

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  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » 2014 г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Электроснабжение завода электросталей


Специальность 5В071800 - Электроэнергетика

Выполнил (а) Федорцов И.Б. ЭснУ-10  
(Фамилия и инициалы) группа

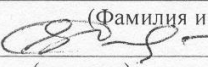
Научный руководитель Чернышев К.А.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

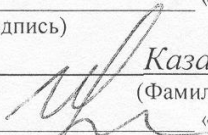
Алимжанова Л.М., к.т.н., доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
 « 11. » 06 20 14 г.  
(подпись)

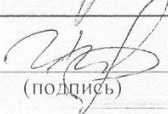
по безопасности жизнедеятельности:

Мананбаева С.Е., старший преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
 « 3 » 06 20 14 г.  
(подпись)

по применению вычислительной техники:

Чернышев К.А.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Нормоконтролер: Казанина И.В., к.т.н., доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
 « \_\_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Рецензент: Цепуштанова О.В.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
 « \_\_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Заочного обучения и переподготовки специалистов  
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика  
Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Федорцов Иван Борисович  
(фамилия, имя, отчество)  
Тема проекта Электроснабжение завода электросталей

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.  
Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта Генеральный план завода электросталей. Сведения об электрических нагрузках по цехам завода. Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два двухобмоточных трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 110/10 кВ. Расстояние от подстанции до завода 2 км. Завод работает в три смены.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:  
Расчет электрических нагрузок на 0,4 и 10 кВ. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ. Сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения. Расчет токов короткого замыкания и выбор высоковольтного электрооборудования. Рассмотрение вопросов безопасности жизнедеятельности. Рассмотрение экономических вопросов.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Генеральный план завода электросталей.

Однолинейная схема электроснабжения завода электросталей.

План и разрез ГПП.

Специальный вопрос.

Рекомендуемая основная литература

Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. – М.: «Кнорус», 2011.

Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. – М.: «ИД ФОРУМ-ИНФРА-М», 2010.

Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: «Форум-Инфра-М», 2009.

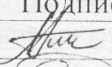
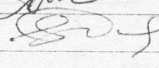
Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005.

Правила устройства электроустановок РК. – Алматы, 2007.

Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев, Н.Н. Сердюк-М: «высшая школа» 2002.

Самсонов В.С., Вяткин М.А. Экономика предприятий энергетического комплекса: Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2003.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Экономическая часть	к.т.н., доц. Алимжанова Л.М.	11.06.2019	
БЖД	ст.пр. Мананбаева С.Е.	3.06.2014	
Основная часть	Чернышев К.А.		



**Г Р А Ф И К**  
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	<i>Расчет электрических нагрузок по комбинату напряжением 0,4 кВ</i>	<i>6.01.14 г.- 17.01.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
2	<i>Выбор числа цеховых трансформаторов</i>	<i>20.02.14 г.- 07.02.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
3	<i>Компенсация реактивной мощности</i>	<i>10.02.14 г.- 14.02.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
4	<i>Распределение электрических нагрузок цехов по трансформаторным подстанциям</i>	<i>17.02.14 г.- 03.03.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
5	<i>Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ</i>	<i>04.03.14 г.- 10.03.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
6	<i>Сравнение вариантов внешнего электроснабжения</i>	<i>11.03.14 г.- 18.03.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
7	<i>Расчет токов короткого замыкания напряжением выше 1 кВ</i>	<i>25.03.14 г.- 31.03.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
8	<i>Выбор оборудования напряжением выше 1 кВ</i>	<i>01.04.14 г.- 12.04.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
9	<i>Выбор рационального режима работы дуговой сталеплавильной печи</i>	<i>15.04.14 г.- 30.04.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
10	<i>Безопасность жизнедеятельности</i>	<i>06.05.14 г.- 11.05.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
11	<i>Экономическая часть</i>	<i>13.05.14 г.- 18.05.14 г.</i>	<i>выполнено</i>
12	<i>Графический материал</i>	<i>20.05.14 г.- 26.05.14 г.</i>	<i>выполнено</i>

Дата выдачи задания « 1 » октября 2013 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Бакенов К.А.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель \_\_\_\_\_ Чернышев К.А.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ Федорцов И.Б.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

## **Аңдатпа**

Бұл дипломдық жобада электр болат зауыты электрмен жабдықтаудың технологиялық сұлбасы қарастырылды. Ара жоба есеп айыр электр жүктемені, есеп қырман қысқа тұйықталу, алқындыр талғам жабдық. Доғаның болат жұмысының тиімді режимінің сұрағы балқыт пештерді қара. Тарауда тіршілік әрекетінің қауіпсіздігінің цех үшін еңбектің шартының анализы өткіздір-өткізу, нөлдендіру және цехтың ауаны жаңартуы өлшеулі. Дипломдық жобаның экономикалық бөлімінде қосалқы сансаның құрылысының экономикалық бағасы жасалынған.

## **Аннотация**

В дипломном проекте была рассмотрена технологическая схема электроснабжения завода электросталей. В проекте произведен расчет электрических нагрузок, расчет токов короткого замыкания, сделан выбор оборудования. Рассмотрен вопрос рационального режима работы дуговой сталеплавильной печи. В разделе Безопасность жизнедеятельности для цеха проведен анализ условий труда, рассчитано зануление и освещение цеха. В экономической части дипломного проекта произведена экономическая оценка инвестиций в строительство подстанции.

## **Abstract**

In a diploma project the flowsheet of power supply of plant was considered electric steel. The calculation of the electric loading, calculation of currents of short circuit, is produced in a project, the choice of equipment is done. The question of the rational mode of operations of arc steel-smelting stove is considered. In a division Safety of vital functions for a workshop the analysis of terms of labour is conducted, зануление and illumination of workshop is expected. In economic part of diploma project the economic evaluation of investments is produced in building of substation.

## Содержание

Список сокращений	7
Введение	8
1 Проектирование электроснабжения завода электросталей	9
1.1 Исходные данные	9
1.2 Технологический процесс производства	10
1.3 Расчет электрических нагрузок по заводу	12
1.4 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ	18
1.5 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	20
1.6 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	26
1.7 Расчет токов короткого замыкания напряжением выше 1 кВ	33
1.8 Выбор оборудования	37
2 Выбор рационального режима работы дуговой сталеплавильной печи	41
2.1 Расчет электрических характеристик ДСП	55
2.2 Расчет рабочих характеристик ДСП	58
3 Безопасность жизнедеятельности	59
3.1 Анализ условий труда	59
3.2 Разработка производственного освещения энергоцеха	62
3.3 Разработка зануления энергоцеха	64
4 Экономическая часть	70
4.1 Цели разработки проекта	70
4.2 План производства	70
4.3 Расчет технико-экономических показателей подстанции	71
4.4 Себестоимость	73
4.5 Показатели финансово-экономической эффективности инвестиций	76
Заключение	80
Список литературы	81
Приложение А	82

## Список сокращений

ВБК	- высоковольтные батареи конденсаторов
ВЛ	- воздушная линия
ВН	- высокое напряжение
ГЛ	- газоразрядные лампы
ГПП	- главная понизительная подстанция
ИС	- источник света
КЗ	- короткое замыкание
КРУ	- комплектное распределительное устройство
ЛН	- лампы накаливания
ЛЭП	- линия электропередач
НБК	- низковольтные батареи конденсаторов
НН	- низкое напряжение
ОПН	- ограничитель перенапряжения
ОУ	- осветительная установка
РУ	- распределительное устройство
СД	- синхронный двигатель
СН	- среднее напряжение
ТН	- трансформатор напряжения
ТП	- трансформаторная подстанция
ТТ	- трансформатор тока

## **Введение**

Цель дипломного проекта спроектировать систему электроснабжения завода электросталей. Задачей дипломного проекта является расчет электрических нагрузок по заводу, выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ, сравнение вариантов внешнего электроснабжения, выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания свыше 1кВ.

Рационально спроектированная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять ряду требований: высокой надежности и экономичности, безопасности и удобства в эксплуатации, обеспечение требуемого качества электроэнергии соответствующих уровней напряжения, стабильность частоты и т.д. Должны также предусматриваться кратчайшие сроки выполнения строительно-монтажных работ и необходимая гибкость системы, обеспечивающая возможность расширения при развитии предприятия без существенного усложнения и удорожания первоначального варианта. Таким образом, многообразие факторов, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения предприятия, повышает требования к квалификации инженеров электриков. Вопросы рационального электроснабжения не должны решаться в отрыве от общей энергетики данного района. Решения должны приниматься с учетом перспективного плана электрификации района.

В системе цехового распределения электроэнергии широко используют комплектные распределительные устройства, подстанции и силовые токопроводы. Это создает гибкую и надежную систему распределения, в результате чего экономится большее количество проводов и кабелей. Широко применяют совершенные системы автоматики, а также простые и надежные устройства защиты отдельных элементов системы электроснабжения промышленных предприятий.

Для обеспечения подачи электроэнергии в необходимом количестве и соответствующего качества от энергосистем промышленным объектам, установкам, устройствам и механизмам служат системы электроснабжения промышленных предприятий, состоящие из сетей напряжением до 1000В и выше и 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 электроэнергии на всех ступенях применяемого напряжения с максимальным приближением высокого напряжения к потребителям.



# 1 Проектирование электроснабжения завода электросталей

## 1.1 Исходные данные

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/10,5 кВ. Реактивное сопротивление системы равно 0,4. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 2 км. Завод работает в три смены. Сведения об электрических нагрузках по цехам завода – таблица 1.1.

Таблица 1.1 - Электрические нагрузки завода электросталей [1]

№ п/п	Наименование	Кол-во ЭП, п	Установленная мощность, кВт	
			Одного ЭП, P <sub>н</sub>	Σ P <sub>н</sub>
1	2	3	4	5
1	Склад готовой продукции	25	1-20	200
2	Склад вспомогательных материалов	5	1-20	60
3	Цех сталеплавильных печей № 1			
	а) 0,4 кВ	40	10-120	3700
	б) ДСП 12 т	4	по каталогу	
4	Цех сталеплавильных печей № 2			
	а) 0,4 кВ	45	10-90	2600
	б) ДСП 12 т	4	по каталогу	
5	Прокатный цех			
	а) 0,4 кВ	90	10-100	6000
	б) СД 10 кВ	6	1000	6000
6	Цех сталеплавильных печей № 3			
	а) 0,4 кВ	45	10-100	4100
	б) ДСП 25 т	2	по каталогу	
7	Столярный цех	55	1-45	450
8	Ремонтно-механический цех	27	1-20	290
9	Кузнечно-прессовый цех	35	1-60	600
10	Энергоцех	25	1-70	300
11	Склад оборудования	20	1-20	90
12	Гараж	25	1-20	170
13	Насосная			
	а) 0,4 кВ	12	10-80	550
	б) СД 10 кВ	4	1000	4000
14	Заводоуправление	28	1-30	240
15	Компрессорная			
	а) 0,4 кВ	8	10-50	300
	б) СД 10 кВ	6	800	4800

## 1.2 Технологический процесс производства

Сталеплавильное производство.

Сталеплавильное производство представлено на заводе тремя электросталеплавильными цехами, в которых установлены 12-ти и 25-ти тонные дуговые сталеплавильные печи.

