатора – ТВТ-110 (600/5; 30ВА).

Для измерения – ТВТ-110 (600/5; 30ВА).

Выбор ТТ для силового трансформатора сторона НН.

Для ДФЗ - ТВТ-10 (5000/5; 30ВА).

Для измерения - ТВТ-10 (5000/5; 30ВА).

## 4.2.2 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

1. по напряжению установки:  $U_{ном} \geq U_{уст}$ ;
2. по вторичной нагрузке:  $S_{ном2} \leq S_{2расч}$ ;
3. по классу точности.
4. по конструкции и схеме соединения.

Таблица 4.6 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Прибор	Тип прибора	$S_{об-ки}$ , ВА	Число об-к	$cosj$	$sinj$	Число прибо-в, шт. *	$P_{общ}$ , Вт	$Q_{общ}$ , Вар
V	Э-335	2	2	1	0	2	8	-
W	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Var	И-335	1,5	2	1	0	5	15	-
Wh	СА3-И681	3	2	0,38	0,925	8	48	116,84
Varh	СР4-689	3	2	0,38	0,925	4	24	58,42
Итого							98	175,26

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{98 + 175,26} = 200,79 \text{ ВА}$$

Выбираем трансформаторы типа НТМК -10-71 УЗ:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{уст} = 10 \text{ кВ};$$

$$S_{ном2} = 500 \text{ ВА} \geq S_{2расч} = 200,79 \text{ ВА}.$$

## 4.3 Расчет шин 10 кВ

Согласно ПУЭ жёсткие шины в пределах РУ всех напряжений выбираются по условию нагрева (по допустимому току). При этом учитывается не только нормальные, но и после аварийные режимы. В закрытых РУ 6-10 кВ ошиновка и сборные шины выполняются жесткими алюминиевыми шинами. Медные шины из-за высокой их стоимости не применяются даже при больших токовых нагрузках. При токах 3000 А применяются одно- и двух полосные шины. Условия выбора

$$I_{max} < I_{доп}.$$

Проверка по допустимому току

$$I_{max} = \frac{P}{U} = \frac{8566,3}{10,5} = 815,84 \text{ А.} \quad (4.23)$$

Ток одной фазы - 503 А.

По номинальному току выбираю алюминиевые шины, размером 50x5 мм,  $T_n = 665 \text{ А}$ ,  $a = 60 \text{ см}$ .

$$I_{доп} = I_{доп.н} \sqrt{\frac{70 - \lambda_0}{45}} = 665 \cdot \sqrt{\frac{70 - 35}{45}} = 585 \text{ А,} \quad (4.24)$$

где  $I_{\text{доп.ном}}$  – допустимый ток по таблице при температуре воздуха 250С  
 $\lambda_0$  действительная температура воздуха.

При горизонтальном расположении шин допустимая нагрузка уменьшается на 5%

$$I_{\text{доп}} = 585 - 585 \cdot 0,05 = 556 \text{ А.}$$

Механический расчет однополосных шин  
 Наибольшие удельное усилие при токе КЗ

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{i_{\text{уд}}^2}{a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \cdot \frac{7,25^2}{60} = 0,015 \text{ кгс/см}^3 \quad (4.25)$$

Так как расстояние между фазами значительно больше периметра шин  
 $a \gg 2(b + h)$ , то коэффициент формы  $K\phi = 1$ .

Изгибающий момент

$$M = \frac{fl}{10} = \frac{0,015 \cdot 75}{10} = 0,11 \text{ кг/см}^3 \quad (4.26)$$

Напряжение в материале шины

$$G = \frac{M}{W} \frac{M}{hb^2} = \frac{0,11}{5 \cdot 0,5^2} = 0,53 \text{ МПа} \quad (4.27)$$

Шины механически прочны, если

$$G_{\text{расч}} < G_{\text{доп}};$$

$$0,53 \text{ МПа} < (41 \div 48) \text{ МПа.}$$

Выбор изоляторов

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

1. по номинальному напряжению:  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ ;

2. по допустимому нагрузке:  $F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$ ;

где  $F_{\text{доп}}$  – допустимая нагрузка на головку изолятора,  
 $F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разруш}} \cdot F_{\text{разруш}}$  – разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_p = \frac{1,76 \cdot 10^{-2} \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot L}{a} = \frac{1,76 \cdot 10^{-2} \cdot 21^2 \cdot 150}{30} = 43 \text{ кгс} \quad (4.28)$$

Выбираем изолятор типа ИО-10-750-У3,  $F_{\text{разруш}} = 750 \text{ кгс.}$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 750 = 450 \text{ кгс} \geq 43 \text{ кгс.} \quad (4.29)$$

Условие выполняется.

#### 4.4 Выбор силовых кабелей

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

1. по экономической плотности тока;
2. по термической стойкости;
3. по условию нагрева рабочим током;
4. по аварийному режиму;
5. по потере напряжения.



Выбор производится для кабелей проложенных в траншеях. Результаты расчетов сводим в общую таблицу. Для примера расчеты одной кабельной линии приводится полностью.

Расчет кабельной линии для ГПП- ТП1:

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_{mp})^2 + (Q_p + \Delta Q_{mp})^2},$$

$$S_p = \sqrt{(2714 + 36,3)^2 + (1312,29 + 194,16)^2} = 3135,67 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3135,67}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 86,31 \text{ А}.$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 86,31 = 172,62 \text{ А}.$$

а) по экономической плотности тока:

$$F_2 = \frac{I_p^2}{j_3} = \frac{86,31^2}{1,4} = 61,65 \text{ мм}^2.$$

где  $j_3 = 1,4 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для  $T_M = 6000 \text{ ч}$ .

б) по минимальному сечению термической стойкости к  $I_{кз}$

$$F_{мин} = \alpha \cdot I_{кз} \cdot \sqrt{t_{прив}} = 12 \cdot 11,01 \cdot \sqrt{0,5} = 93,42 \text{ мм}^2.$$

Примем кабель марки ААШв-10-(3х95),  $I_{дон} = 260 \text{ А}$ .

в) проверка по рабочему режиму с учетом поправочного коэффициента  $K_{нопр}$ , зависящего от количества кабелей проложенных в одной траншее  $K_{нопр} = 0,9$  (2 кабеля в траншее):

$$\frac{I_p}{K_{нопр}} = \frac{86,31}{0,9} = 95,9 \text{ А}, \quad (4.30)$$

$$I_{дон} = 260 \text{ А} \geq I_p = 95,9 \text{ А}$$

г) по аварийному току  $I_{дон.ав} = 1,3 \cdot I_{дон} \geq I_{ав}$ ,

$$338 \text{ А} \geq 172,62 \text{ А}.$$

д) по потере анпряжения  $\Delta U_{дон} \geq U_p$ ,

$$500 \text{ В} \geq 42,02 \text{ А}.$$

где  $\Delta U_{дон}$  – величина допустимых потерь напряжения, составляющая 5% от уровня номинального напряжения;

$U_p$  – величина расчетных потерь напряжения, вычисляемых по формуле

$$\Delta U_p = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_2} = \frac{2714 \cdot 0,145 + 1312,29 \cdot 0,037}{10,5} = 42,02 \text{ В} \quad (4.31)$$

где  $P$  и  $Q$  – это соответственно активная и реактивная мощности, протекающие по кабельной линии, а  $R$  и  $X$  соответственно активное и реактивное сопротивления кабельной линии, определяемые произведением удельного сопротивления КЛ на ее длину:

$$R = r_0 \cdot l = 0,33 \cdot 0,44 = 0,145 \text{ Ом}, \quad (4.32)$$

$$X = x_0 \cdot l = 0,083 \cdot 0,44 = 0,037 \text{ Ом}, \quad (4.33)$$

где  $l$  – это длина кабеля от ГПП до ТП-1, км.

Таблица 4.7 – Кабельный журнал

Наименование участка или назначение линии	Исходные данные			Способ прокладки	Расчет									Выбран кабель			$\Delta U$ %
	$S_p$ , кВА	Нагрузка одной наиболее напряженной линии в режиме			По допустимому нагреву			По экономической плотности тока			По току короткого замыкания			Кол-во кабелей, марка и сечение	$l$ , км	$I_{дон}$ А	
		$I_p$ , А	$I_{ав}$ , А		$N$	$K_n$	$I_p/K_{ноп}$ , А	$T_m$ , ч	$j_{э}$ , А	$F_{э}$ , мм	$t_n$ , с	$I_k$ , rA	$F_m$ , мм				
ГПП-ТП21	3135,67	86,31	172,6 2	траншея	2	0,9	95,90	6000	1,4	70	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,4 4	260	42,02
ТП1-ТП2	1567,84	43,16	86,31	траншея	2	0,9	47,95	6000	1,4	35	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,2 8	260	26,31
ГПП-ТП3	3232,01	88,96	177,9 3	траншея	2	0,9	98,85	6000	1,4	70	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,1 6	260	15,89
ТП3-ТП4	1616,01	44,48	88,96	траншея	2	0,9	49,42	6000	1,4	35	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,3 2	260	16,07
ГПП-ТП5	3213,06	88,44	176,8 8	траншея	2	0,9	98,27	6000	1,4	70	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,1 3	260	12,28
ТП5-ТП6	1606,53	44,22	88,44	траншея	2	0,9	49,13	6000	1,4	35	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,0 9	260	4,39
ГПП-СД 1250	1180,56	65,99	-	траншея	4	0,8	81,24	6000	1,4	50	0,4	9,24	70	ААШВ-10-(3x95)	0,1 7	210	8,18
ГПП-СД 1500	1416,67	77,99	-	траншея	4	0,8	97,49	6000	1,4	70	0,4	9,24	70	ААШВ-10-(3x95)	0,1 0	210	5,64
ГПП-ДСП-12т	3369,03	185,47	-	траншея	4	0,8	231,84	6000	1,4	150	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,5 1	260	47,48
ГПП-ДСП-12т	3369,03	185,47	-	траншея	2	0,9	206,08	6000	1,4	150	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,2 2	260	20,51
ГПП-ДСП-25т	5617,23	309,23	-	траншея	2	0,9	343,59	6000	1,4	240	0,5	11,01	95	ААШВ-10-(3x95)	0,1 6	260	24,02

## **5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СЕТИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ И РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ И АНАЛИЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В этом разделе приводятся расчеты по определению мощности компенсирующих устройств для сети с нелинейными и резкопеременными нагрузками и анализ схемы электроснабжения.

### **5.1 Общая часть**

В результате интенсификации производственных процессов совершенствования существующей и внедрения новой технологии на промышленных предприятиях все большей степени применяют вентильные преобразователи, установки электросварки, мощные электродуговые печи, вольтамперные характеристики которых нелинейны и резкопеременны.

Нагрузки с регулируемыми вентильными преобразователями характеризуются большим потреблением реактивной мощности, а следовательно, низким  $\cos\varphi$ . Например, для вентильных преобразователей прокатных станов  $\cos\varphi = 0,3-0,8$ .

ДСП получил широкое распространение на современных металлургических и машиностроительных предприятиях. Печи строят от половины тонн до сотен тонн с трансформаторами мощностью 0,4-150 МВА. Нелинейность вольтамперной характеристики дуги приводит к генерации печами токов высших гармоник. Формы тока печей в значительной степени зависят от режима горения дуги в разные периоды плавки. В начальный период расплавления и при подвале скрапа ток печи колеблется между токами режимов ХХ и металлического КЗ. Эти сильные и нерегулярные нагрузки колебания нагрузки носят случайны характер. Форм кривых токов в этот период значительно отличается от синусоидальной.

При протекании токов высших гармоник по элементам системы электроснабжения промышленного предприятия возникают дополнительные потери активной мощности и электроэнергии. Наибольшие потери активной мощности, обусловленные высшими гармониками, возникают в трансформаторах, двигателях и генераторах, увеличение активных сопротивлений обмоток которых с ростом частоты происходит приблизительно пропорционально  $\sqrt{\nu}$ . В ряде случаев эти потери могут привести к недопустимому нагреву обмоток электрических машин и во всех случаях приводят к значительным дополнительным потерям электроэнергии. Так, уровень дополнительных потерь электроэнергии от высших гармоник в питающих сетях промышленных предприятия составляет 4-6% номинальных потерь при синусоидальном напряжении, во внутризаводских сетях, а также в сетях электрифицированного железнодорожного транспорта они достигают 10-15%.

При наличии высших гармоник в кривой напряжения процесс старения изоляции протекает более интенсивно, чем в случае работы электрооборудования при синусоидальном напряжении. Ведет к повышенному содержанию высших гармоник и в токе замыканию на землю, что снижает эффективность работы дугогасящих аппаратов и приводит к сокращению срока службы силовых кабелей, повышению аварийности в кабельных сетях. Высшие гармоники также влияют на показания электроизмерительных приборов и вызывают ложную работу устройств релейной защиты, в которой используют токи фильтры токов обратной последовательности.

Наиболее ощутимое влияние высшие гармоники тока и напряжения оказывают на работу батареи конденсаторов.

Резкопеременный характер потребления реактивной мощности вызывает колебания напряжения питающей сети. Набросы реактивной мощности могут превышать 100000 кВар, причем скорость наброса и сброса потребляемой реактивной мощности  $dQ/dt$  достигает для станов горячей прокатки 400000 кВар/с, для станов холодной прокатки 2000000 кВА/с. При питании таких электроприемников колебания напряжения в сети 10(6) кВ могут достигать более 20%, а в сети 110-220 кВ даже при мощности КЗ 3500-5000 МВА могут превышать 2-3%. Коэффициент несинусоидальности напряжения на шинах 10(6) кВ может достигать 20%.

Аналогичные воздействия оказывают нагрузки дуговых сталеплавильных печей, причем частота колебаний нагрузки, например, в период расплавления металла (шихты) и в начале окисления находится в диапазоне 0,1-25 Гц. Кроме того, нагрузки дуговых печей из-за неравномерности потребления тока по фазам могут вызвать значительную несимметрию напряжения.

Все изложенное обуславливает применение принципов компенсации реактивной мощности, существенно отличающихся от принятых в сетях с так называемой спокойной нагрузкой.

Особенности компенсации реактивной мощности в сетях с резкопеременной и несимметричной нагрузкой заключается в следующем:

1) низкий коэффициент мощности потребителей и резкопеременный характер нагрузки вызывают необходимость осуществлять компенсацию как постоянной, так и переменной составляющей реактивной мощности необходима для улучшения сое и для уменьшения отклонений напряжении в питающей сети. Компенсация переменной составляющей реактивной мощности преследует цель уменьшить колебания напряжения в питающей сети;

2) из-за быстрых изменений потребляемой мощности (реактивной) необходимо применение быстродействующих статических компенсирующих устройств с минимальным запаздыванием по отработке колебаний реактивной мощности;

3) неравномерное колебание реактивной мощности по фазам требует

применения пофазного управления компенсирующим устройством;

4) в сетях с резкопеременной вентильной нагрузкой ограничивается применение батарей конденсаторов для компенсации постоянной составляющей реактивной мощности. Это обусловлено наличием высших гармоник тока и напряжения при работе нелинейных нагрузок. Высшие гармоники приводят к значительным перегрузкам батарей конденсаторов по току.

На стадии проектирования электроснабжения резкопеременных нагрузок расчет средств компенсации реактивной мощности должен осуществляться на основании графиков потребляемой активной и реактивной мощности. Графики активной и реактивной мощности различных электроприводов могут быть построены расчетным путем на стадии проектирования или по результатам замеров непосредственно на действующих аналогичных объектах.

Методы и средства уменьшения высших гармоник в системах электроснабжения:

1) увеличивают мощность КЗ питающей системы; чем больше  $S_k$ , тем меньше уровень высших гармоник в электрических сетях;

2) применяют отдельное питание приемников с нелинейной вольтамперной характеристики и обычных общепромышленных приемников, которое осуществляют от разных секции шин подстанций или через сдвоенные реакторы - на отдельные их ветви (рисунок 5.1);

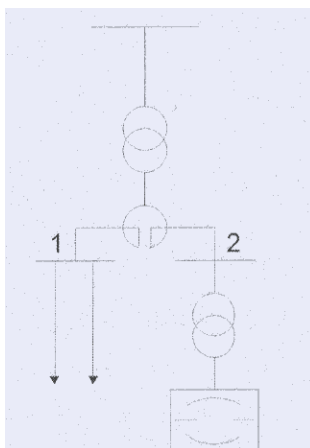


Рисунок 5.1 - Схема питания нагрузок с использованием сдвоенного реактора 1 - спокойные нагрузки; 2 - ударные нагрузки

3) увеличивают число фаз выпрямления;

4) применяют многофазный эквивалентный режим работы преобразователей;

5) применяют фильтры высших гармоник (рисунок 5.2).

Фильтры высших гармоник являются одновременно и источником реактивной мощности и может служить в качестве одного из средств компенсации реактивных нагрузок. Параметры фильтров подбирают так, чтобы их звенья были настроены в резонанс на частоты гармоник, недопустимых в системе электроснабжения, а значения их емкостных

позволили скомпенсировать необходимую реактивную мощность основной частоты.

Основным недостатком фильтров высших гармоник является их высокая стоимость, обусловленная в основном стоимостью батареи конденсаторов. Поэтому применение фильтров целесообразно лишь в тех случаях, когда требуется не только не допустить проникновения в электрическую систему токов высших гармоник, но и скомпенсировать реактивную мощность в рассматриваемом пункте системы электроснабжения.

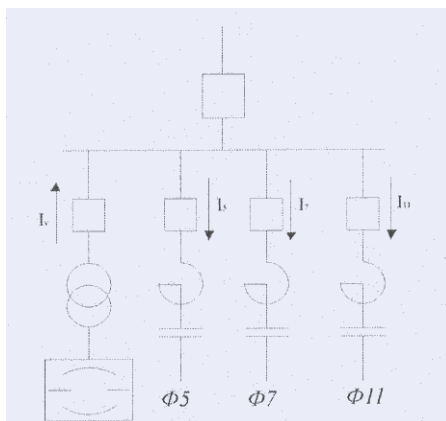


Рисунок 5.2 - Схема включения фильтров 5,7,11-й гармоник

Распространению фильтров мешает также их большая чувствительность к точности настройки. При неточной настройке звеньев фильтра эффективность его уменьшается и даже может иметь место увеличение гармоник напряжения на шинах подстанции.

Для снижения или устранения влияния резкопеременных нагрузок используют различные схемы и устройства. Наиболее простым способом является перевод приемников, вызывающих колебание напряжения, на отдельные линии, подключаемые непосредственно к источнику питания, минуя цеховые подстанции.

Совместное питание спокойной и ударной нагрузок от одного источника возможно при применении сдвоенного реактора. При этом нагрузки подключают к различным секциям, как показано на рисунке 5.1.

Для резкопеременных и спокойных нагрузок в сетях с напряжением 6-10 кВ применяют силовые трансформаторы с расщепленными обмотками. При этом к одной ветви обмотки низшего напряжения трансформатора подключают спокойную нагрузку, а к другой - резкопеременную.

При большом реактивном сопротивлении питающих линии и низких значениях коэффициента применяют продольную компенсацию, т.е. включают конденсаторные батареи последовательно в рассечку линии.

Эффективным средством снижения колебаний напряжения является применение синхронных двигателей и компенсаторов, обладающих естественным регулирующим эффектом, проявляющимся в снижении колебаний напряжения при ударной нагрузке.

## 5.2 Расчет резкопеременной нагрузки

Для определения допустимых колебаний напряжения в расчетной точке сети исходными данными являются графики работы резкопеременной нагрузка.

Размах эквивалентного колебания напряжения, %

$$V_{тэээ} = 100 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\delta Q_i^2}{S_k}}, \quad (5.1)$$

где  $\delta Q$  – значение  $i$ -го размаха реактивной мощности, определенное по графику;

$n_k$  – суммарное число размахов за время расчетного цикла.

При значениях суммарных активного  $r_\Sigma$  и реактивного  $x_\Sigma$  сопротивлений сети в расчетной точке одного порядка влияние колебаний напряжения определяется по формуле

$$\delta U = \frac{(I_a \cdot R_\Sigma + I_p \cdot X_\Sigma)}{U_{ном}}, \quad (5.2)$$

где:

$$\Delta I_a = \frac{\Delta P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{11,9 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 650 \text{ А}, \quad (5.3)$$

$$\Delta I_p = \frac{\Delta Q}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 110 \text{ А}. \quad (5.4)$$

Для проверки допустимости  $V_{тэкв}$  вычисляется средняя частота колебаний по формуле

$$f = \frac{n_k}{T}, \quad (5.5)$$

где  $T$  – время цикла работы нагрузки по графику изменения потребляемой реактивной мощности.

Для ДСП при отсутствии графиков реактивной мощности рекомендуется определять размах эквивалентного колебания напряжения, % по следующим формулам:

для группы одинаковых ДСП

$$V_{тэээ} = 100 \cdot 4 \sqrt{N \cdot \frac{S_{n.m.}}{S_k}}, \quad (5.6)$$

для группы печей разной мощности

$$V_{тэээ} = 100 \cdot 4 \sqrt{\sum_{ih1}^n \frac{S_{n.m.}}{S_{n.m.max}} \cdot \left( \frac{S_{n.m.max}}{S_k} \right)}, \quad (5.7)$$

Эквивалентные колебания напряжения для практических расчетов считаются допустимыми, если они не превышают 1 %.

Определим колебание напряжения для данной схемы электроснабжения завода ферросплавов.

Исходные данные: Схема электроснабжения. Мощность КЗ на стороне 110 кВ,  $S_{кз} = 2100$  МВА. Сила тока и мощность КЗ на шинах 10 кВ соответственно 11,01 кА и 199,9 МВА.

Нагрузка ДСП-3ДСП-12т и 1ДСП-25т, с трансформаторами ЭТЦПК- 7500/10,  $S_{дсп12} = 5000$  кВА и ЭТЦНК-20000/10,  $S_{дсп25} = 9000$ кВА соответственно. Связь от ГПП до ДСП осуществляется для всех ДСП через кабели типа ААШв-10-(3х95),  $r_0 = 0,33$  Ом/км,  $x_0 = 0,083$  Ом/км,  $l_1 = 0,51$  км,  $l_2 = 0,22$  км,  $l_3 = 0,16$  км. Активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_0 l = \frac{0,33}{2} \cdot 0,51 = 0,08 \text{ Ом}, \quad (5.8)$$

$$X_{каб} = x_0 l = \frac{0,83}{2} \cdot 0,51 = 0,02 \text{ Ом}, \quad (5.9)$$

где  $r_0$ ,  $x_0$ , – соответственно удельные активное и реактивное сопротивления, Ом/км.