Разливка металла в сталеплавильных цехах производится в изложницы и на машинах непрерывного литья заготовок. Непрерывная разливка прочно заняла свое место в замкнутом цикле производства высококачественных сплавов методами вакуумного дугового и электрошлакового переплавов.

Передельное производство.

Передельное производство представлено кузнечно-прессовыми, прокатными цехами.

В кузнечно-прессовом цехе установлены два гидравлических прессы усилием 4000 тс, имеются участки для термообработки (отпуск и отжиг) и отделки поковок (обточка и шлифовка).

Сортамент продукции: поковки и заготовки круглого, квадратного и переменного сечения.

Высокий уровень автоматизации процессаковки и благоприятные схемы деформации металла позволяют получать поковки и заготовки с высоким качеством поверхности.

Горизонтальный пресс 63 МН предназначен для получения пресс-изделий диаметром от 80 до 210 мм сложнoleгированных особотруднодеформируемых сплавов.

В состав оборудования цеха также входят трех- и сеमितонные молота, производящие кованый сорт круглого, квадратного сечения рахмерами 60 – 200 мм и прямоугольного сечения размерами 30-120x100-300 мм

Цех оснащен термическими средствами и адьюстажным оборудованием.

В прокатном цехе установлен среднесортный прокатный стан «600» линейного типа, специализированный на производстве трубной заготовки, готового проката круглого сечения 65 - 110 мм и квадратного 125 мм, заготовки для переката под стан 350/250.

В его состав входят отделения по производству горячекатаного листа толщиной от 2,8 до 40 мм, шириной от 400 до 650 мм; холоднокатаной ленты толщиной от 0,01 до 2,5 мм, шириной от 40 мм до 280 мм, холодноотянутой проволоки диаметром от 0,018 до 7,5 мм и квадратного сечения 5 мм.

Оборудование цеха включает в себя стан горячей прокатки, стан холодной прокатки, волочильные станки для производства проволоки различных размеров, а также необходимый набор оборудования для нагрева, травления и термической обработки продукции.

Автоматизированная система управления технологическим процессом стана стабилизирует технологию прокатки, качество катаного сорта и позволяет снижать расход металла на прокат.

Цех оснащен оборудованием для термической и адьюстажной обработки.

Имеющееся печное оборудование позволяет проводить отжиг, высокий отпуск, закалку с охлаждением в воде (аустенизацию) сортового металла, поковок и слитков.

Вспомогательные цехи и службы.

Надежная и бесперебойная работа основных производственных цехов завода обеспечивается четкими и слаженными действиями вспомогательных служб.

Постоянно развивающееся мощное энергетическое хозяйство гарантирует жизнедеятельность предприятия. Для повышения надежности, оперативности управления электроснабжением, контроля за режимом электропотребления в эксплуатацию введен центральный диспетчерский пункт с телеуправлением подстанций и основных агрегатов, а также разработана и внедрена автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии.

Технически оснащенная ремонтно-механическая база поддерживает металлургическое оборудование в работоспособном состоянии.

Заводской отдел автоматизированного управления производством координирует работу всех подразделений завода. Установка совершенно новой техники позволила совершить стратегический прорыв в развитии АСУ предприятия: уйти от централизованной обработки информации к распределенной, то есть дать возможность пользователям получать информацию непосредственно на рабочем месте. Пользуясь огромным количеством аналитических отчетов, специалисты завода обрели возможность в реальном времени с учетом изменения рынка прогнозировать оптимальные схемы производства и эффективно контролировать их исполнение цехами

Специализированные лаборатории по контролю качества металла и исследованию металлургических процессов позволяют проводить целенаправленную и систематическую работу по оптимизации технологии серийного производства, разработке и освоению прогрессивных технологических процессов и новых видов металлопродукции.

### 1.3 Расчет электрических нагрузок по заводу

#### Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки при определении нагрузки предприятия производим упрощенным методом по удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей и коэффициенту спроса.

По этому методу расчетная осветительная нагрузка принимается равной средней мощности освещения за наиболее загруженную смену и определяется по формулам [2]:

$$P_{po} = K_{co} \cdot \rho_o \cdot F, \text{кВт}; \quad (1.1)$$

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \text{tg} \varphi_o, \text{кВар}, \quad (1.2)$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки;  $\text{tg} \varphi_o$  – коэффициент реактивной мощности, определяется по  $\cos \varphi$ ;

$F = a \cdot b$  – площадь производственного помещения, которая определяется по генеральному плану комбината, в  $\text{м}^2$ ;

$\rho_o$  – удельная осветительная мощность на  $1 \text{ м}^2$  поверхности пола известной производственной площади,  $\text{кВт}/\text{м}^2$ .

Все расчетные данные заносятся в таблицу 1.2 «Расчет осветительной нагрузки».

#### Расчет низковольтных электрических нагрузок по комбинату

Расчет электрических нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам предприятия производим методом «Упорядоченных диаграмм» упрощенным способом. Число  $m$  определяется [2]:

$$m = \frac{P_{n\max}}{P_{n\min}}, \quad (1.3)$$

где  $P_{n\max}, P_{n\min}$  – номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников.

Средняя активная нагрузка за наиболее нагруженную смену:

$$P_{cm} = K_u \cdot P_n, \text{кВт} \quad (1.4)$$

где  $K_u$  – коэффициент использования;  
 $P_n$  – номинальная активная нагрузка.

Средняя реактивная нагрузка за наиболее нагруженную смену [2]:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg \varphi, \text{квар.} \quad (1.5)$$

где  $P_{см}$  – средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену;  
 $tg \varphi$  – реактивный коэффициент мощности.

Для определения итоговой нагрузки узла питания необходимо определить средневзвешенное значение коэффициента использования [2]:

$$K_u = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_n}. \quad (1.6)$$

Эффектное число электроприемников [2]:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum_1^n P_n}{P_{n \max}}. \quad (1.7)$$

Максимальная активная получасовая нагрузка от силовых электроприемников узла [2]:

$$P_m = K_m \cdot P_{см}, \text{кВт.} \quad (1.8)$$

где  $K_m$  – коэффициент максимума;  
 $P_{см}$  – средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену.

Максимальная реактивная получасовая нагрузка от силовых электроприемников узла [2]:

$$\begin{aligned} & \text{- при } n_{\text{э}} \leq 10, Q_m = 1,1 \cdot Q_{см}, \text{квар;} \\ & \text{- при } n_{\text{э}} > 10, Q_m = Q_{см}, \text{квар.} \end{aligned} \quad (1.9)$$

Максимальная полная нагрузка расчетного узла питания [2]:

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}, \text{кВА.} \quad (1.10)$$

Расчетный максимальный ток [2]:

$$I_p = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{А.} \quad (1.11)$$

Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 1.3 «Расчет электрических нагрузок по цехам напряжением 0,4кВ».

Таблица 1.2 - Расчет осветительной нагрузки

№ п/п	Наименование производственного помещения	Размеры помещения, длина (м) × ширина (м)	Площадь помещения, м <sup>2</sup>	Удельная осветительная нагрузка $\rho_0$ , кВт/м <sup>2</sup>	Коэффициент спроса, $K_c$	Установленная мощность освещения, $P_{у0}$ , кВт	Расчетная мощность осветительной нагрузки		cosφ / tgφ
							$P_{р0}$ , кВт	$Q_{р0}$ , квар	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Склад готовой продукции	75×18	1350	0,01	0,6	13,5	8,1	0,0	1/0
2	Склад вспомогательных материалов	60×18	1080	0,01	0,6	10,8	6,5	0,0	1/0
3	Цех сталеплавильных печей № 1	120×27	3240	0,018	0,8	58,3	46,7	22,6	0,9/0,5
4	Цех сталеплавильных печей № 2	105×27	2835	0,018	0,8	51,0	40,8	19,8	0,9/0,5
5	Прокатных цех	120×27	3240	0,015	0,8	48,6	38,9	18,8	0,9/0,5
6	Цех сталеплавильных печей № 3	100×33	3300	0,018	0,8	59,4	47,5	23,0	0,9/0,5
7	Столярный цех	42×21	882	0,016	0,8	14,1	11,3	5,5	0,9/0,5
8	Ремонтно-механический цех	42×21	882	0,016	0,8	14,1	11,3	5,5	0,9/0,5
9	Кузнечно-прессовый цех	51×21	1071	0,017	0,8	18,2	14,6	7,1	0,9/0,5
10	Энергоцех	51×21	1071	0,016	0,8	17,1	13,7	6,6	0,9/0,5
11	Склад оборудования	63×21	1323	0,01	0,6	13,2	7,9	0,0	1/0
12	Гараж	60×18	1080	0,013	0,7	14,0	9,8	4,8	0,9/0,5
13	Насосная	39×21	819	0,013	0,7	10,6	7,5	0,0	1/0
14	Заводоуправление	66×39	2574	0,02	0,9	51,5	46,3	22,4	0,9/0,5
15	Компрессорная	24×24	576	0,013	0,7	7,5	5,2	0,0	1/0
	Территория	500×300	124677	0,004	1	498,7	498,7	241,5	0,9/0,5



Таблица 1.3 - Расчет силовых нагрузок по цехам завода электросталей, U = 0,4кВ

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт		m	Ки	cosφ /tgφ	Средние нагрузки		пэ	Км	Расчетные нагрузки			Ip, А
			P <sub>н</sub> min÷ P <sub>н</sub> max	ΣP <sub>н</sub>				P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Склад готовой продукции а) силовая	25	1-20	200	>3	0,3	0,8/0,75	60	45,0	20	1,34	80,4	45,0		
	б) осветительная											8,10	0,00		
	Итого											88,5	45,0	99,3	151,0
2	Склад вспомогательных материалов а) силовая	5	1-20	60	>3	0,3	0,8/0,75	18	13,5	5	2	36,0	14,9		
	б) осветительная											6,48	0,00		
	Итого											42,5	14,9	45,0	68,5
3	Цех сталеплавильных печей № 1 а) силовая	40	10-120	3700	>3	0,4	0,7/1,02	1480	1509,9	40	1,15	1702,0	1509,9		
	б) осветительная											46,66	22,60		
	Итого											1748,7	1532,5	2325,2	3536,9
4	Цех сталеплавильных печей № 2 а) силовая	45	10-90	2600	>3	0,4	0,7/1,02	1040	1061,0	45	1,17	1216,8	1061,0		
	б) осветительная											40,82	19,77		
	Итого											1257,6	1080,8	1658,2	2522,4
5	Прокатный цех а) силовая	90	10-100	6000	>3	0,45	0,8/0,75	2700	2025,0	90	1,11	2997,0	2025,0		
	б) осветительная											38,88	18,83		
	Итого											3035,9	2043,8	3659,8	5567,0
6	Цех сталеплавильных печей № 3 а) силовая	45	10-100	4100	>3	0,4	0,7/1,02	1640	1673,1	45	1,17	1918,8	1673,1		
	б) осветительная											47,52	23,01		
	Итого											1966,3	1696,1	2596,8	3950,1