Колебание напряжения будет

$$V_{тэээ} = 100 \cdot 4 \sqrt{\sum_{ih1}^n 3 \cdot \frac{5000}{9000} \cdot \left( \frac{9000}{2000} \cdot 10^3 \right)} = 0,55 \% .$$

Значение колебания напряжения считается допустимым, т.к. не превышает 1 %.

### 5.3 Расчет нелинейной нагрузки

Определяем коэффициент несинусоидальности. для оценки влияния нелинейных нагрузок на сеть предприятия необходимо определить коэффициент несинусоидальности, %, по формуле:

$$K_{нс} = 100 \cdot \sqrt{\sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{U_{ном}^2}}, \quad (5.10)$$

где  $U_v$  – действующее значение напряжений  $v$ -й гармоники;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети;

$n$  – порядковый номер последней из учитываемых гармоник.

Для вычисления  $K_{нс}$  необходимо определить уровень напряжения отдельных гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой,

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_v = I_v \cdot v \cdot U_{нл} \cdot \frac{U_{ном}}{S_k}, \quad (5.11)$$

где  $I_v$  - действующее значение фазного тока  $v$ -й гармоники;

$v$  - порядковый номер гармоники;

$U_{нл}$  - напряжение нелинейной нагрузки.

Для расчета  $U_v$  необходимо предварительно определить ток соответствующей гармоники, который зависит не только от электрических



параметров, но и от вида нелинейной нагрузки,

Значения токов гармоник определяются для отдельных видов нелинейных нагрузок.

Для дуговой сталеплавильной печи при определении токов гармоник в режиме расплавления достаточно учитывать только 2-7-ю гармоники. Токи гармоник (кроме тока 2-й гармоники, который принимается равным току 3-й) зависят от числа и мощности ДСП, и для практических расчетов рекомендуется принимать:

для одной ДСП:

$$I_v = \frac{I_{n.m.}}{v^2}, \quad (5.12)$$

где  $I_{n.m.}$  – номинальный ток печного трансформатора;  
для группы печей разной мощности:

$$I_{vzp} = I_{vmax} \cdot \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{n.mi}}{S_{n.m.max}} \right)}, \quad (5.13)$$

где  $S_{n.m.}$  – мощность  $i$ -го печного трансформатора;

$S_{n.m.max}$  – наибольшая мощность печного трансформатора в группе ДСП;

$I_{vmax}$  – ток гармоники печного трансформатора наибольшей мощности;

$n$  – общее число работающих печей.

Исходными данными для определения коэффициента несинусоидальности  $K_{nc}$  являются количество и мощности ДСП: в цехе №1 установлены 2 ДСП-25т, в цехе №2 – 2 ДСП-12т, в цехе №3 – 4 ДСП-12т. Итого, 2 ДСП-25 т по  $S_{n1} = 9000$  кВА и 6 ДСП по  $S_{n2} = 5000$  кВА.

Определим номинальные токи печных трансформаторов, если  $S_{n.m2} = S_{n.m.max} = 9000$  кВА и  $S_{n.m1} = 5000$  кВА:

$$I_{n.m1} = \frac{S_{n.m1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 275,25 \text{ А},$$

$$I_{n.m2} = \frac{S_{n.m2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{9000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 495,46 \text{ А},$$

Определим ток 3-й гармоники печного трансформатора наибольшей мощности:

$$I_{vmax3} = \frac{I_{n.m1}}{v^2} = \frac{275,25}{3^2} = 30,58 \text{ А}.$$

Определим ток 3-й гармоники для группы печей:

$$I_{vzp3} = 30,58 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot \left( \frac{5000}{9000} \right) + \frac{9000}{9000}} = 30,58 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot 0,555 + 1} = 30,58 \cdot \sqrt[4]{2,665} = 30,58 \cdot 1,27 = 38,84 \text{ А}.$$

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_{v3} = 38,84 \cdot 3 \cdot 10,5 \cdot 10,5 / 2100 = 58,26 \text{ В}.$$

Ток 2-й гармоники для группы печей:

$$I_{vzp2} = I_{vzp3} = 38,84 \text{ А}.$$

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_{v2} = 38,84 \cdot 2 \cdot 10,5 \cdot 10,5 / 2100 = 39,16 \text{ В}.$$

Определим ток 4-й гармоники печного трансформатора наибольшей мощности:

$$I_{vmax4} = \frac{I_{n.m1}}{v^2} = \frac{495,46}{4^2} = 30,96 \text{ А.}$$

Определим ток 4-й гармоники для группы печей:

$$I_{vzp4} = 39,96 \cdot 4 \sqrt{3 \cdot \left(\frac{5000}{9000}\right) + \frac{9000}{9000}} = 39,57 \text{ А.}$$

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_{v4} = 39,57 \cdot 4 \cdot 10,5 \cdot 10,5 / 2100 = 8,31 \text{ В.}$$

Определим ток 5-й гармоники печного трансформатора наибольшей мощности:

$$I_{vmax5} = \frac{I_{n.m1}}{v^2} = \frac{495,46}{5^2} = 19,82 \text{ А.}$$

Определим ток 5-й гармоники для группы печей:

$$I_{vzp5} = 19,82 \cdot 4 \sqrt{3 \cdot \left(\frac{5000}{9000}\right) + \frac{9000}{9000}} = 25,33 \text{ А.}$$

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_{v5} = 25,33 \cdot 5 \cdot 10,5 \cdot 10,5 / 2100 = 6,65 \text{ В.}$$

Определим ток 6-й гармоники печного трансформатора наибольшей мощности:

$$I_{vmax6} = \frac{I_{n.m1}}{v^2} = \frac{495,46}{6^2} = 13,76 \text{ А.}$$

Определим ток 6-й гармоники для группы печей:

$$I_{vzp6} = 13,76 \cdot 4 \sqrt{3 \cdot \left(\frac{5000}{9000}\right) + \frac{9000}{9000}} = 17,59 \text{ А.}$$

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_{v6} = 17,59 \cdot 6 \cdot 10,5 \cdot 10,5 / 2100 = 5,54 \text{ В.}$$

Определим ток 7-й гармоники печного трансформатора наибольшей мощности:

$$I_{vmax7} = \frac{I_{n.m1}}{v^2} = \frac{495,46}{7^2} = 10,11 \text{ А.}$$

Определим ток 7-й гармоники для группы печей:

$$I_{vmax7} = 10,11 \cdot 4 \sqrt{3 \cdot \left(\frac{5000}{9000}\right) + \frac{9000}{9000}} = 12,92 \text{ А.}$$

Фазное напряжение гармоники в расчетной точке питающей сети:

$$U_{v7} = 12,92 \cdot 7 \cdot 10,5 \cdot 10,5 / 2100 = 4,75 \text{ В.}$$

Определим коэффициент несинусоидальности:

$$K_{нс} = 100 \sqrt{\frac{(7,39 + 11,08 + 8,31 + 6,65 + 5,54 + 4,75)}{(10,5 \cdot 1000)}} = 0,18\% .$$

При коэффициенте несинусоидальности менее 5% рекомендуется

применять в качестве устройств КРМ батареи конденсаторов в комплекте с защитным реактором или фильтры. Мощность БК определена выше и она составила  $Q_{БК} = 11046$  кВар.

При применений БК с последовательно включенным защитным реактором необходимо обеспечить индуктивный характер цепи на частоте, наименьшей из генерируемых суммарной нелинейной нагрузкой гармоник. Индуктивное сопротивление защитного реактора на частоте 50 Гц определяется из условия, Ом,

$$X_p \geq \frac{1,1U_{БКном}^2}{v^2 Q_{БКном}},$$

$$0,35 \text{ Ом} \geq 0,25 \text{ Ом}$$

$U_{БКном}$  – номинальное напряжение БК,

$U_{БКном} = 10,5$  кВ.

Номинальное индуктивное сопротивление

$$X_p = X_{ном.p} = \omega \cdot L \cdot 10^{-3} = \frac{X_{p\%} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{ном}} \cdot 10 = \frac{2,4 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 400} \cdot 10 = 0,35 \text{ Ом}, \quad (5.14)$$

где  $X_p$  – номинальное индуктивное сопротивление,  $X_p = 2,4\%$ ;

$I_{ном}$  – номинальный длительно допустимый ток реактора.

Примем реакторы типа РБ10-400-0,35.

## 5.4 Вывод

В данном разделе для расчета нелинейной и резкопеременной нагрузки были определены колебание напряжения и коэффициент несинусоидальности. В ходе расчетов выяснилось, что размах эквивалентного колебания напряжения  $V_{тэkv}$  составил 0,55%, а коэффициент несинусоидальности  $K_{нс}$  – 0,18%, что не превышает нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения, для размаха эквивалентного колебания напряжения 1% и коэффициента несинусоидальности 5%. Анализируя схему электроснабжения можно сказать, что данная схема электроснабжения для ферросплавного завода является надежной. Так как соблюдены все условия надежности для схем со специфическими нагрузками. А именно: применение в качестве трансформаторов ГПП трансформаторы с расщепленными обмотками, раздельное питание приемников со специфическими нагрузками и обычных общепромышленных приемников, которое осуществляется от разных секции шин, установка батареи конденсаторов типа УКЛ(П)56М-10,5-1350У3 с защитным реактором типа РБ10-400-0,35.

## **6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ФИНАНСОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГООБЪЕКТ**

### **6.1 Общая часть**

#### **6.1.1 Цели разработки проекта**

Целью разработки проекта является определение экономической и финансовой эффективности затрат завода.

Завод ферросплавов расположен в городе Риддер. График работы завода трехсменный. Питание может осуществляется от шин подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два трансформатора мощностью по 80 МВА, напряжением 115/37/10 кВ. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 7 км. Риддер расположен на юго-востоке Восточно-Казахстанской области - на 83,2° восточной долготы и 49,9° северной широты. Город находится на севере Ивановского хребта на высоте 700-760 м. над уровнем моря, в долинах рек Харюзовка, Тихая, Быструха, Филиповка, Громотуха. Территория, примыкающая к городу плодородна, обильно поросла лесом, в основном Ель, и Сибирская сосна, и кустарником. Город небольшой, с численностью населения около 100000 человек. Климат в Риддере резко-континентальный. Средняя многолетняя температура воздуха равна 9°С, абс. макс. 38,2 С, а абс. мин. -38 С. Самый холодный месяц в году январь, самый жаркий - июль.

#### **6.1.2 Анализ рынка сбыта**

Основным потребителем электроэнергии является завод ферросплавов, коэффициент загрузки трансформаторов 0,54. Завод находится в непосредственной близости к жилым районам и другим предприятиям II и III категории потребителей, поэтому часть нагрузки можно отпускать к ним. К тому же завод расположен недалеко от месторождения руды, на которых в будущем планируется вести разработку.

#### **6.1.3 Тарифы на электроэнергию**

Транзит электроэнергии может быть произведен по ЛЭП 110 кВ АО «KEGOC» (три линии 110 кВ, одна из них в габарите 220 кВ) присоединенные к подстанции №7 АО «KEGOC». Тариф на передачу по этим сетям составляет 1,305 тенге/кВтч.

Действующий тариф в рассматриваемом регионе – 15,00 тенге.

### 6.1.3 План производства

Управление строительством объекта осуществляется акционерным обществом «ЕЭнерго», со следующей структурой управления:

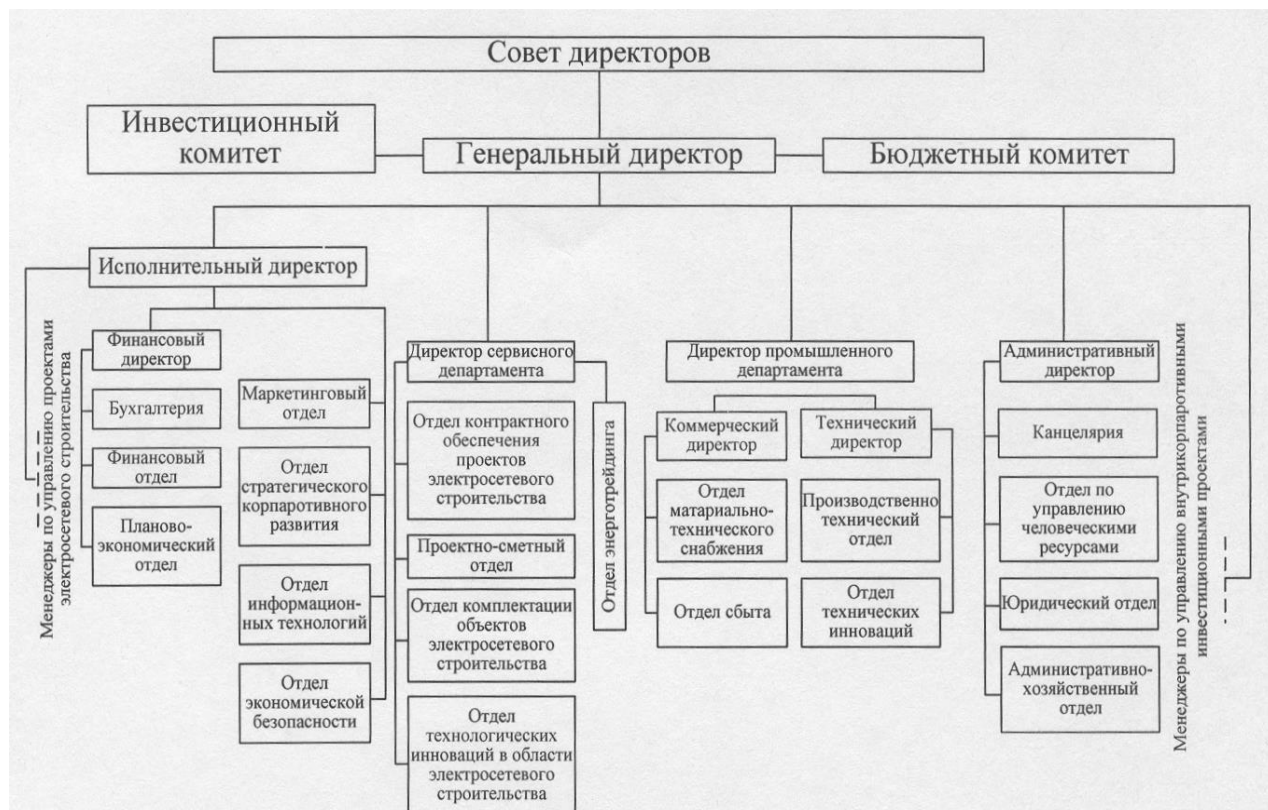


Рисунок 6.1 – Структура управления

Планируется закупка высоковольтных батареи конденсаторов для индивидуальной компенсации реактивной мощности, что позволяет снизить нагрузку и уменьшить сечение ЛЭП, кабелей и выбрать более слабые оборудования, которые соответственно стоят дешевле. Следовательно, компенсация реактивной мощности удешевляет схему электроснабжения, что экономически выгодно.

### 6.1.4 Экологическая информация

Облачность в Риддере относительно невысокая, обычно небо покрыто тонкими облаками среднего яруса, пропускающими или незначительно уменьшающими солнечную радиацию. Повторяемость пасмурного состояния неба при нижней облачности составляет порядка 15% летом и 20-30% в остальное время года: ясная погода с отметкой нижней облачности 0-2 балла в течение года повторяется, достигая 65%.

Завод ферросплавов относится к IV категории опасности предприятий и требует наличия санитарно-защитной зоны с предварительными размерами не менее 100 м. Для очистки выбросов и снижения вредных воздействий завода на окружающую среду применяются пылеулавливающие и газоочистные установки.

## 6.2 Расчет технико-экономических показателей

### 6.2.1 Определение капитальных вложений

В данной работе было принято решение установить компенсирующие устройства в количестве 8 штук типа УКЛ(П)56М-10,5-1350У3,

$U_{НОМ} = 10,5$  кВ,  $Q_{ВБК} = 1350$  кВар,

Габариты – 2766 x 825 x 1630 мм,

Масса – 905 кг,

ГОСТ, ТУ – ТУ 63 10 РК 00213457 АО-037-2005

Для определения величины капитальных затрат составляются сметы на приобретение оборудования. Кроме того учитываются затраты на строительство, монтаж и т.д.

$$\Sigma K = K_0 + K_c + K_m + K_{mp}, \quad (6.1)$$

где  $K_0$  – капитальные вложения на приобретение оборудования;

$K_c$  – капитальные вложения на строительство (30% от стоимости оборудования);

$K_m$  – капитальные вложения на монтажные работы (11 % от стоимости оборудования);

$K_{mp}$  – капитальные вложения на транспортные расходы (10% от стоимости оборудования).

По данным каталогов и прайс-листов, опубликованных в СМИ стоимость КУ типа УКЛ(П)56М-10,5-1350У1 составляет 4,9 тыс.у.е.

Тогда, капиталовложение на одну установку составит:

$$K = 4,9 + 1,47 + 0,54 + 0,49 = 7,4$$

Суммарное капиталовложение за 8 установок

$$\Sigma K = 8 \cdot K = 8 \cdot 7,4 = 59,2 \text{ тыс.у.е.} = 10,592 \text{ млн.тенге}$$

Следовательно, для установки восьми ВБК понадобится 10,592 млн.тенге.

Определение объема реализации и расчет окупаемости.

Объем реализации ферросплавов за год определяется по формуле

$$V = \frac{Z_{э/э}}{S_{yд}} \quad (6.2)$$

где  $Z_{э/э}$  – затраты завода на электроэнергию;

$S_{yд}$  – себестоимость одной тонны ферросплавов с учетом удельного веса электроэнергии;

$$Z_{э/э} = P_p \cdot T \cdot T_{ВКРЭК}, \quad (6.3)$$

где  $P_p = 42951,3$  кВт – активная нагрузка завода на шинах 10 кВ;

$T = 8760$  ч – количество часов в году;

$T_{ВКРЭК} = 15,00$  тенге/кВтч – тариф на электроэнергию в этом районе.

$$Z_{\text{э/э}} = 42951,3 \cdot 8760 \cdot 15,00 = 5643,800820 \text{ млн.тг,}$$

$$S_{\text{yд}} = S_{\phi} \cdot Y_{\text{э/э}}, \quad (6.4)$$

где  $S_{\phi} = 0,3792$  млн.тг/т – себестоимость одной тонны ферросплава;

$Y_{\text{э/э}} = 75\%$  – удельный вес электроэнергии на тонну ферросплава;

$$S_{\text{yд}} = 0,3792 \cdot 0,75 = 0,2844 \text{ млн.тг.}$$

Для оценки экономической эффективности данного мероприятия используем методику определения чистой текущей стоимости, срок окупаемости при ставке дисконтирования в 10%.

Целью разработки проекта являл ось установка пылеуловителя. Пылеуловитель предназначен для уменьшения концентрации выбросов вредных веществ. Целью установки является получение прибыли от установки пылеуловителя, который позволит не превышать ПДК и не платить за превышения штрафы. Капитальные вложения составили 14 млн.тенге. Затраты составили 2,56 млн. тенге.

Для определения NPV, необходимо спрогнозировать величину финансовых потоков в каждый год проекта, а затем привести их к общему знаменателю, для сравнения во времени. То есть NPV – это разница между суммой денежных поступлений порождаемых реализацией проекта и дисконтированных текущих стоимостей и всех затрат необходимых для реализации этого проекта.

Чистая приведенная стоимость определяется:

$$NPV = \sum_1^n \frac{CF_n}{(1+r)^n} - I_0, \quad (6.5)$$

где  $CF$  - ежегодные денежные поступления;

$n$  - годы реализации проекта;

$I_0$  - полные суммарные инвестиции;

$r$  – процентная ставка.

Результаты расчета сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчета чистой текущей стоимости

Год	$CF$ , млн.тг	$r_1=10\%$ , ставка дисконтиро вания	$PV1$ , млн.тг	$NPV1$ мл н.тг	$r_2=15\%$ , ставка дисконти рования	$PV1$ млн.тг	$NPV1$ млн.тг
0,00	-125,20	1,00	-125,20	0,00	1,00	-125,20	0,00
1,00	62,26	0,91	56,60	-68,60	0,87	54,14	-71,06
2,00	62,26	0,83	51,45	-17,15	0,76	47,08	-23,98
3,00	62,26	0,75	46,78	29,63	0,66	40,94	16,95

Расчет ведется до первого положительного значения  $NPV$ , Т.е. до 19-го года.  $NPV$  больше нуля, следовательно, при данной ставке дисконтирования проект является выгодным для предприятия. Срок окупаемости проекта по данному методу расчета 3 года.

Под внутренней нормой прибыли инвестиционного проекта (Internal Rate of Return, IRR) понимают значение коэффициента дисконтирования  $r$ , при котором  $NPV$  проекта равен нулю:

$$NPV = 0 \text{ при } IRR = r$$

Экономический смысл критерия IRR заключается в следующем: IRR показывает максимально допустимый относительный уровень расходов по проекту. В то же время предприятие может реализовывать любые инвестиционные проекты, уровень рентабельности которых не ниже текущего значения показателя цены капитала.[15]

Рассчитаем  $IRR$  для  $r = 10\%$  банковского процента и методом интерполяции при помощи  $r = 15\%$  определим  $IRR$  по формуле:

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \cdot (r_1 - r_2), \quad (6.6)$$

где  $r_1$  – банковский процент в размере 10 %,  
 $r_2$  – банковский процент в размере 15%,  
 $NPV_1$  –  $NPV$  при банковском проценте 10 %,  
 $NPV_2$  –  $NPV$  при банковском проценте 15 %.

$IRR$  служит индикатором риска. В нашем случае  $IRR$  превышает нашу процентную ставку на 0,6%.

Определяем срок окупаемости. Метод состоит в определении того срока окупаемости, который необходим для возмещения суммы первоначальных инвестиций.