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
7	Столярный цех														
	а) силовая	55	1-45	450	>3	0,3	0,8/0,75	135	101,3	20	1,34	180,9	101,3		
	б) осветительная											11,29	5,47		
	итого											192,2	106,7	219,8	334,4
8	Ремонтно-механический цех														
	а) силовая	27	1-20	290	>3	0,3	0,7/1,02	87	88,8	27	1,26	109,6	88,8		
	б) осветительная											11,29	5,47		
	итого											120,9	94,2	153,3	233,2
9	Кузнечно-прессовый цех														
	а) силовая	35	1-60	600	>3	0,4	0,7/1,02	240	244,8	20	1,24	297,6	244,8		
	б) осветительная											14,57	7,05		
	итого											312,2	251,9	401,1	610,2
10	Энергоцех														
	а) силовая	25	1-70	300	>3	0,4	0,8/0,75	120	90,0	9	1,47	176,4	99,0		
	б) осветительная											13,71	6,64		
	итого											190,1	105,6	217,5	330,8
11	Склад оборудования														
	а) силовая	20	1-20	90	>3	0,3	0,8/0,75	27	20,3	9	1,65	44,6	22,3		
	б) осветительная											7,94	0,00		
	итого											52,5	22,3	57,0	86,7
12	Гараж														
	а) силовая	25	1-20	170	>3	0,2	0,7/1,02	34	34,7	17	1,61	54,7	34,7		
	б) осветительная											9,83	4,76		
	итого											64,6	39,4	75,7	115,1
13	Насосная														
	а) силовая	12	10-80	550	>3	0,6	0,7/1,02	330	336,7	12	1,23	405,9	336,7		
	б) осветительная											7,45	0,00		
	итого											413,4	336,7	533,1	810,9

Окончание таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
14	Заводоуправление														
	а) силовая	28	1-30	240	>3	0,6	0,9/0,48	120	58,1	16	1,23	147,6	58,1		
	б) осветительная											46,33	22,44		
	итого											193,9	80,6	210,0	319,4
15	Компрессорная														
	а) силовая	8	10-50	300	>3	0,5	0,7/1,02	180	183,6	8	1,3	234,0	202,0		
	б) осветительная											5,24	0,00		
	итого											239,2	202,0	313,1	476,3
	Освещение территории											498,71	241,54	554,1	
	Итого на шинах 0,4 кВ											10417,1	7894,1	13070,3	19881,8

## 1.4 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ

Правильное определение числа и мощности трансформаторов можно только путем технико-экономических расчетов, принимая во внимание следующие факторы: категория надежности электроснабжения; компенсации реактивных нагрузок при напряжениях до 1 кВ; перегрузочная способность трансформаторов в нормальных и аварийных условиях.

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 10417,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 7894,1 \text{ квар};$$

$$S_{p0,4} = 13070,3 \text{ кВА}.$$

Завод относится ко 2 категории потребителей, завод работает в три смены, следовательно, коэффициент загрузки трансформаторов  $K_{зтр} = 0,8$ . При плотности нагрузки напряжением 380 В до 0,2-0,3 кВА/м<sup>2</sup> принимаем трансформатор мощностью  $S_{нт} = 1600$  кВА.

Для каждой группы силовых трансформаторов их минимальное число, необходимое для питания наиболее активной нагрузки рассчитывается по формуле:

$$N_{т\text{ min}} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \times S_{нт}} + \Delta N \quad (1.12)$$

$P_{p0,4}$  – суммарная расчетная активная нагрузка;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{нт}$  – принятая номинальная мощность трансформатора;

$\Delta N$  – добавка до ближайшего целого числа.

$$N_{т\text{ min}} = \frac{10417,1}{0,8 \times 1600} + 0,862 = 9$$

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{т.э} = N_{т.\text{min}} + m, \quad (1.13)$$

где  $m$  – дополнительное число трансформаторов.

$N_{т.э}$  – определяется удельными затратами на передачу реактивной мощности с учетом постоянных составляющих капитальных затрат  $З^*п/ст$ .

$$З^*п/ст = 0,5; k_3 = 0,8; N_{т.\text{min}} = 9; \Delta N = 0,862.$$

Тогда из справочника [2] по кривым определяем  $m$ , для нашего случая  $m = 0$ , значит  $N_{т.э} = 9 + 0 = 9$  трансформаторов.

По выбранному количеству трансформаторов определяют наибольшую реактивную мощность  $Q_1$ , которая проходит через трансформаторов в сеть напряжением до 1 кВ (рисунок 1.1), определяется по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\text{ТЗ}} \times S_{\text{НТ}} \times K_3^2) - P_{\text{р0,4}}^2} \quad (1.14)$$

$$Q_1 = \sqrt{(9 \times 1600 \times 0,8)^2 - 10417,1^2} = 4918,7 \text{ квар.}$$

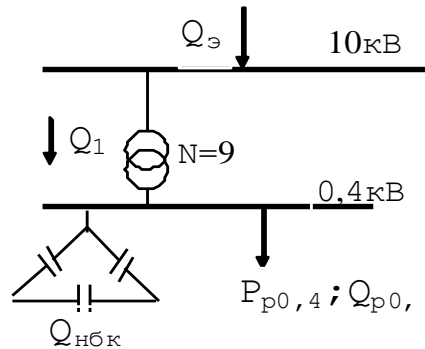


Рисунок 1.1

По условию баланса реактивной мощности на шинах определим величину  $Q_{\text{НБК}}$ :

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{р0,4}} - Q_1, \text{ квар} \quad (1.15)$$

$$Q_{\text{НБК}} = 7894,1 - 4918,7 = 2975,4 \text{ квар}$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{\text{НБК ТП}} = \frac{Q_{\text{НБК}}}{N_{\text{ТЗ}}}, \text{ квар} \quad (1.16)$$

$$Q_{\text{НБК ТП}} = \frac{2975,4}{9} = 330 \approx 300 \text{ квар.}$$

Выбираем низковольтную батарею конденсаторов типа УК-0,38-300-150У3.

На основании расчетов, полученных выше составляется таблица 1.4 «Распределение нагрузок цехов по ТП», в которой показано распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП.

Таблица 1.4 - Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП

№ТП, Sн.тр, Q <sub>НБК</sub>	№ цехов	P <sub>р0,4</sub> , кВт	Q <sub>р0,4</sub> , квар	S <sub>р0,4</sub> , кВА	Кз
1	2	3	4	5	6
ТП1 (2x1600 кВА) ТП2 (3x1600 кВА) ΣS <sub>н</sub> =40800кВА	1	88,5	45,0		
	2	42,5	14,9		
	3	1748,7	1532,5		
	4	1257,6	1080,8		
Q <sub>НБК</sub> = 3x300 квар			-900,0		
Итого		3137,3	1773,1	3603,7	0,75
ТП3 (2x1600 кВА) ТП4 (1x1600 кВА) ΣS <sub>н</sub> =4800кВА	6	1966,3	1696,1		
	7	192,2	106,7		
	8	0,0	94,2		
	11	109,6	22,3		
	12	11,3	39,4		
	13	120,9	336,7		
	14	0,0	80,6		
	15	239,2	202,0		
	осв.тер.	498,7	241,5		
Q <sub>НБК</sub> = 3x300 квар			-900,0		
Итого		3138,3	1919,6	3678,8	0,77
ТП5 (2x1600 кВА) ТП6 (1x10600 кВА) ΣS <sub>н</sub> =4800кВА	5	3035,9	2043,8		
	9	312,2	251,9		
Q <sub>НБК</sub> = 3x300 квар	10	190,1	105,6		
			-900,0		
Итого		3538,2	1501,4	3843,5	0,80

## 1.5 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

Определение потерь мощности в ЦТП

Фактические потери активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах равны:

$$\Delta P_m = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \cdot N, \quad (1.17)$$

$$\Delta Q_m = \left( \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{нт} + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{нт} \cdot K_3^2 \right) \cdot N. \quad (1.18)$$

где  $\Delta P_{xx}$  – активные потери холостого хода;

$\Delta P_{кз}$  – активные потери короткого замыкания;

$I_{xx}$  – ток холостого хода трансформатора, %;



$U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$K_з$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$N$  – количество трансформаторов

Таблица 1.5 - Технические характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	Кз		
ТСЛ(3)-1600	6-10	0,4	3,3	18	5,5	1,3

ТП1, ТП2:  $K_з = 0,75$ ;  $N = 3$ .

$$\Delta P_{mp1,2} = (3,3 + 18 \cdot 0,75^2) \cdot 3 = 40,3 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q_{mp1,2} = \left( \frac{1,3}{100} \cdot 1600 + \frac{5,5}{100} \cdot 1600 \cdot 0,75^2 \right) \cdot 3 = 211,2 \text{ квар.}$$

ТП3, ТП4:  $K_з = 0,77$ ;  $N = 3$

$$\Delta P_{mp3,4} = (3,3 + 18 \cdot 0,77^2) \cdot 3 = 41,6 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q_{mp3,4} = \left( \frac{1,43}{100} \cdot 1600 + \frac{5,5}{100} \cdot 1600 \cdot 0,77^2 \right) \cdot 3 = 217,5 \text{ квар.}$$

ТП5, ТП6:  $K_з = 0,80$ ;  $N = 3$

$$\Delta P_{mp5,6} = (3,3 + 18 \cdot 0,8^2) \cdot 2 = 44,5 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q_{mp5,6} = \left( \frac{1,3}{100} \cdot 1600 + \frac{5,5}{100} \cdot 1600 \cdot 0,8^2 \right) \cdot 2 = 231,7 \text{ квар.}$$

Суммарные потери во всех трансформаторах:

$$\Sigma \Delta P_T = 40,3 + 41,6 + 44,5 = 126,4 \text{ кВт.}$$

$$\Sigma \Delta Q_T = 211,2 + 217,5 + 231,7 = 660,4 \text{ квар.}$$

Определение расчетной мощности синхронных двигателей

Определение расчетных активных и реактивных мощностей для СД:

$$P_{рСД} = P_{нСД} \cdot N_{СД} \cdot K_з, \text{ кВт} \quad (1.19)$$

$$Q_{pCD} = P_{pCD} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{квар.} \quad (1.20)$$

Все расчеты сносим в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Расчет мощности синхронных двигателей

$P_{нCD}, \text{кВт}$	$N$	$k_3$	$\cos \varphi$	$\Sigma P_{pCD}, \text{кВт}$	$\Sigma Q_{pCD}, \text{квар}$
Прокатный цех					
1000	6	0,85	0,9	5100	2470,0
Насосная					
1000	4	0,85	0,9	3400	1646,7
Компрессорная					
800	6	0,85	0,9	4080	1976,0

Определение расчетных активных и реактивных мощностей для ДСП:

$$P_{pДСП} = S_n \cdot N \cdot K_3 \cdot \cos \varphi, \text{кВт} \quad (1.21)$$

$$Q_{pДСП} = P_{pДСП} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{квар.} \quad (1.22)$$

Все расчеты сносим в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Расчет мощности ДСП

$S_n, \text{кВА}$	$N$	$k_3$	$\cos \varphi$	$P_{pДСП}, \text{кВт}$	$Q_{pДСП}, \text{квар}$	$\Sigma \Delta P_{тДСП}, \text{кВт}$	$\Sigma \Delta Q_{тДСП}, \text{квар}$
Цех сталеплавильных печей № 1							
5000	4	0,6	0,82	9840	6868,4	400	2000
Цех сталеплавильных печей № 2							
5000	4	0,6	0,82	9840	6868,4	400	2000
Цех сталеплавильных печей № 3							
9000	2	0,52	0,81	7581,6	5489,0	360	1800

Расчет компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП  
Составим схему электроснабжения, показанную на рисунке 1.2.

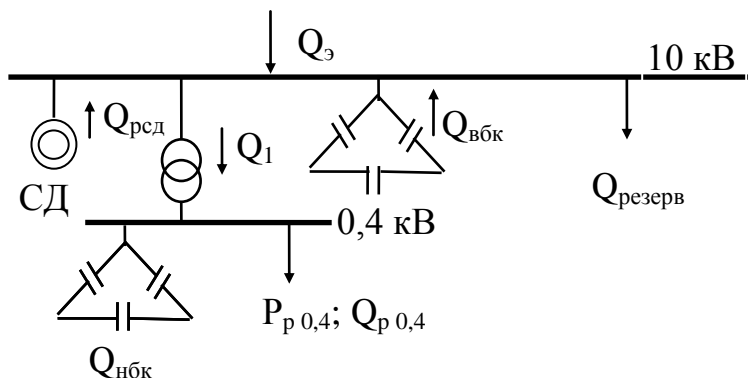


Рисунок 1.2

Составляется уравнение баланса реактивной мощности для шин 10 кВ ГПП:

$$Q_{ВБК} = Q_{p0,4} + \Delta Q_{mp\Sigma} + Q_{pДСП} + \Delta Q_{mpДСП} + Q_{рез} \pm Q_{pСД} - Q_{\text{Э}} - Q_{НБК} \quad (1.23)$$

где  $Q_{рез}$  – величина резерва реактивной мощности на предприятии, определяется по формуле:

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot (Q_{p0,4} + \Delta Q_{mp\Sigma} + Q_{pДСП} + \Delta Q_{mpДСП}) \quad (1.24)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot (7894,1 + 660,3 + 19225,8 + 5800) = 3358 \text{ квар.}$$

$Q_{\text{Э}}$  – входная реактивная мощность задается энергосистемой как экономически оптимальная реактивная мощность, которая может быть передана предприятию в период наибольшей нагрузки энергосистемы и определяется по формуле:

$$Q_{\text{Э}} = 0,23 \div 0,25 \cdot (P_{p0,4} + \Delta P_{mp\Sigma} + P_{pСД} + P_{pДСП} + \Delta P_{mpДСП}) \quad (1.25)$$

$$Q_{\text{Э}} = 0,24 \cdot (10417,1 + 126,6 + 12580 + 27261,6 + 1160) = 12370,8 \text{ квар.}$$

$$Q_{ВБК} = 7894,1 + 660,3 + 3358 + 19225,8 + 5800 - 12370,8 - 2700 - 6092,8 = 15774,5 \text{ квар.}$$

Так как  $Q_{ВБК}$  мала, то установка батарей конденсаторов не требуется.

Расчет силовой нагрузки по комбинату в целом приведен в таблице 1.8 «Расчет уточненной мощности по заводу электросталей».

Таблица 1.8 - Расчет уточненной мощности по заводу электросталей

№№ТП, Снт, Q <sub>НБК</sub> ТП	№№ цеха	n	P <sub>n</sub> min – P <sub>n</sub> max	ΣP <sub>n</sub>	К <sub>и</sub>	Средняя мощность		пэ	К <sub>м</sub>	Расчетные мощности			К <sub>з</sub>
						P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП1, ТП2 (3×1600 кВА)	1	25	1-20	200		60	45						
	2	5	1-20	60		18	14						
	3	40	10-120	3700		1480	1510						
	4	45	10-90	2600		1040	1061						
Силовая:		115	1-120	6560	0,40	2598	2629	109	1,08	2805,84	2629,4		
Освещение:										102,06	42,37		
Q <sub>НБК</sub>											-900		
Итого										2907,9	1771,8	3405,2	0,71
ТП3, ТП4, (3×1600 кВА)	6	45	10-100	4100		1640	1673						
	7	55	1-45	450		135	101						
	8	27	1-20	290		87	89						
	11	20	1-20	90		27	20						
	12	25	1-20	170		34	35						
	13	12	10-80	550		330	337						
	14	28	1-30	240		120	58						
	15	8	10-50	300		180	184						
Силовая:		220	1-100	6190	0,41	2553	2497	124	1	2553	2496,50		
Освещение:										146,89	61,15		
Освещение территории										498,71	241,54		
Q <sub>НБК</sub>											-900		
Итого										3198,6	1899,2	3719,9	0,77

Окончание таблицы 1.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП5, ТП6 (3×1600 кВА)  Силовая: Освещение: QНБК Итого	5	90	10-100	6000		2700	2025						
	9	35	1-60	600		240	245						
	10	25	1-70	300		120	90						
		150	1-100	6900	0,44	3060	2360	138	1,06	3243,6 67,15	2359,8 32,52 -900		
Итого на шинах 0,4 кВ										3310,8	1492,4	3631,6	0,76
ΣΔPт, ΣΔQт										9417,3	5163,3		
Нагрузка 0,4 кВ, приведенная к шинам 10 кВ.										126,5	660,3		
										9543,7	5823,7		
Прокатный цех	5	6	1000	6000						5100,0	-2470,0		
Насосная	13	4	1000	4000						3400,0	-1646,7		
Компрессорная	15	6	800	4800						4080,0	-1976,0		
Цех сталеплавильных печей №1	3	4	5000	20000						9840,0	6868,4		
ΣΔPтдсп, ΣΔQтдсп										400,0	2000,0		
Цех сталеплавильных печей №2	4	4	5000	20000						9840,0	6868,4		
ΣΔPтдсп, ΣΔQтдсп										400,0	2000,0		
Цех сталеплавильных печей №3	6	2	9000	18000						7581,6	5489,0		
ΣΔPтдсп, ΣΔQтдсп										360,0	1800,0		
ВБК											-15600,0		
Всего по комбинату										50545,3	9156,6	51368,0	

## 1.6 Сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/10,5 кВ. Реактивное сопротивление системы равно 0,4. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 2 км. Завод работает в три смены.

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

1. I вариант – ЛЭП 110 кВ;
2. II вариант – ЛЭП 10 кВ.

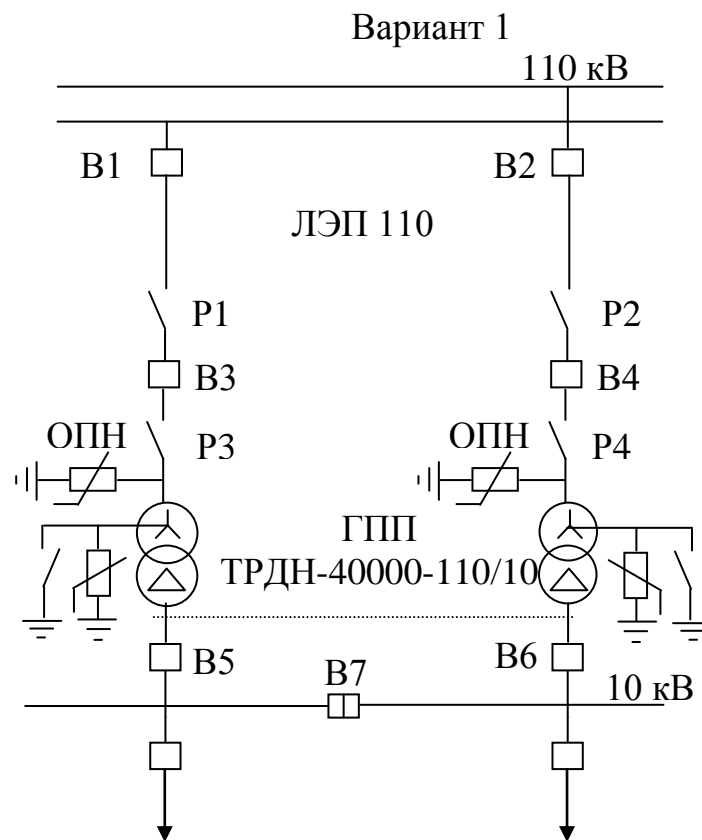


Рисунок 1.3 Первый вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по I варианту.

Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{pГПП} = \sqrt{P_p^2 + Q_s^2}, \text{ кВА} \quad (1.24)$$

$$S_{pГПП} = \sqrt{50545,3^2 + 12370,8^2} = 52037,1 \text{ кВА}$$

Выбираем 2 трансформатора мощностью 40000 кВА, типа ТРДН-40000/110:



$$K_3 = \frac{S_{p.ГПП}}{2 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{52037,8}{2 \cdot 40000} = 0,65 \leq 0,85.$$

Таблица 1.9 - Технические характеристики трансформатора

Тип трансформатора	Напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	кз		
ТРДН-40000/110	115	10,5	34	170	10,5	0,55

Определим потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{тр.ГПП} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2), \text{ кВт} \quad (1.26)$$

$$\Delta P_{тр.ГПП} = 2 \cdot (34 + 170 \cdot 0,65^2) = 211,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \left( \frac{I_{хх}}{100} \cdot S_{нт} + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{нт} \cdot K_3^2 \right), \text{ квар} \quad (1.27)$$

$$\Delta Q_m = 2 \cdot (0,0055 \cdot 40000 + 0,105 \cdot 40000 \cdot 0,65^2) = 3989 \text{ квар}$$

Определим потери электрической энергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{T.ГПП} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot T_{вкл} + \tau \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2), \quad (1.28)$$

где  $T_{вкл}$  – число часов включения, для трехменной работы  $T_{вкл} = 6000 \text{ ч}$ ; [3]

$\tau$  – число часов использования максимума потерь и зависит от числа часов использования максимума нагрузки:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \times 8760, \text{ ч} \quad (1.29)$$

где  $T_M = 6000 \text{ ч}$  – число часов использования максимума [3].

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{6000}{10000} \right)^2 \times 8760 = 4591 \text{ ч.}$$

$$\Delta W_{T.ГПП} = 2 \cdot (34 \cdot 6000 + 170 \cdot 4591 \cdot 0,65^2) = 1067497 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Выбор сечения проводов ЛЭП 110 кВ.

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тр.ГППП}})^2 + Q_3^2}, \text{кВА} \quad (1.30)$$

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(50545,3 + 211,6)^2 + 12370,8^2} = 52242,1 \text{ кВА}$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{\sqrt{3} \times U}, \text{ А} \quad (1.31)$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{52242,1}{1,73 \cdot 115} = 262 \text{ А}$$

$$I_p = \frac{I_{\text{ав}}}{2} = \frac{262}{2} = 131 \text{ А.}$$

а) определим сечение по экономической плотности тока ( $j_э$ ):

$$F_3 = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \text{ мм}^2 \quad (1.32)$$

$$F_3 = \frac{131}{1,1} = 119 \text{ мм}^2$$

где  $j_{\text{эк}} = 1,1 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для воздушных линий [3].