Возможный максимальный объем товара определяется

$$V_T = 1268,5393 / 0,2844 = 4460,4053 \text{ т.}$$

Цена за тонну ферросплава определяется как

$$C = S_\phi + П, \quad (6.7)$$

где  $П$  – прибыль завода, 10%-15% от себестоимости.

$$C = 0,3792 + 0,0349 = 0,4171 \text{ млн.тг/т.}$$

Тогда объем реализации за год

$$V_p = C \cdot V_T = 0,4171 \cdot 4460,4053 = 1860,5243 \text{ млн.тг.} \quad (6.8)$$

Прибыль за год

$$П = 0,1 \cdot V_p = 0,1 \cdot 1860,5243 = 186,0524 \text{ млн.тг.} \quad (6.9)$$

20% от прибыли – обязательные платежи

Отсюда, чистая прибыль

$$C_n = П - 0,2П = 0,8П = 148,842 \text{ млн.тг.} \quad (6.10)$$



Предполагается, что 3% от чистой прибыли идет на покрытие затрат, связанных с установкой КУ

$$0,03 \cdot C_n = 4,46 \text{ млн.тг.}$$

За два года:  $2 \cdot 4,46 = 8,92$  млн.тг. Следовательно, затраты окупятся за 2 года.

Вывод: установка ВБК является экономически эффективным, т.к. позволяет снизить затраты на другие оборудования и окупается всего за 2 года.

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 7.1 Оценка влияния завода ферросплавов на окружающую среду

В дипломном проекте рассчитано электроснабжение завода ферросплавов. В процессе производства ферросплавов широко используются сварочные работы, механическая обработка металлов, переработка неметаллических материалов, лакокрасочные операции и т.п., что приводит к выбросам вредных веществ в атмосферу.

Для снижения этих выбросов производят разработку нормативов предельно допустимых и временно согласованных выбросов (ПДВ и ВСВ) для стационарных источников.

Для определения опасности предприятия и размера санитарной защитной зоны необходимо произвести соответствующий расчет, при этом ПДВ принимаю равным нормативному значению.

Выбросы завода ферросплавов приведены в таблице 1.

В состав завода входят следующие цеха, выбрасывающие в окружающую среду вредные вещества:

**Кузнечно-механический цех.** При механической обработке металлов, пластмасс и других материалов на металлорежущих станках образуется большое количество пыли и стружки обрабатываемых материалов.

**Цех электропечей.** При проведении технологического процесса на всех стадиях обработки материалов возможно появление опасных и вредных производственных факторов. Основными источниками загрязнения атмосферы пылью, окисью углерода, сернистым ангидридом и водоемов механическими взвесями в литейном цехе являются чугунно- и сталеплавильные агрегаты, оборудование смесеприготовительного отделения и др. Цех электропечей с годовым выпуском 18 тыс. т литья, оборудованный пылеуловителями с эффективностью очистки 0,7-0,8 выбрасывает в окружающий воздушный бассейн до 180 т пыли в год. Углекислый газ, применяемый для химической сушки, выделяется в рабочей зоне. Основными видами загрязнения сточных вод являются песок, окалина, пыль, флюсы и т.д. Массовая концентрация взвесей в сточных водах может достигать 3000 мг/л.

**Электроремонтный цех и цех дробления и подготовки шихты.** В этом цехе производится механическая обработка металлов с образованием металлической стружки и пыли. Также в цехе применяется электросварка в процессе которой в больших количествах выделяется окись углерода, и пары флюса.

Остальные цеха являются вспомогательными и их вредные выделения минимальны.

## 7.2 Анализ условий труда обслуживающего персонала электроремонтного цеха, при эксплуатации технического оборудования

Требованиями «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий СИ 245-71» предусмотрено, что предприятия, являющиеся источниками выделения в окружающую среду вредных и неприятно пахнущих веществ, следует отделить от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Размеры санитарно-защитной зоны до границы жилой застройки устанавливаются в зависимости от мощности предприятия, условий осуществления технологического процесса, характера и количества, выделяемых в окружающую среду вредных и неприятно пахнущих веществ. Для предприятий являющиеся источниками производственных загрязнений, в зависимости от мощности, условий осуществления технологического процесса в соответствии с санитарной классификацией промышленных предприятий устанавливаются следующие размеры санитарно - защитных зон для предприятий: I класса – 1000 м (КОП >10<sup>6</sup>); II класса – 500 м (КОП = 10<sup>4</sup> ÷10<sup>6</sup>); III класса – 300 м (КОП = 10<sup>3</sup>÷10<sup>4</sup>); IV класса – 100 м (КОП < 10<sup>3</sup>).

Таблица 7.1 – Вредные вещества, выделяемые заводом ферросплавов

Наименование вещества	Единица измерения	Количество выбросов	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	
			среднесуточная	максимально-разовая
1	2	3	4	5
Кузнечно-механический цех Пыль	кг/ч	0,04	0,15	0,5
Цех электропечей Пыль	кг/ч	120	0,15	0,5
Ацетон	кг/год	5	0,35	0,35
Бензол	кг/год	2,5	0,1	1,5
Окись азота	кг/ч	0,2	0,06	0,6
Окись углерода	кг/ч	200	3	5
Углекислый газ	кг/ч	200	3	5
Фенол	кг/год	4	0,003	0,01
Хлор	кг/год	85	0,003	0,1
Электроремонтный цех Окись углерода	кг/ч	0,45	3	5
Диоксид серы	кг/ч	0,04	0,05	0,5
Цех дробления и подготовки шихты Пыль	кг/ч	120	0,15	0,5

На промышленных предприятиях при выполнении разнообразных технологических процессов происходит поступление в воздух рабочих помещений различных вредных веществ и тепловыделений. В одних случаях источником их является само технологическое оборудование, в других – вредные выделения образуются при выполнении технологических процессов.

Одним из эффективных средств, способствующих созданию в производственных помещениях нормальных метеорологических условий, удалению из них газов и паров, пыли, ликвидации образования взрывоопасных концентраций является промышленная вентиляция.

Вентиляция – это организованный воздухообмен в помещениях. По способу перемещения воздуха она подразделяется на естественную и механическую.

В рассматриваемом помещении устанавливаем механическую вентиляцию, так как она более совершенна по сравнению с естественной вентиляцией, хотя и требует капитальных и эксплуатационных затрат.

Механическую вентиляцию выполняем приточно-вытяжной системой. Приточно-вытяжная система вентиляции состоит из двух отдельных систем приточной и вытяжной, которые одновременно подают в помещение чистый воздух и удаляют из него загрязненный.

Количество воздуха, необходимого для обеспечения требуемых параметров воздушной среды, определяется расчетным путем. При этом учитываются тип помещения и производственные вредности. В данном цехе имеются избытки выделяемого тепла.

Так как в цехе установлены станки и приборы напряжением 220-380 В., необходимо произвести расчет зануления, для безопасности прикосновения человека к корпусу станка или прибора в аварийном состоянии. Целью расчета является определение допустимого времени воздействия напряжения и тока проходящего через тело человека. В электроремонтном цехе имеются такие оборудования, как: вентилятор, горизонтально-расточный, долбежный, круглошлифовальный, кран с ПВ-40%, листогибочный, ножницы металлические, пресс, продольно-фрезерный, стенд для резки труб, сверлильный, сварочная установка с ПВ-40%, точильно-шлифовальный, ультразвуковой прошивочный, электроимпульсный, электроэрозионный.

Основной мерой защиты от поражения электрическим током в сетях напряжением до 1000 В является зануление. Цель зануления - быстро отключить электроустановку от сети при замыкании одной (или двух) фазы на корпус.

### **7.3 Расчет категории опасности завода**

#### **7.3.1 Расчет выбросов вредных веществ**

КОП – коэффициент опасности предприятия, определяемый по следующей формуле:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{\text{ПДК}_i} \right)^{K_i} \quad (7.1)$$

где  $K_i$  – значения которого приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.2 – Коэффициент, зависящий от класса опасности вещества (КОВ)

КОВ	I	II	III	IV
$K_i$	1,6	1,3	1,0	0,9

В свою очередь КОВ зависит от максимально разовой предельно допустимой концентрации вещества (зависимость сведена в таблицу 7.4).

Таблица 7.3 – Зависимость КОВ от ПДК

ПДК	I	II	III	IV
КОВ	менее 0,1	0,1÷1,0	1,0÷10	более 10

Таблица 7.4 – Расчет коэффициента опасности предприятия

Наименование вещества	Количество выбросов		КОВ	$K_i$	КОП
	кг/ч	тонн/год			
Пыль	120	1037,863	II	1,3	5943,15
Ацетон	0,0027	0,005	II	1,3	0,00179
Бензол	0,0876	0,025	III	1	0,876
Оксид азота	0,2	1,296	II	1,3	4,783
Оксид углерода	200	876	III	1	66,67
Углекислый газ	200	876	III	1	66,67
Фенол	0,012	0,004	I	1,6	9,19
Хлор	0,0532	0,085	I	1,6	2,5
Оксид углерода	0,45	3,32	II	1,3	0,085
Диоксид серы	0,04	0,269	III	1	0,8
КОП					6094,73

Так как для завода ферросплавов значение коп находится в интервале от 103 до 104, то принимаю предварительную величину СЗЗ равной 100 метров.

Полученные по расчету размеры СЗЗ должны уточняться отдельно для различных направлений ветра в зависимости от результатов расчета загрязнения атмосферы и среднегодовой розы ветров района расположения предприятия по формуле:

$$l = L_0 \frac{P}{P_0}, \quad (7.2)$$

где  $l$  (м) – расчетный размер СЗЗ;

$L_0$  (м) – расчетный размер участка местности в данном направлении, где концентрация вредных веществ (с учетом фоновой концентрации от

других источников превышает ПДК);

$P$  (%) – среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба;

$P_o$  (%) – повтор направлений ветров одного румба по круговой розе ветров.

Сведения о направлении ветра в различные времена года получают на метеорологической станции в виде розы ветров, роза ветров для города Риддер и расчет СЗЗ приведены в таблице 5.

Таблица 7.2 – Расчет СЗЗ

Характеристики	Направления ветров							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость направлений, $P$ %	34	8	7	1	2	4	13	31
Повторяемость направлений ветров по круговой розе ветров, $P_o$ %	12,5							
$P/P_o$	2,72	0,64	0,56	0,08	0,16	0,32	1,04	2,48
$L_o$ , м	300							
Величина СЗЗ, м	272	64	56	8	16	32	104	248

На рисунке 7.1 показана схема размещения розы ветров, на рисунке 7.2 показана схема размещения санитарно-защитной зоны.