Принимаем стандартное ближайшее сечение  $F_3 = 120 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 380 \text{ А}$

б) по условию потерь на «корону»

Так как для ВЛ 110 кВ минимальное сечение  $70 \text{ мм}^2$ , то окончательно принимается провод марки АС -120,  $I_{\text{доп}} = 380 \text{ А}$ .

в) на нагрев рабочим током

$$I_{\text{доп.пров.}} > I_p, \quad (380 \text{ А} > 131 \text{ А})$$

г) по аварийному режиму

$$1,3 \times I_{\text{доп.пров.}} > I_{\text{ав.}}, \quad (494 \text{ А} > 262 \text{ А})$$

Окончательно принимаем провод марки АС-120,  $I_{\text{доп}} = 380 \text{ А}$ .

Определим потери электрической энергии в ЛЭП 110 кВ:

$$\Delta W_{\text{ЛЭП110}} = N \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (1.33)$$

где  $R = r_0 \cdot l, \text{ Ом}$

$r_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$  - удельное активное сопротивление АС-70 [3].

$$\Delta W_{\text{ЛЭП110}} = 2 \cdot 3 \cdot 131^2 \cdot (0,26 \cdot 2) \cdot 10^{-3} \cdot 4591 = 245912 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Выбор оборудования на  $U=110 \text{ кВ}$ .

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рисунок 1.4) и рассчитаем ток короткого замыкания.

Принимаем  $S_6 = 1000 \text{ МВА}$ ,  $U_6 = 115 \text{ кВ}$ ,  $x_c = 0,4 \text{ о.е.}$

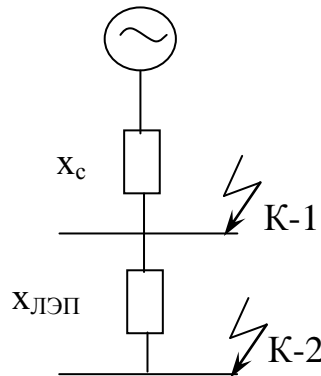


Рисунок 1.4 - Схема замещения

Определяем базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_6}, \text{ кА} \quad (1.34)$$

$$I_6 = \frac{1000}{1,73 \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

Определяем сопротивление ЛЭП:

$$x_{\text{лэп}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2}, \text{ о.е.} \quad (1.35)$$

$$x_{\text{лэп}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,34 \cdot 2 \cdot 1000}{115^2} = 0,1 \text{ о.е.}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-1:

$$I_{K-1} = \frac{I_{\sigma}}{x_c}, \text{кА} \quad (1.36)$$

$$I_{K-1} = \frac{5,02}{0,4} = 12,4 \text{кА}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-2:

$$I_{K-2} = \frac{I_{\sigma}}{x_c + x_{\text{ЛЭП}}}, \text{кА} \quad (1.37)$$

$$I_{K-2} = \frac{5,02}{0,4 + 0,1} = 10,0 \text{кА}$$

Определяем ударный ток:

$$i_{y\partial 1} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_K, \text{кА} \quad (1.38)$$

$$i_{y\partial 1} = 1,8 \cdot 1,41 \cdot 12,4 = 31,4 \text{кА}$$

$$i_{y\partial 2} = 1,8 \cdot 1,41 \cdot 10,0 = 28,1 \text{кА}$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_K = \sqrt{3} \cdot I_K \cdot U_H, \text{МВА} \quad (1.39)$$

$$S_{K-1} = 1,73 \cdot 12,4 \cdot 115 = 2466 \text{МВА}$$

$$S_{K-2} = 1,73 \cdot 11,1 \cdot 115 = 2208 \text{МВА}$$

После расчета токов КЗ произведем выбор оборудования.

Выбираем выключатели В1, В2 типа 3APIFG-145/ЕК – элегазовый колонковый выключатель, фирмы Siemens.

Таблица 1.10 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 110 \text{кВ}$ $I_H = 1600 \text{А}$ $I_{\text{откл}} = 40 \text{кА}$ $I_{\text{дин}} = 40 \text{кА}$	$U_p = 110 \text{кВ}$ $I_{\text{ав}} = 262 \text{А}$ $I_{K1} = 12,4 \text{кА}$ $i_{y\partial 1} = 31,4 \text{кА}$	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{K1}$ $I_{\text{дин}} \geq i_{y\partial 1}$

Выбираем горизонтально-поворотные разъединители RUIRTAL фирмы Siemens, типа D BF-145N.

Таблица 1.11 - Технические характеристики разъединителя

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 110$ кВ $I_H = 1600$ А $I_{\text{терм.уст.}} = 40$ кА $I_{\text{дин.уст.}} = 100$ кА	$U_p = 110$ кВ $I_{\text{ав}} = 262$ А $I_{k2} = 10,0$ кА $i_{\text{уд2}} = 28,31$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{терм.уст.}} \geq I_{k2}$ $I_{\text{дин.уст.}} \geq i_{\text{уд2}}$

Выбираем выключатели В3,В4 типа 3APIFG-145/ЕК – элегазовый колонковый выключатель, производитель Siemens.

Таблица 1.12 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H = 110$ кВ $I_H = 1600$ А $I_{\text{откл}} = 40$ кА $I_{\text{дин}} = 40$ кА	$U_p = 110$ кВ $I_{\text{ав.}} = 262$ А $I_{k2} = 10,0$ кА $i_{\text{уд2}} = 28,1$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{\text{ав}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{k2}$ $I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд2}}$

Выбираем ограничители перенапряжения типа REXLIM R120-УН123,  $U_H = 110$  кВ.

Таблица 1.13 - Стоимость оборудования на напряжение 110 кВ

Вид оборудования	Количество, шт.	Стоимость, млн. тенге	Суммарная стоимость, млн. тенге
ОПН	4	2	8
Выключатели	4	20	80
Разъединитель	4	5	20
Трансформатор	2	80	160
ЛЭП	2	62,5	125

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование.

$$\Sigma K_I = K_{\text{тр.лнн}} + K_{\text{ЛЭП-110}} + K_{\text{В1-В4}} + K_{\text{разъед.}} + K_{\text{ОПН}} \quad (1.40)$$

$$\Sigma K_I = 160 + 125 + 80 + 20 + 8 = 393 \text{ млн.тг.}$$

Дальнейший расчет приведен в экономической части.

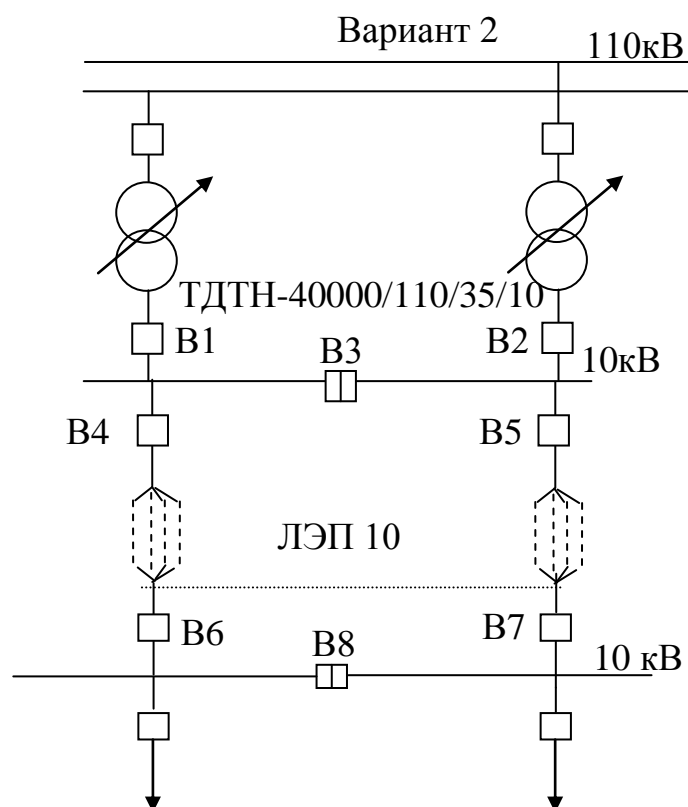


Рисунок 1.5 - Второй вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по II варианту.

1) Выберем сечение ЛЭП-10 кВ

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{pIII} = \sqrt{50545,3^2 + 12370,8^2} = 52037,1 \text{ кВА}$$

$$I_{ав} = \frac{52037,1}{1,73 \cdot 10,5} = 2864 \text{ А}$$

$$I_p = \frac{2864}{2} = 1432 \text{ А}$$

Выбираем сечение проводов ЛЭП 10 кВ

а) Определим сечение по экономической плотности тока:

$$F_э = \frac{1432}{1,1} = 1301 \text{ мм}^2$$

Так как для ЛЭП 10 кВ максимальное сечение  $120 \text{ мм}^2$ , то принимаем  $F = 11 \times 120 = 1320 \text{ мм}^2 > 1301 \text{ мм}^2$  [3].

Принимаем провод типа 11АС-120,  $I_{доп} = 4180 \text{ А}$

б) Проверим провод по пропускной способности:

$$I_{доп \text{ пров}} \geq I_p, \quad (4180 \text{ А} > 1432 \text{ А})$$

в) Проверим провод по аварийному режиму  
 $1,3 \times I_{доп. пров.} > I_{ав.}$  (5434 А > 2864 А)

Определим потери электроэнергии в ЛЭП-10 кВ:

$$\Delta W_{ЛЭП10} = 2 \cdot 3 \cdot 1432^2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 4591 = 2824324 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $r_0 = 0,27 \text{ Ом/км}$  - удельное активное сопротивление АС-120

$$R = r_0 \cdot \frac{l}{N} = 0,27 \cdot \frac{2}{11} = 0,05 \text{ Ом}$$

По конструктивному исполнению и по потерям электроэнергии рассмотрение этого варианта не целесообразно.

Вывод: проходит I вариант по минимальным годовым потерям в трансформаторе и ЛЭП.

### 1.7 Расчет токов короткого замыкания напряжением выше 1 кВ

Для расчета токов короткого замыкания составим схему замещения с учетом подпитки от СД (рисунок 1.6).

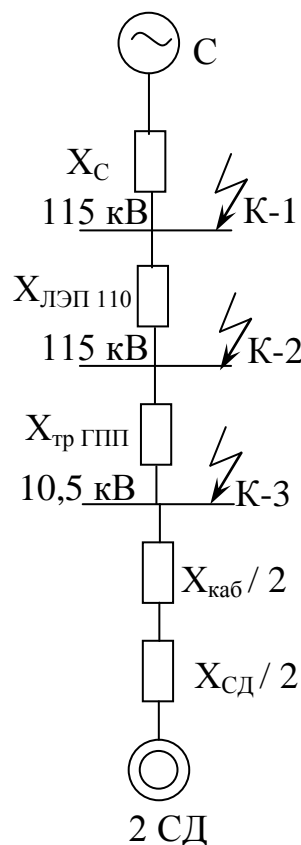


Рисунок 1.6 - Схема замещения электроснабжения ГПП

Принимаем  $S_6=1000$  МВА,  $U_6= 10,5$ кВ,  $x_c = 0,4$  о.е.  
 Определяем базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}, \text{ кА} \quad (1.41)$$

$$I_6 = \frac{1000}{1,73 \cdot 10,5} = 55,05 \text{ кА}$$

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

$$x_{лэп} = \frac{0,34 \cdot 2 \cdot 1000}{115^2} = 0,05 \text{ о.е.}$$

$$x_{тр. ГПП} = \frac{U_{кз} \cdot S_6}{100 \cdot S_{ит}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 40} = 2,63 \text{ о.е.}$$

Определяем ток короткого замыкания в точке К-3:

$$I_{К-3} = \frac{I_6}{x_c + x_{лэп} + x_{тр. ГПП}}, \text{ кА} \quad (1.42)$$

$$I_{К-3} = \frac{55,05}{0,4 + 0,1 + 2,63} = 17,5 \text{ кА}$$

Рассчитаем ток подпитки от СД.