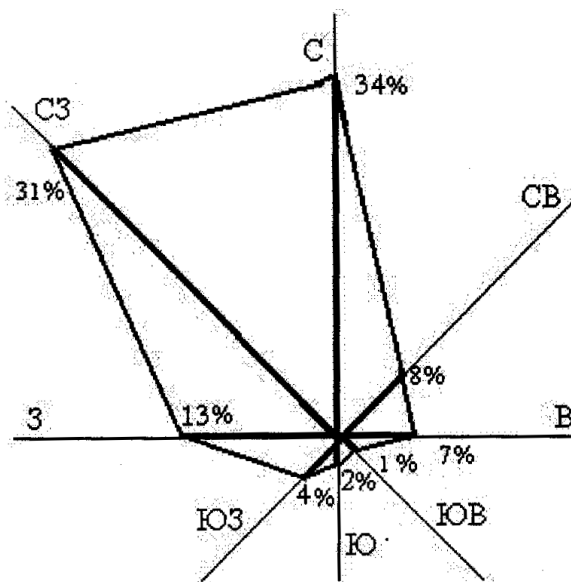


Рисунок 7.1 – Роза ветров г.Риддера

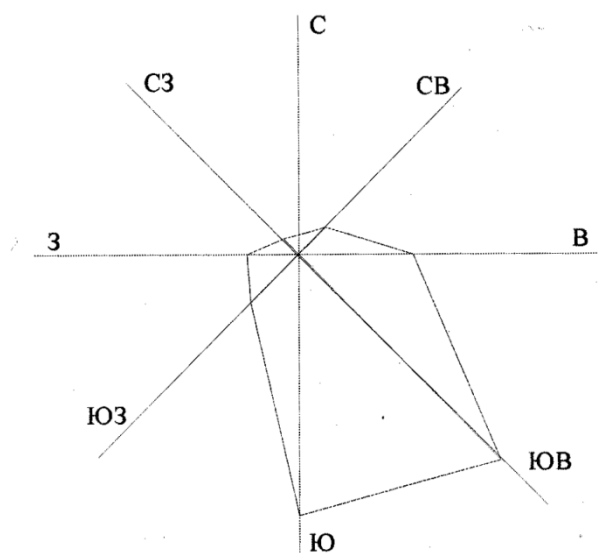


Рисунок 7.2 – Санитарно-защитная зона

### 7.3.2 Расчет высоты трубы цеха электропечей

Расчет производится из условия, чтобы концентрация вредных веществ не превышала предельно допустимых концентраций (ПДК) в приземном слое. Значения высоты трубы рассчитываются:

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta \cdot m \cdot n}{(\text{ПДК} - C_{\phi}) \sqrt[3]{V_r \cdot \Delta T}}}, \quad (7.3)$$

где  $A$  – коэффициент стратификации атмосферы;

$A = 200$  – для Казахстана.

$M$  – выбросы вредных веществ ( $\text{МСО} = 0,125 \text{ г/с}$ )

$\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности,  $\eta = 1$ .

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (7.4)$$

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_2 \cdot \Delta T}{H}}. \quad (7.5)$$

где  $m$  и  $n$  определяется в зависимости от параметров  $f$ ,  $V_m$ ;

$\omega_0$  – скорость выхода газо-воздушной смеси; (задается ориентировочно);  $\omega_0 = 5 \text{ м/с}$ ;

$D$  – диаметр устья трубы;

$V_2$  – объем газо-воздушной смеси на трубу.

$T$  – разность между температурой выбрасываемых газов и средней максимальной температурой наружного воздуха.

$$\Delta T = T_2 - T_8 = 100 - 25 = 75^\circ\text{C},$$

$H$  – высота трубы, принимается ориентировочно:  $H = 10 \text{ м}$ ;  $D = 0,5 \text{ м}$ ;

$C_{\phi}$  – фоновая концентрация вредных веществ, характеризующая загрязнение атмосферы, создаваемое другими источниками;  $C_{\phi} = 0$ .

$$f = \frac{1000 \cdot 5^2 \cdot 0,5}{10^2 \cdot 75} = 1,66, \quad f \leq 100; \quad (7.6)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{1,66} + 0,34\sqrt[3]{1,66}} = 0,83, \quad (7.7)$$

$$V_2 = \frac{\pi^2 \cdot \omega_0 \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 0,5^2}{4} = 1,96, \quad (7.8)$$

$$V_m = 0,65\sqrt[3]{\frac{1,96 \cdot 75}{10}} = 1,59, \quad (7.9)$$

$$0,5 \leq V_m \leq 2,$$

$$n = 0,532V_{2m} - 2,13V_m + 3,13 = 1,08,$$

где  $F$  – коэффициент учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе,  $F = 1$ .

Рассчитаем максимальную концентрацию вредных веществ:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_2 \cdot \Delta T}} \quad (7.10)$$

Для окиси углерода:

$$C_m = \frac{200 \cdot 0,125 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 1,08 \cdot 1}{10^2 \cdot \sqrt[3]{1,96 \cdot 75}} = 0,04 \text{ мг/м}^3,$$

что меньше ПДК<sub>CO</sub> = 5 мг/м<sup>3</sup>.

Максимальные концентрации не превышают ПДК, значит, высота трубы выбрана правильно.

### 7.3.3 Расчет вентиляции электроремонтного цеха

Определим количество воздуха, которое необходимо вводить в электроремонтный цех зимой и летом для удаления избытков тепла. Количество воздуха, которое необходимо ввести в помещение для поглощения избытков тепла определяется по формуле:

$$G_{\text{я}} = 3,6 \cdot \frac{Q_{\text{я}}}{C} \cdot \gamma \cdot (t_{\text{yx}} - t_{\text{np}}), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (7.11)$$

где  $C$  – теплоемкость воздуха кДж/кг<sup>°C</sup> (теплоемкость сухого воздуха  $C = 1$  кДж/кг<sup>°C</sup>);

$\gamma$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{я}}$  – избытки явного тепла, Вт;

$t_{\text{yx}}, t_{\text{np}}$  – температура воздуха удаляемая общеобменной вентиляцией и подаваемого в помещение, °C.

Исходные данные:

Разрабатывается система вентиляции электроремонтного цеха длиной 50 метров и шириной 28,6 метров. Цех имеет 15 окон площадью 16 м<sup>2</sup>. Мощность осветительной установки цеха 27,14 кВт, коэффициент, учитывающий, количество электроэнергии, переходящей в тепло, для



осветительной установки равен 0,8. Расчетная температура для удаляемого воздуха летом  $t_{yx1} = 26^{\circ}\text{C}$ , зимой  $t_{yx2} = 18^{\circ}\text{C}$ . Количество тепла выделяемое одним рабочим в течении часа для зимних и летних условий, принимаю в среднем равным 419 кДж (116 Вт).

В основе всех систем вентиляции лежат приближенные методы, учитывающие с помощью коэффициентов различные факторы, влияющие на производительность вентиляции. Расчет системы вентиляции производится в следующей последовательности:

1) вычерчивают схему вентиляционной сети с поворотами, переходами, разбивают ее на участки и подбирают диаметр труб воздухоотводов.

2) определяют воздухообмен  $G$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и находят производительность вентилятора  $W_e$ :

$$W_e = K_3 \cdot G, \quad (7.12)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса (1,3÷2,0).

3) рассчитывают потери напора на прямых участках труб  $H_{пт}$  (Па)

$$H_{пт} = \frac{\Psi_m \cdot l_m \cdot \rho_m \cdot v_{cp}^2}{2d_m}, \quad (7.13)$$

где  $\Psi_m$  – коэффициент, учитывающий сопротивление труб,  $\Psi_m = 0,02$ ;

$l_m$  – длина участка трубы, м;

$\rho_m$  – плотность воздуха,  $\rho_m = 1,213 \text{ кг/м}^3$ ;

$v_{cp}$  – средняя скорость воздуха на раскрываемом участке воздушной сети; для прилегающих к вентилятору участков  $v_{cp} = (8\div 12)$ , м/с, для удаленных участков  $v_{cp} = (1\div 4)$ , м/с;

$d_m$  – принятый диаметр трубы на участке, м.

4) рассчитывают местные потери  $H_m$  (Па) напора в переходах, коленах, жалюзи:

$$H_m = 0,5 \cdot \Psi_m \cdot \rho_m \cdot v_{cp}^2,$$

где  $\Psi_m$  – коэффициент местных потерь напора при внезапном сужении равен 1,1, а при колене 900 – 0,2÷0,3.

5) определяют суммарные потери напоров  $H_{yч}$  (Па) на участке и в целом на линии ( $H_l$ ) по формуле:

$$H_{yч} = H_{пт} + H_m, \quad (7.15)$$

$$H_l = \Sigma H_{yч} = H_e, \quad (7.16)$$

где  $H_e$  – напор вентилятора, Па.

6) зная величину максимальных потерь выбирают номер вентилятора  $N$ , коэффициент полезного действия  $\eta_e$  и безмерное число  $A$ . При этом стремясь обеспечить необходимый воздухообмен с помощью вентилятора с наибольшим коэффициентом полезного действия.

7) найдя величины  $A$  и  $N$  (об/мин), вычисляют количество оборотов по формуле:

$$n_e = A/N. \quad (7.17)$$

8) рассчитывают мощность  $P_{дв}$  (кВт) электродвигателя для вентилятора:

$$P_{дв} = H_e \cdot W_e / 3600 \cdot 1000 \cdot \eta_e \cdot \eta_{\approx}, \quad (7.18)$$

где  $H_g$  – полное давление вентиляторов (Па);

$\eta_{\approx}$  – коэффициент полезного действия передачи (0,90 ... 0,95).

Определим количество тепла выделяемого источниками освещения

$$Q_1 = \varphi \cdot N_{осв.уст} \cdot \gamma_o = 0,8 \cdot 27,14 \cdot 0,25 = 5,43 \text{ кВт}, \quad (7.19)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий количество электроэнергии, переходящей в тепло, для осветительных установок равен 0,8;

$\gamma_o$  – коэффициент долевого участия в мощности осветительной установки цеха равен 0,25;

$N_{осв.уст}$  – мощность осветительной установки цеха.

Определим количество тепла, выделяемое организмами работающих

$$Q_2 = q \cdot n = 116 \cdot 30 = 3,48 \text{ кВт}, \quad (7.20)$$

где  $q$  – количество тепла выделяемое одним работающим в течении часа 116 Вт;

$n$  – количество работающих на данном участке.

Определим количество тепла, вносимого солнечной радиацией, для зимних условий принимается равным нулю, а для летних определяется следующим образом:

$$Q_3 = F_{ост} \cdot q_c \cdot K_{ост} = 15 \cdot 14 \cdot 164 \cdot 1,25 = 43,05 \text{ кВт},$$

где  $F_{ост}$  – площадь остекленной поверхности (площадь окна 4\*4, на данном участке 15 окон);

$q_c = 164 \text{ Вт/м}^2$  – теплопоступления через 1 м<sup>2</sup> при двойном остеклении в деревянных переплетах (юг, юго-восток, юго-запад);

$K_{ост} = 1,25$ .

Определим количество тепла выделяющегося от станков:

$$Q_4 = \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \Psi_4 \cdot \Sigma N_{ном} = 0,5 \cdot 280 = 140 \text{ кВт}, \quad (7.21)$$

где  $\Psi_1$  – коэффициент использования установленной мощности, учитываемый при превышении номинальных мощностей электродвигателя над максимальной фактически необходимой ( $\Psi_1 = 0,7 \div 0,9$ );

$\Psi_2$  – коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности к максимально необходимой ( $\Psi_2 = 0,5 \div 0,8$ );

$\Psi_3$  – коэффициент одновременности работы электродвигателей ( $\Psi_3 = 0,5 \div 1$ );

$\Psi_4$  – коэффициент ассимиляции тепла воздухом помещения при переходе механической энергии в тепловую ( $\Psi_4 = 0,65 \div 1$ ), для механических цехов при ориентировочных расчетах принимают произведение всех четырех коэффициентов равным 0,25;

$N_{ном}$  – номинальная мощность электродвигателя.