В прокатном цехе установлено 6 синхронных двигателя и в насосной установлено 4 типа СДН-16-41-20 со следующими характеристиками:  $P_n = 1000$  кВт,  $U_n = 10,5$  кВ,  $n = 300$  об/мин,  $\eta = 93,2\%$ .

Находим полную мощность СД:

$$S_{н СД} = \frac{P_{н СД}}{\cos \varphi}, \text{ кВА} \quad (1.43)$$

$$S_{н СД} = \frac{1000}{0,9} = 1111 \text{ кВА}$$

Определяем расчетный ток СД:

$$I_{СД} = \frac{S_{н СД} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U}, \text{ А} \quad (1.44)$$



$$I_{CD} = \frac{1111 \cdot 0,85}{1,73 \cdot 10,5} = 51,9 \text{ A}$$

Выбираем марку и сечения кабеля к СД.

а) по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{51,9}{1,4} = 37 \text{ мм}^2$$

б) по минимальному сечению:

$$F_{\text{э.min}} = \alpha \cdot I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \cdot 17,5 \cdot \sqrt{0,4} = 117 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3x120),  $I_{\text{доп}} = 265 > 51,9 \text{ A}$ .  
Данные кабеля:  $r_0 = 0,447 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$ .

$$x_{\text{каб. СД}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{2 \cdot U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,08 \cdot 15 \cdot 1000}{2 \cdot 10,5^2} = 5 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{СД}} = \frac{x_d'' \cdot S_{\text{б}}}{\sum S_{\text{н СД}}} = \frac{0,2 \cdot 1000}{5 \cdot 1111} = 36 \text{ о.е.}$$

Тогда ток короткого замыкания от двигателей будет равен:

$$I_{\text{кзСД}} = \frac{E_{\text{СД}} \cdot I_{\text{б}}}{x_{\text{экв.}}}, \text{ кА} \quad (1.45)$$

где  $E_{\text{СД}} = E'' \cdot \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{б}}} = 1,1 \cdot \frac{10}{10,5} = 1,05$  [3]

$$I_{\text{кзСД}} = \frac{1,05 \cdot 55,05}{5 + 36} = 1,4 \text{ кА}$$

В компрессорной установлено 46 синхронных двигателя типа СДН-20-41 со следующими характеристиками:  $P_{\text{н}} = 800 \text{ кВт}$ ,  $U_{\text{н}} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $n = 500 \text{ об/мин}$ ,  $\eta = 92\%$ .

Находим полную мощность СД:

$$S_{н\ СД} = \frac{800}{0,9} = 888\ \text{кВА}$$

Определяем расчетный ток СД:

$$I_{СД} = \frac{888 \cdot 0,85}{1,73 \cdot 10,5} = 41,5\ \text{А}$$

Выбираем марку и сечения кабеля к СД.

а) по экономической плотности тока:

$$F_{э} = \frac{I_{р}}{j_{эк}} = \frac{41,5}{1,4} = 30\ \text{мм}^2$$

б) по минимальному сечению:

$$F_{э.\text{min}} = \alpha \cdot I_{КЗ} \cdot \sqrt{t_{привед}} = 12 \cdot 15,6 \cdot \sqrt{0,4} = 117\ \text{мм}^2$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3х120),  $I_{доп} = 265 > 51,9\ \text{А}$ .  
Данные кабеля:  $r_0 = 0,447\ \text{Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,08\ \text{Ом/км}$ .

$$x_{каб.\ СД} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{б}}{2 \cdot U_{ср}^2} = \frac{0,08 \cdot 10 \cdot 1000}{2 \cdot 10,5^2} = 4\ \text{о.е.}$$

$$x_{СД} = \frac{x_d'' \cdot S_{б}}{\sum S_{н\ СД}} = \frac{0,2 \cdot 1000}{3 \cdot 0,888} = 75\ \text{о.е.}$$

Тогда ток короткого замыкания от двигателей будет равен:

$$I_{кзСД} = \frac{1,05 \cdot 55,05}{4 + 75} = 0,7\ \text{кА}$$

Суммарный ток КЗ в точке К-3 на шинах 10 кВ с учетом подпитки от двигателей будет равен:

$$\sum I_{КЗ} = I_{К-3} + I_{кзСД} = 17,5 + 1,4 + 0,7 = 19,6\ \text{кА}$$

Ударный ток в точке К-3:

$$i_{yд} = \sqrt{2} \cdot K_{yд} \cdot I_{\sum КЗ} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 19,6 = 35,2\ \text{кА}$$

Мощность КЗ:

$$S_{K3\Sigma} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \sum I_{K3} = 1,73 \cdot 10,5 \cdot 19,6 = 323,33 \text{ МВА.}$$

## 1.8 Выбор оборудования

Выбор выключателей.

Выбор вводных и секционных выключателей:

$$S_{pГПП} = \sqrt{50545,3^2 + 12370,8^2} = 52037,1 \text{ кВА}$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = \frac{52037,1}{1,73 \cdot 10,5} = 2864 \text{ А.}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{2864}{2} = 1432 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа 3АН5215-6 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.14 - Технические характеристики выключателя

	Вводные выключатели		Секционный выключатель	
	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_H$ , кВ	10	10	10	10
$I_H$ , А	2864	3000	1432	2000
$I_{отк}$ , кА	19,6	31,5	19,6	31,5
$I_{дин}$ , кА	35,2	82	35,2	82
Привод	Моторный пружинный привод			

Выбор выключателей отходящих линий:

Магистраль ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_{pТП,2} = \sqrt{(2907,9 + 40,3)^2 + (1771,8 + 211,2)^2} = 3551,3 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{3551,3}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 97,8 \text{ А}$$

$$I_{ав} = 2 \times 97,8 = 195,6 \text{ A}$$

Выбираем выключатель типа 3АН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.15 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{ав} = 195,6 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $W = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Магистраль ГПП-ТП3-ТП4:

$$S_{рТП3,4} = \sqrt{(3198,6 + 41,6)^2 + (1899,2 + 217,5)^2} = 3870,3 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{3870,3}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 106,5 \text{ А}$$

$$I_{ав} = 2 \times 106,5 = 213 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа 3АН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.16 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{ав} = 213 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $W = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Магистраль ГПП-ТП5-ТП6:

$$S_{рТП5,6} = \sqrt{(3310,8 + 44,5)^2 + (1492,4 + 231,7)^2} = 3772,3 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{3772,3}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 103,8 \text{ А}$$

$$I_{ав} = 2 \times 103,8 = 207,6 \text{ A}$$

Выбираем выключатель типа 3АН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.17 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_{ав} = 207,6 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $W = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Линия ГПП-СД (прокатный цех, насосная):

$$S_{рСД} = \frac{1000}{0,9} = 1111 \text{ кВА}$$

$$I_{сд} = \frac{1111 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 51,9 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа 3АН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.18 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_p = 51,9 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $W = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Линия ГПП-СД (компрессорная):

$$S_{рСД} = \frac{800}{0,9} = 888 \text{ кВА}$$

$$I_{сд} = \frac{888 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 41,5 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа ЗАН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.19 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_n = 10 \text{ кВ}$ $I_n = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_p = 41,5 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $W = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Линия ГПП-ДСП-12 (цех сталеплавильных печей № 1, № 2):

$$S_{рДСП} = \sqrt{(9840 + 400)^2 + (6868,4 + 2000 - 6000)^2} = 10634,1 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{10634,1}{4 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 146,4 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа ЗАН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.20 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_n = 10 \text{ кВ}$ $I_n = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_p = 146,4 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $W = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Линия ГПП-ДСП-25 (цех сталеплавильных печей № 3):

$$S_{рДСП} = \sqrt{(7581,6 + 360)^2 + (5489 + 1800 - 3600)^2} = 8756,6 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{8756,6}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 241 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа ЗАН5144-1 – вакуумный силовой выключатель, производства Siemens.

Таблица 1.21 - Технические характеристики выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 800 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2 \cdot t = (25)^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \times \text{с}$	$U = 10 \text{ кВ}$ $I_p = 241 \text{ А}$ $I_{кз} = 19,6 \text{ кА}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $B = (3,6)^2 \cdot 0,12 = 46,1 \text{ кА}^2 \times \text{с}$
Моторный пружинный привод	

Выбор трансформаторов тока.

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

1. по напряжению установки:  $U_{ном \text{ ТТ}} \geq U_{ном \text{ уст-ки}}$ ;
2. по току:  $I_{ном \text{ ТТ}} \geq I_{расч}$ ;
3. по электродинамической стойкости:  $K_{дин} \geq \frac{i_{уд}}{\sqrt{2} \times I_{ном \text{ ТТ}}}$ ;
4. по вторичной нагрузке:  $S_{н2} \geq S_{нагр \text{ расч}}$ ;
5. по термической стойкости:  $K_{тс} = \frac{I_{об} \times \sqrt{t}}{I_{ном \text{ ТТ}} \times t_{нт}}$ ;
6. по конструкции и классу точности.

а) Выбор трансформаторов тока на вводе и секционном выключателе.

Таблица 1.22 - Измерительные приборы

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
A	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
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Примем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.23 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_{ав} = 2864 \text{ А}$ $i_{уд} = 35,2 \text{ кА}$ $S_{2 \text{ п}} = 10,4 \text{ ВА}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 3000 \text{ А}$ $I_{дин} = 81 \text{ кА}$ $S_{2 \text{ н}} = 20 \text{ ВА}$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.  
 Сопротивление вторичной нагрузки состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом};$$

$$R_{2н} = \frac{S_{2н\text{тт}}}{I_2^2} = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ом}.$$

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

$I_2$  – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$R_{\text{доп.пров}} = R_{2н} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к-тов}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом}.$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{R_{\text{доп.пров}}} = \frac{0,028 \cdot 5}{0,84} = 0,16 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ;  $F=2,5 \text{ мм}^2$

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{F} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,416 \cdot 5^2 = 10,5 \text{ ВА};$$

где  $R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,056 + 0,1 = 0,416 \text{ Ом}.$

Выбираем трансформатор тока на секционном выключателе шин ГПП типа ТОЛ-10УЗ, производитель Кентауский трансформаторный завод.