Избыточное тепло, поступающее в помещение составит:

Летом:

$$Q_{изб} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 5,43 + 3,48 + 43,05 + 140 = 191,96 \text{ кВт},$$

Зимой:

$$Q_{изб} = Q_1 + Q_2 + Q_4 = 5,43 + 3,48 + 140 = 148,91 \text{ кВт}.$$

Количество воздуха, которое необходимо ввести в помещение для поглощения избытков тепла:

$$G_{лет} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}}{C \cdot \gamma \cdot (t_{yx} - t_{нор})} = \frac{3,6 \cdot 191,96 \cdot 10^3}{1,1,2 \cdot (26 - 20)} = 95980 \frac{м^3}{ч}, \quad (7.24)$$

$$G_{зим} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}}{C \cdot \gamma \cdot (t_{yx} - t_{нор})} = \frac{3,6 \cdot 148,91 \cdot 10^3}{1,1,2 \cdot (18 - (-15))} = 13537,27 \frac{м^3}{ч}.$$

1) Вычерчиваем схему вентиляционной сети с поворотами, переходами, разбиваем ее на участки и подбираем диаметр труб воздухоотводов. Схема вентиляционной сети с номерами участков электроремонтного цеха приведена на рисунке 7.3, а диаметры воздухоотводов и их длины приведены в таблице 7.6.

2) Определим производительность вентилятора  $W_e$

$$W_e = K_3 \cdot G = 1,3 \cdot 95980 = 124774 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса равен 1,3.

3) Расчет потерь напора на прямых участках труб и местных потерь напора в переходах и ответвлениях, а также суммарных потерь вентиляционной сети приведены в таблице.

Таблица 7.6 – Расчет потерь напора на линии

Номер участка	Длина участка, м	Средняя скорость на участке, м/с	Диаметр воздуховода, мм	$H_{nn}$ , Па	$H_{m1}$ , Па	$H_{m2}$ , Па	$\Sigma H$ , Па
1	5	2	125	1,94	2,67	0,49	5,09
2	5	2	125	1,94	2,67	0,49	5,09
3	5	3	140	3,90	6,00	1,09	10,99
4	5	3	160	3,41	6,00	1,09	10,51
5	5	5	180	8,42	16,68	3,03	28,13
6	5	7	140	21,23	32,69	5,94	59,86
7	5	7	200	14,86	32,69	5,94	53,49
8	5	8	225	17,25	42,70	7,76	67,71
9	5	9	280	17,55	54,04	9,83	81,41
10	5	9	305	16,11	54,04	9,83	79,97
11	5	2	125	1,94	2,67	0,49	5,09
12	5	3	125	4,37	6,00	1,09	11,46
13	5	3	160	3,41	6,00	1,09	10,51
14	5	5	160	9,48	16,68	3,03	29,19
15	5	7	280	10,61	32,69	5,94	49,25
16	5	8	315	12,32	42,70	7,76	62,78
17	5	8	315	12,32	42,70	7,76	62,78
18	5	9	340	14,45	54,04	9,86	78,31
19	5	10	340	17,84	66,72	12,13	96,68
20	5	10	340	17,84	66,72	12,13	96,68
21	5	2	125	1,94	2,67	0,49	5,09

Продолжение таблицы 7.6

22	5	2	125	1,94	2,67	0,49	5,09
23	5	3	125	3,41	6,00	1,09	10,51
24	5	3	160	3,41	6,00	1,09	10,51
25	5	5	160	12,64	16,68	3,03	32,35
26	5	5	120	5,42	16,68	3,03	25,13
27	5	7	280	9,43	32,69	5,94	48,07
28	5	7	315	9,43	32,69	5,94	48,07
29	5	8	340	11,42	42,70	7,76	61,88
30	5	8	340	11,42	42,70	7,76	61,88
31	10	9	355	27,68	54,05	9,83	91,54
32	10	10	500	24,26	66,72	12,13	103,11
33	8,6	10	500	20,86	66,72	12,13	103,11
<b>Итого</b>							<b>1507,95</b>

4) Зная величину максимальных потерь, по номограмме выбираю вентилятор серии Ц4-70 под номером  $N = 6$ , коэффициент полезного действия  $\eta = 0,58$ , безразмерное число  $A = 5500$ , скорость вентилятора 20 м/с.

5) Найдя величины  $A$  и  $N$  (об/мин), вычисляем количество оборотов по формуле:

$$n_g = \frac{A}{N} = \frac{5500}{6} = 917 \text{ об/мин.}$$

6) Рассчитываем мощность  $P_{дв}$  (кВт) электродвигателя для вентилятора

$$P_{дв} = \frac{H_g \cdot W_g}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_g \cdot \eta_{\approx}} = \frac{1507,95 \cdot 124774}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,9 \cdot 917} = 63 \text{ кВт.}$$

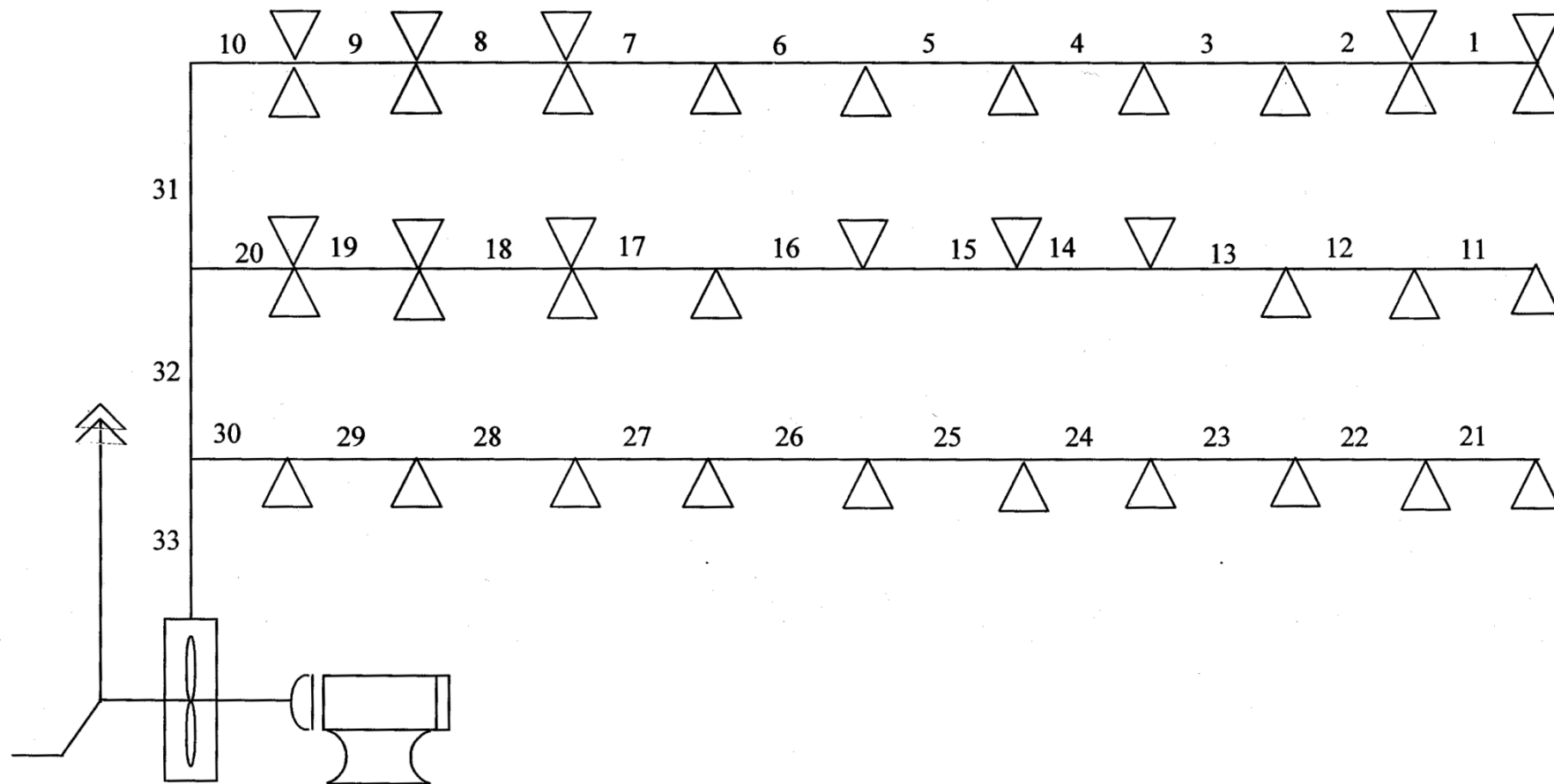


Рисунок 7.3 – Схема вентиляционной сети электроремонтного цеха

## 7.4 Расчет зануления электроремонтного цеха

Исходные данные:

напряжение сети – 0,38 кВ;

мощность трансформатора –  $2 \cdot 1000$  кВА;

мощность наиболее удаленного ЭП № 8;

$P = 9,33$  кВт;

длина кабеля от ТП до СП1,  $L_1 = 57$  м;

длина провода от СП1 до станка,  $L_2 = 57$  м.

Схема замещения приведена на рисунке 7.4.

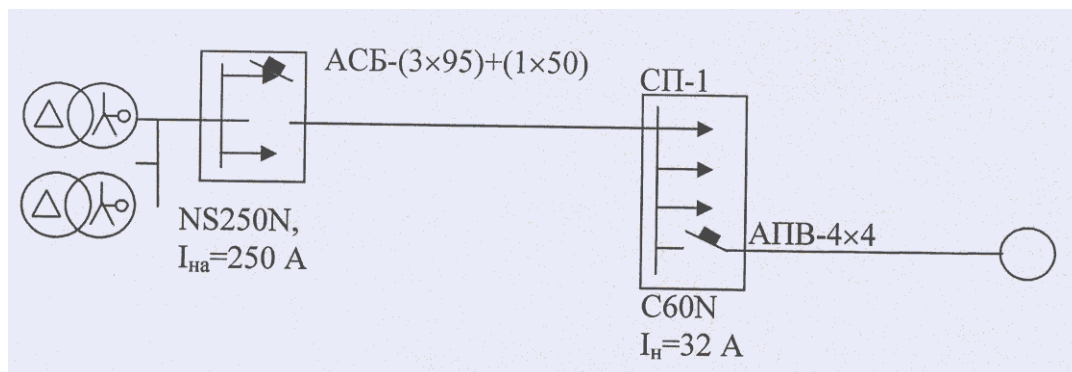


Рисунок 7.4 - Схема замещения

Определение токов нагрузки и выбор аппаратов защиты:

$$I_{\text{дв}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{9,33}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75} = 19,14 \text{ А.} \quad (7.25)$$

$$I_{\text{рнв}} = \frac{K_n \cdot I_{\text{дв}}}{K_T} = \frac{3,5 \cdot 19,14}{2} = 33,5 \text{ А,}$$

$$I_n = 32 \text{ А; } I_{\text{на}} = 250 \text{ А.}$$

Определение полных сопротивлений элементов цепи:

Сопротивление трансформатора для группы соединения  $D/Y_o - 11$

$$Z_T = 0,081/2 = 0,0405 \text{ Ом.}$$

Сопротивление кабеля, при сечении фазной жилы  $95 \text{ мм}^2$  и нулевой  $50 \text{ мм}^2$

$$Z_{\text{нфo}} = 0,321 \text{ Ом/км,}$$

$$Z_n = Z_{\text{нфo}} \cdot L_1 = 0,321 \cdot 0,057 = 0,018 \text{ Ом.}$$

Сопротивление провода при сечении фазной жилы  $4 \text{ мм}^2$  и нулевой  $4 \text{ мм}^2$

$$Z_{\text{нфo}} = 11,71 \text{ Ом/км,}$$

$$Z_n = Z_{\text{нфo}} \cdot L_2 = 11,71 \cdot 0,057 = 0,67 \text{ Ом.}$$

Определение тока КЗ:

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_n}, \quad (7.27)$$

$$I_{к1} = \frac{231}{\frac{0,0405}{3} + 0,018} = 7,33 \text{ А},$$

$$I_{к2} = \frac{231}{\frac{0,0405}{3} + 0,67} = 0,33 \text{ А}.$$

Определение кратности тока:

$$\frac{I_{кз}}{I_{на}} = \frac{7333}{250} = 29,33 ,$$

$$\frac{I_{кз}}{I_{нпв}} = \frac{329,3}{32} = 10,3 ,$$

Условие:

$$I_{кз} \geq I_n \cdot K,$$

где  $K_a = 1,25$ ;  $K_{пв} = 3$ ,

то

$$7333 \text{ А} \geq 250 \cdot 1,25 = 2312,5 \text{ А}$$

и

$$329,3 \text{ А} \geq 3 \cdot 32 = 96 \text{ А}.$$

Определение времени срабатывания аппарата защиты.