Таблица 1.24 - Измерительные приборы

Прибор	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
Амперметр	Э-350	0,5	0,5	0,5
Итого		0,5	0,5	0,5

Таблица 1.25 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{ав} = 1432$ А	$I_H = 2000$ А
$i_{уд} = 35,2$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 4,4$ ВА	$S_{2H} = 10$ ВА

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление вторичной нагрузки состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом};$$

$$R_{2н-ка} = \frac{S_{2н-ка}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$R_{доппр} = R_{2н} - R_{приб} - R_{кон} = 0,4 - 0,02 - 0,1 = 0,28 \text{ Ом}$$

$$q_{пров} = \frac{\rho \cdot L}{R_{доп.пров}} = \frac{0,028 \cdot 5}{0,28} = 0,5 \text{ мм}^2; \text{ принимаем провод АКР ТВ; } F=2,5 \text{ мм}^2;$$

$$R_{пров} = \frac{\rho \cdot l}{F} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,176 \cdot 5^2 = 4,4 \text{ ВА}$$

$$R_2 = 0,02 + 0,056 + 0,1 = 0,176 \text{ Ом.}$$

б) Выбираем трансформатор тока на линии ГПП-(ТП1-ТП2); ГПП-(ТП3-ТП4); ГПП-(ТП5-ТП6); ГПП-СД; ГПП-ДСП.

Таблица 1.26

Прибор	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
Амперметр	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

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{2 н-ка}} = \frac{S_{\text{2 н-ка}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{доп.пров}} = R_{\text{2н}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к-тов}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом}.$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{R_{\text{доп.пров}}} = \frac{0,028 \cdot 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2; \text{ принимаем кабель АКРТВ; } F=2,5 \text{ мм}^2;$$

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{F} = \frac{0,028 \cdot 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,376 \cdot 5^2 = 9,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = 0,22 + 0,056 + 0,1 = 0,376 \text{ Ом}.$$

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП1-ТП2):  $I_{\text{ав}}=195,6 \text{ А};$

Выбираем трансформатор тока типа Т0Л-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.27 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_{\text{н}}= 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}}= 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}}= 195,6 \text{ А}$	$I_{\text{н}}= 200 \text{ А}$
$i_{\text{уд}}= 35,2 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}}= 52 \text{ кА}$
$S_{2\text{р}}= 9,4 \text{ ВА}$	$S_{2\text{н}}= 10 \text{ ВА}$

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП3-ТП4):  $I_{\text{ав}}=213 \text{ А}.$

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.28 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_n = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_{ав} = 213$ А	$I_n = 300$ А
$i_{уд} = 32,5$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 9,4$ ВА	$S_{2n} = 10$ ВА

Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП5-ТП6):  $I_{ав} = 207,6$  А.

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.29 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_n = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_{ав} = 207,6$ А	$I_n = 300$ А
$i_{уд} = 35,2$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 9,4$ ВА	$S_{2n} = 10$ ВА

Трансформаторов тока на линии ГПП-СД1,2:  $I_p = 51,9$  А.

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.30 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_n = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_p = 51,9$ А	$I_n = 100$ А
$i_{уд} = 32,5$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 9,4$ ВА	$S_{2n} = 10$ ВА

Трансформаторов тока на линии ГПП-СД3:  $I_p = 41,5$  А.

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.31 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_n = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_p = 41,5$ А	$I_n = 100$ А
$i_{уд} = 32,5$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 9,4$ ВА	$S_{2n} = 10$ ВА

Трансформаторов тока на линии ГПП-ДСП1,2:  $I_p = 146,4$  А.

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.32 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_p = 146,4$ А	$I_H = 200$ А
$i_{уд} = 32,5$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 9,4$ ВА	$S_{2H} = 10$ ВА

Трансформаторов тока на линии ГПП-ДСПЗ:  $I_p = 241$  А.

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10У3, производитель Кентауский трансформаторный завод.

Таблица 1.33 - Технические характеристики трансформатора тока

Расчетные величины	По каталогу
$U_H = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_p = 241$ А	$I_H = 300$ А
$i_{уд} = 32,5$ кА	$I_{дин} = 52$ кА
$S_{2p} = 9,4$ ВА	$S_{2H} = 10$ ВА

Выбор трансформаторов напряжения.

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

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

Таблица 1.34 - Измерительные приборы

Прибор	Тип	$S_{об-ки}$ , ВА	Число об-к	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Число приборов	$P_{общ}$ , Вт	$Q_{\Sigma}$ , 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	1	3	-
Wh	СА3-И681	3 Вт	2	0,38	0,925	16	96	233
Varh	СР4-И689	3 вар	2	0,38	0,925	16	96	233
Итого							206	466

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ ВА} \quad (1.46)$$

$$S_{2p} = \sqrt{206^2 + 466^2} = 509 \text{ ВА}$$

Принимаем ТН типа НАМИТ-10УЗ [11].

Таблица 1.35 - Технические характеристики трансформатора напряжения

$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$	$U_{HT} = 10 \text{ кВ}$
$S_{H2} = 600 \text{ кВА}$	$S_{p2} = 509 \text{ ВА}$
Схема соединения обмоток $Y^{\Delta}/Y^{\Delta}/\langle 1-0$	

Выбор выключателей нагрузки.

ТП1,2 -  $I_p=97,8 \text{ А}$ ; ТП3,4 -  $I_p=106,5 \text{ А}$ ; ТП5,6 -  $I_p=103,8 \text{ А}$

Для всех трансформаторов принимаем выключатель нагрузки типа ВНПу-10-400-10зп ЗУЗ

Таблица 1.36 - Технические характеристики выключателя нагрузки

Расчетные	Паспортные
$U_H=10 \text{ кВ}$	$U_H=10 \text{ кВ}$
$I_{расч}=97,8-106,5 \text{ А}$	$I_H=400 \text{ А}$
$I_k=19,6 \text{ кА}$	$I_{отк}=10 \text{ кА}$

Выбор силовых кабелей отходящих линий.

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

1. по экономической плотности тока:  $F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}$ ;
2. по минимальному сечению  $F_{\text{min}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{п}}}$ ;
3. по условию нагрева рабочим током  $I_{\text{доп каб}} \geq I_p$ ;
4. по аварийному режиму  $I_{\text{доп ав}} \geq I_{\text{ав}}$ ;
5. по потере напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{рас}}$ .

Выбираем кабель ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_{p\text{ТП1,2}} = \sqrt{(2907,9 + 40,3)^2 + (1771,8 + 211,2)^2} = 3551,3 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{3551,3}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 97,8 \text{ А}$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \times 97,8 = 195,6 \text{ А}$$

а) по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{97,8}{1,4} = 69 \text{ мм}^2$$

где  $j_{\text{эк}} = 1,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  - экономическая плотность тока.

Принимаем кабель марки ААШВ-10-(3×70),  $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$  [5,8];

б) проверим выбранный кабель по термической стойкости к  $I_{\text{кз}}$ , найдем минимальное сечение кабеля по  $I_{\text{кз}}$

$$F_{\text{э. min}} = \alpha \cdot I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \cdot 17,5 \cdot \sqrt{0,4} = 117 \text{ мм}^2$$

принимаем окончательно кабель ААШВ-10-(3×120),  $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}$ ;

в) проверка по аварийному току:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \times 265 = 344,5 \text{ А} \geq 195,6 \text{ А};$$

г) проверка по рабочему режиму с учетом поправочного коэффициента  $K_{\text{попр}}$ , зависящего от количества кабелей проложенных в одной траншее  $K_{\text{попр}} = 0,75$  (6 кабелей в траншее):

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{р}} / K_{\text{попр}}, \text{ А}, (265 \text{ А} > 111,6 \text{ А}).$$

Условия выполняются, тогда окончательно принимаем кабель марки ААШВ-10-(3×120), с  $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}$ .

Все расчетные данные выбора остальных кабелей занесены в таблицу 1.37 – Кабельный журнал.

Выбор шин ГПП.

Сечение шин выбирают по длительно допустимому току и экономической целесообразности. Проверку шин производят на электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ.

Выбираем твердотянутые алюминиевые шины прямоугольного сечения марки АТ-100×6;  $I_{\text{доп}} = 3100 \text{ А}$  (одна полоса на фазу),  $I_{\text{ав}} = 2864 \text{ А}$ ;  $i_{\text{уд}} = 19,6 \text{ кА}$ .

а)  $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ав}}$  ( $3100 \text{ А} > 2864 \text{ А}$ );

б) проверка по термической стойкости к  $I_{\text{кз}}$ :

$$F_{\text{э. min}} = \alpha \cdot I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{привед}}} < F_{\text{н}} \text{ мм}^2. \quad (1.47)$$

$$F_{\text{э. min}} = 12 \cdot 19,6 \cdot \sqrt{1} = 235 < 3600 \text{ мм}^2$$

в) проверка по динамической стойкости к  $i_{\text{уд кз}}$ :  $\sigma_{\text{доп}} = 700 \text{ кгс/см}^2$ :

$$f = \frac{1,75 \cdot 10^{-2} \cdot i^2 \cdot l}{a}, \text{ кгс}; \quad (1.48)$$

$$f = \frac{1,75 \cdot 10^{-2} \cdot 19,6^2 \cdot 50}{100} = 6,72 \text{ кгс}$$

$$\sigma_{расч} = \frac{f \cdot l}{10 \cdot W}, \text{ кгс} \quad (1.49)$$

$$\sigma_{расч} = \frac{6,72 \cdot 100}{10 \cdot 4,8} = 14 \text{ кгс}$$

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2, \text{ см}^3 \quad (1.50)$$

$$W = 0,167 \cdot 0,8 \cdot 6^2 = 4,8 \text{ см}^3$$

где  $l$  – расстояние между изоляторами;  
 $a$  – расстояние между фазами;  
 $b$  – толщина одной полосы;  
 $h$  – ширина (высота) шины.

Из условия видно, что шины динамически устойчивы.

Выбор изоляторов.

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

- по номинальному напряжению:  $U_{ном} \geq U_{уст}$ ;

- по допустимой нагрузке:  $F_{доп} \geq F_{расч}$ .

где  $F_{расч}$  – сила, действующая на изолятор;

$F_{доп}$  – допустимая нагрузка на головку изолятора,  $F_{доп} = 0,6 \cdot F_{разр}$ ;

$F_{разр}$  – разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_{расч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot i^2 \cdot l}{a}, \text{ кгс}. \quad (1.51)$$

$$F_{расч} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot 9,1^2 \cdot 50}{100} = 7,1 \text{ кгс}$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-500У1,  $F_{разруш} = 500$  кгс [8].

$$F_{доп} = 0,6 \times F_{разруш} = 0,6 \times 500 = 300 \text{ кгс. } (> 7,1 \text{ кгс}),$$

Условие выполняется.