В данном случае при токе КЗ 617 А и номинальном токе автоматического выключателя 32 А время отключения аппарата защиты 0,008 с, автомат номиналом 250 А при кратности тока  $37 I_n$  отключится за 0,02 с.

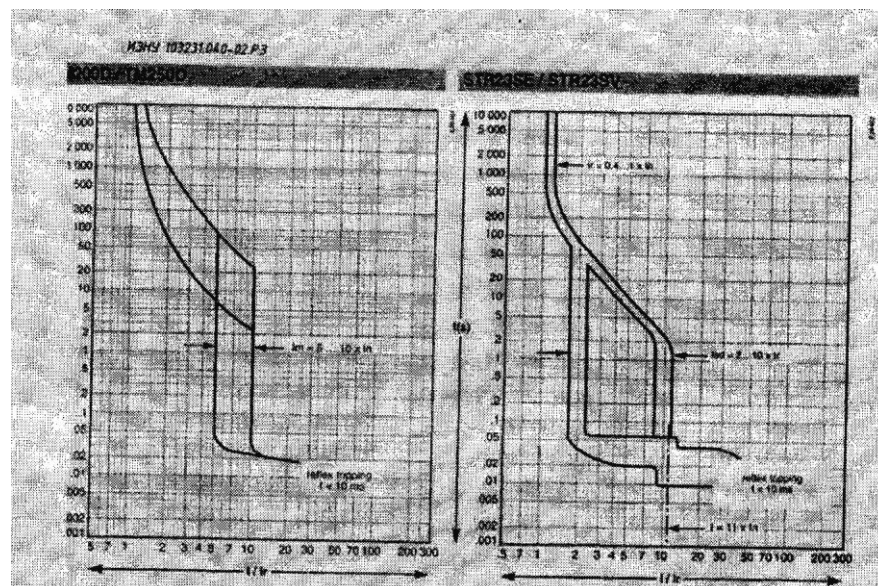


Рисунок 7.5 - Характеристика срабатывания автоматического выключателя NS250

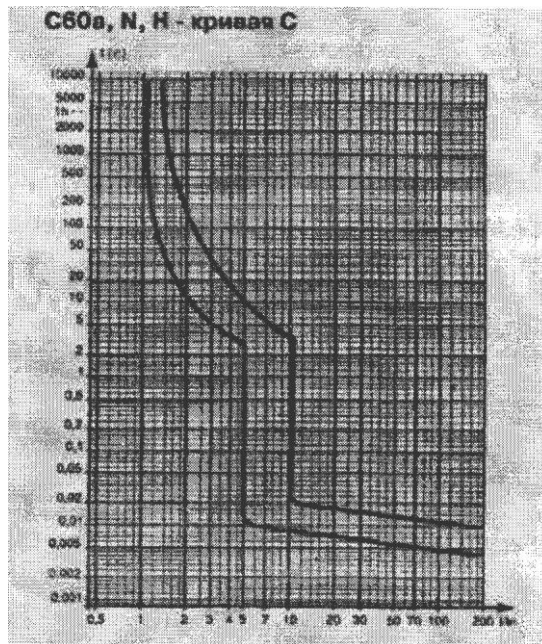


Рисунок 7.6 - Характеристика срабатывания автоматического выключателя С60

Потенциал корпуса поврежденного оборудования

$$U_{K1} = I_{K3} \cdot R_{H1} = 7333 \cdot 0,0196 = 143,73 \text{ В}, \quad (7.29)$$

где  $R_{H1}$  – сопротивление нулевой жилы кабеля.

$$R_{H1} = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{0,028 \cdot 57}{50} = 0,032 \text{ Ом}, \quad (7.30)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление алюминиевой жилы принимается равной  $0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$S$  – сечение жилы,  $\text{мм}^2$ ;

$L$  – длина проводника, м.

$$U_{K2} = I_{K3} (Z_{H2} + Z_{H3}) = 329,3 (0,0196 + 0,018) = 12,38 \text{ В}, \quad (7.31)$$

где  $Z_{H3}$  – сопротивление нулевого провода,  $Z_{H3} = R_{H3}$ .

Ток, проходящий через тело человека, равен:

$$I_{h1} = \frac{U_{K1}}{R_h} = \frac{143,73}{1000} = 143,73 \text{ мА}, \quad (7.32)$$

$$I_{h2} = \frac{U_{K2}}{R_h} = \frac{12,38}{1000} = 12,38 \text{ мА}.$$

При времени воздействия соответственно 0,02 и 0,008 секунды, нормированное значение напряжения и токов, проходящих через человека, для электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью равно 650 мА и 650 В.



## 7.5 ВЫВОД

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» выявлены основные вредные вещества, выделяемые предприятием в результате технологической деятельности завода ферросплавов в окружающую среду. В связи с этим была рассчитана санитарно-защитная зона для завода, которая не может рассматриваться как резервная территория предприятия и использоваться для расширения промышленной площадки. Вместе с тем на территории санитарно-защитной зоны допускается размещать производства более низкого класса вредности, чем основное производство, для которого установлена эта зона, а также пожарное депо, гаражи, склады, административные здания, научно-исследовательские лаборатории, стоянки транспорта и т. п.

Для максимального ослабления влияния на окружающее население производственных загрязнений атмосферного воздуха территории санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена. Озеленение производится газоустойчивыми породами деревьев и кустарников. Со стороны жилого массива ширина полосы древесно-кустарниковых насаждений должна быть не менее 20 м.

Размещение объектов на генеральном плане предприятия производится с учетом направления, продолжительности и силы ветра, чтобы при пожаре исключить перенос огня на соседние участки. Кроме того, при правильной ориентировке зданий по направлению ветра создаются благоприятные условия для защиты от вредных производственных выделений и шумов.

Для электроремонтного цеха был произведен расчет категории опасности. В результате полученных расчетов выявлено, что данный цех нуждается в применении мероприятий по вентиляции. А также для этого цеха были рассмотрены вопросы электробезопасности (расчет зануления наиболее удаленного ЭП). Были выбраны защитные автоматические выключатели типа NS250 и C60.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная выпускная работа посвящена проектированию электроснабжения завода ферросплавов. В работе были получены следующие основные результаты. При заданном числе электроприемников и их мощности рассчитана методом «упорядоченных диаграмм» нагрузка по заводу напряжением 0,4 кВ:  $S_p = 8907,7$  кВА. Выбраны 12 цеховых трансформаторов типа ТМЗ-1 000/10.

А так же произведена компенсация реактивной мощности на 0,4 кВ с помощью низковольтных батарей конденсаторов типа УКМ63-0,4-100-25 УЗ. Определена нагрузка по заводу напряжением 10 кВ на шинах ГПП с учетом установки ВБК; подключенных к шинам ГПП СД и ДСП; потерь в трансформаторах ТП и печных трансформаторах:  $S_{pзав} = 43417,93$  кВА.

В работе рассмотрены три варианта схем внешнего электроснабжения завода. И из них выбран наиболее рациональный с экономической и технической точки зрения, которым является первый вариант питания завода, где электроэнергия передается по двум одноцепным ЛЭП 115 кВ. Согласно бизнес-плану изложенному в экономической части, для компенсации реактивной мощности были установлены компенсирующие устройства, затраты для данного варианта составляют 7,104 млн. тенге. Срок окупаемости проекта равен 2 года.

Для принятого варианта выбрано следующее высоковольтное оборудование: вводные выключатели; секционный выключатель; выключатели нагрузки; выключатели отходящих линий, выключатели к СД и ДСП, а также силовые кабели к ним. Выбраны измерительные приборы, трансформаторы тока и напряжения. Был произведен выбор шин ГПП.

Один из разделов выпускной работы посвящена определению мощности компенсирующих устройств с нелинейными и резкопеременными нагрузками и анализу схем электроснабжения. В ходе расчета было выяснено, что с учетом соблюдения условия надежности схем со специфическими нагрузками и установки компенсирующих устройств схема является надежной.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» выявлены основные вредные вещества, выделяемые предприятием в результате технологической деятельности завода ферросплавов в окружающую среду. Для электроремонтного цеха был произведен расчет вентиляции, который включает в себя выявление источников тепла и определение их характеристик. В результате полученных расчетов выявлено, что данный цех нуждается в применении мероприятий по вентиляции. А также для этого цеха были рассмотрены вопросы электробезопасности (расчет зануления наиболее удаленного ЭП).

Спроектированная система электроснабжения завода ферросплавов позволяет наиболее рационально использовать имеющиеся производственные и электроэнергетические мощности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебник для проф.учебных заведений. – М.: Высшая школа, 2001.
2. Барыбина Ю.Г. и др. Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Барыбина Ю.Г. и др. Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2005.
5. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Федоров А.А. и др. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Методика расчета электрических нагрузок промышленных предприятий с применением ЭВМ. Методическое пособие. - Алматы.: АЭС, 1988.
8. Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования. /Под ред. Файбисовича Д.Л. - 3-е издание. – М., НЦ ЭНАС, 2009. - 392 стр.
9. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
10. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2000. - 144 с.
11. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1990.
12. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан. – МЭиРЭ РК.: Астана, 2003.
13. Тищенко Г.А. Электроосветительные приборы и установки. М.: Высшая школа, 1984. - 247 с.; ил.
14. Л.Г.Матвеева. Бизнес-план: методика расчета. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2001.
15. А.Ю. Голубина, Экономика отрасли. Методические указания к выполнению экономической части выпускной работы для студентов специальности 5В0718 – Электроэнергетика.- Алматы: АИЭС, 2010. – 15 с.
16. ПТЭ и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей. Издание 4-е. М.: Энергоатомиздат, 2000 г.
17. Экономика и управление в энергетике. Учебное пособие для студ. сред. проф. учеб. заведений / Под ред. Н.Н. Кожевникова. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 416 с.
18. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
19. Меклер В.Я. Вентиляция и кондиционирование воздуха на машиностроительных заводах. Справочник. - М.: Машиностроение, 1980.