Таблица 1.37 - Кабельный журнал

Наименование участка	Sp, кВА	Кол-во кабелей в траншее	Нагрузка		По экономической плотности тока, мм <sup>2</sup>		По допустимой нагрузке, мм <sup>2</sup>		По току короткого замыкания, мм <sup>2</sup>		Выбранный кабель	Iдоп, А
			Ip, А	Iав, А	jэ	Fэ	Kп	Fдоп	Iк, А	S		
ГПП-ТП1-ТП2	3551,3	6	97,8	195,6	1,4	70	0,75	70	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-ТП3-ТП4	3870,3	6	106,5	213	1,4	76	0,75	70	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-ТП5-ТП6	3772,3	6	103,8	207,6	1,4	74	0,75	70	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ТП1-ТП2	1183,7	6	65,1	-	1,4	47	0,75	50	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ТП3-ТП4	1290,1	6	71,0	-	1,4	51	0,75	50	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ТП5-ТП6	1257,4	6	69,2	-	1,4	49	0,75	50	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-СД1	1111	6	51,9	-	1,4	37	0,75	35	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-СД2	1111	6	51,9	-	1,4	37	0,75	35	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-СД3	8888	6	41,5	-	1,4	30	0,75	25	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-ДСП1	10634,1	6	146,4	-	1,4	105	0,75	95	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-ДСП2	10634,1	6	146,4	-	1,4	105	0,75	95	17,5	120	ААШВ-10-(3×120)	265
ГПП-ДСП3	8756,6	6	241	-	1,4	172	0,75	185	17,5	120	ААШВ-10-(3×185)	350



## **2 Выбор рационального режима работы дуговой сталеплавильной печи**

Основное назначение дуговой сталеплавильной печи (ДСП) прямого действия – выплавка стали из металлического лома (скрапа). Такой процесс весьма энергоемок: на 1 час выплавленной стали в зависимости от емкости печи и характера процесса, расходуется от 500 до 1000 кВт/ч электроэнергии. В ДСП получают высоколегированные сорта стали, для которых требуется тщательная очистка металла от вредных примесей (особенно серы), удаления неметаллических включений и обезгаживание. Такие вид стали было затруднительно выплавлять в мартеновских печах, а повышенная стоимость передела в электропечах компенсировалась улучшением качества получаемого металла и уменьшением угара ценных легирующих. Существенные преимущества имеет ДСП по сравнению с мартеновской печью и как агрегат для получения стального литья.

Выплавка легированных сталей включает в себя следующие операции: расплавление металла, удаление содержащихся в нем вредных примесей и газов, раскисление металла, введение в него нужных легирующих, и слив в разливочную машину или ковш. В период меж сплавочного простоя осуществляется заправка подины печи и загрузка новой порции скрапа. Расплавление скрапа необходимо вести по возможности быстро и с минимальным расходом энергии, поэтому, в этот период печь включается на полную мощность, а печной трансформатор - на максимальное напряжение.

Ход плавания шихты.

Дуга загорается сначала между концом электрода и поверхностью шихты, причем для повышения ее устойчивости в первые минуты под электроды обычно подкладывают куски кокса или электродного боя. После их сгорания металл начинает подправляться и каплями стекать на подину. В шихте образуются колодцы, в которые углубляются опускающиеся электроды до тех пор, пока они не достигнут дна ванны, на которой к этому моменту образуется лужа расплава, перегревает металл, начинается размыв и расплавление окружающей колодцы шихты. Колодцы расширяются, уровень жидкого металла в ванне начинает повышаться, а электроды - подниматься. В конце этого периода, почти весь металл оказывается расплавленным, остаются лишь отдельные куски шихты на откосах ванны, расплавляющиеся последними. Период расплавления считают законченным, когда весь металл в печи перешел в жидкое состояние.

Для того чтобы в ДСП можно было проводить описанный процесс выплавки стали, она должна быть снабжена рядом механизмов.

В печь необходимо загружать шихту, и современные печи имеют механизмы загрузки шихты.

Готовый металл нужно слить из печи, а в процессе плавки надо из печи скачать шлак, поэтому печь должна наклоняться, как в сторону летки, так и в сторону загрузочного окна, с помощью механизма наклона.

В дуговых печах жидкий металл ванны неоднороден по составу и температуре. Особенно велика такая неоднородность в крупных печах, в которых физически невозможно перемешать металл механическим способом. Такие печи снабжены устройством электромагнитного перемешивания. Эти устройства облегчают также скачивание шлака.

Каждая дуговая печь имеет механизм перемещения электродов.

Напряжение печи при ее работе требуется регулировать в довольно широких пределах. В период расплавления при холодной шихте, дуга в печи неустойчивая, короткая, и для увеличения мощности необходимо повышать напряжение. При рафинировании, вследствие изменившихся тепловых условий, в ванне дуга значительно удлиняется. Во избежание выхода из строя футеровки стен и свода, ее укорачивают, снижая напряжение. Для регулирования рабочего напряжения каждую печь комплектуют печным трансформатором, с несколькими ступенями напряжения.

В дуговой печи короткое замыкание электродов на металл - нормальное эксплуатационное присущее ей явление, и необходимо обезопасить установку от его последствий.

Дуговая печь, как и любая крупная электроустановка, должна быть оснащена необходимой коммутационной, измерительной и сигнальной аппаратурой (рисунок 2.1).

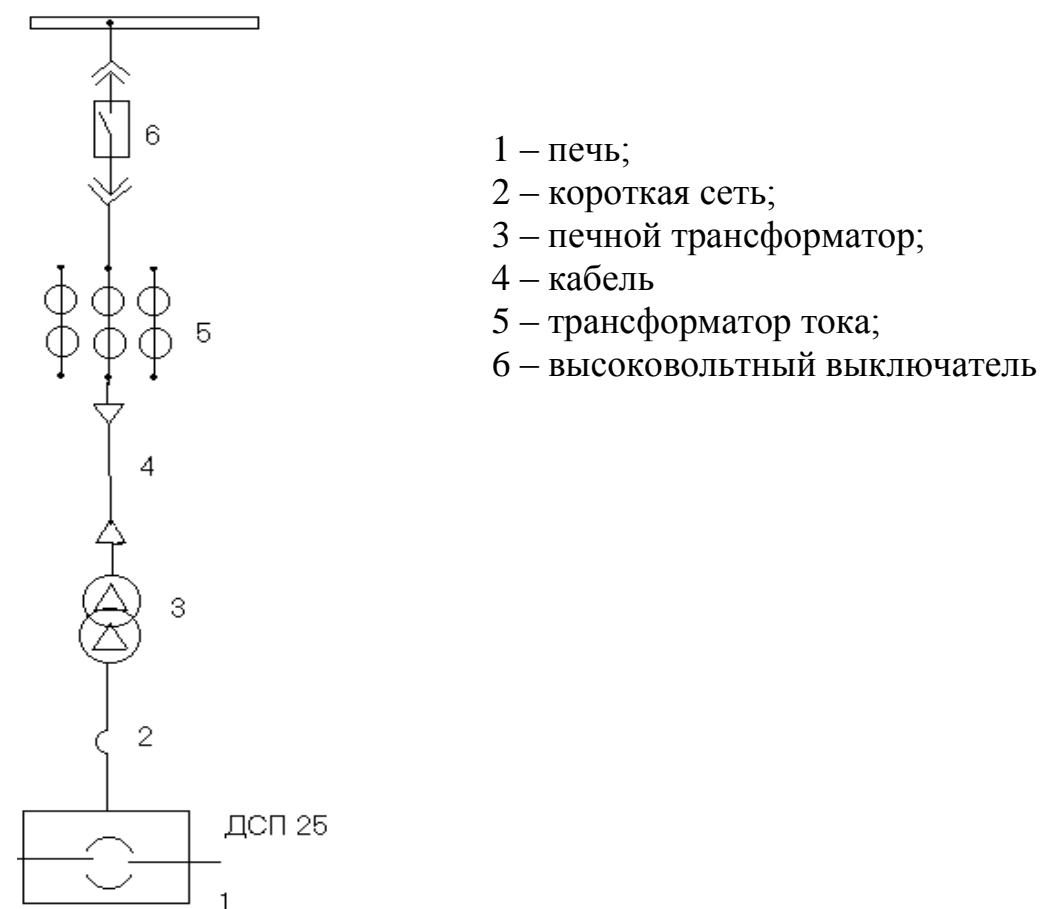


Рисунок 2.1

Выбор рациональных режимов работы дуговой сталеплавильной печи на основе построения электрических и рабочих характеристик.

Расход электроэнергии на одну тонну выплавленной стали и производительность печи зависят не только от технологических факторов - состава стали, состава шихты, умения персонала вести процесс, состояния футеровки, качества электродов, величины простоев и т.п., но и в не меньшей степени от того, насколько правильно выбран электрический режим печи. Регулировать режим можно, изменяя либо питающее напряжение, либо длину, а следовательно и ток дуги. Первый способ, осуществляемый переключением обмотки высоко напряжения печного трансформатора, используется обычно лишь несколько раз за плавку, при изменении протекающего в печи процесса.

Второй способ, позволяет регулировать режим печи непрерывно и плавно, поднимая и опуская электроды. С помощью системы автоматического управления, поддерживающий на заданном уровне ток и мощность печи.

Таким образом, основное, непрерывное регулирование режима работы печи ведется по току. Поэтому важно знать электрические характеристики печи - зависимость основных электрических показателей печи, в первую очередь, ее мощности, к.п.д. и коэффициента мощности от рабочего тока.

Электрические характеристики строятся на основе схем замещения печных установок.

Таблица 2.1 – Параметры дуговых сталеплавильных печей

Тип печи	ДСП-25
Электropечной трансформатор	ЭТЦНК-9000/10-74У3
Номинальная мощность, МВА	5,0
Вторичное напряжение, В	278-116
Сопротивление силовой цепи: – активное, Ом – реактивное, Ом	$0,78 \times 10^{-3}$ $4,14 \times 10^{-3}$
Номинальный ток, $I_2$ , кА	10,4

Считая ДСП симметричной трехфазной системой, схему замещения можно принять однофазной, включенной на фазное напряжение обмотки н.н. печного трансформатора.

Упрощенная схема замещения приведена на рисунке 2.2.

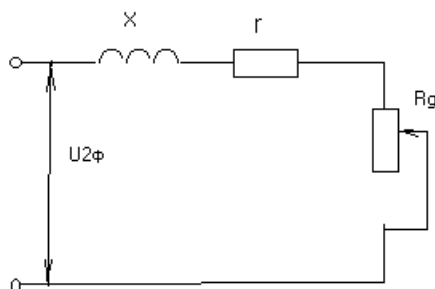


Рисунок 2.2

Для данной схемы замещения строим круговую диаграмму (рисунок 9.3). При коротком замыкании  $R_d = 0$ , а ток к.з. печи равен:

$$I_{2к} = \frac{U_{2ф}}{\sqrt{r^2 + x^2}} ;$$

$$I_{2к} = \frac{278}{\sqrt{(0,78^2 + 4,14^2) \times 10^{-6}}} = 65 \text{ кА}$$

Построим треугольник напряжений короткого замыкания. При таком построении, принято, что активные слагающие откладывать по вертикали, а реактивные, по горизонтали (треугольник OAB). Сторона OA представляет собой индуктивное падение напряжения  $I_2x$ , сторона AB - активное падение напряжения  $I_2r$ , угол  $\varphi_k$  - сдвиг фаз тока и напряжения печи при коротком замыкании, а сторона OB - напряжение сети  $U_{2ф}$ . При всех других режимах сумма всех активных и индуктивных падений напряжения в схеме должна быть равна  $U_{2ф}$ , вершина вектора OB должна лежать на окружности, проведенной из точки O радиусом OB.

В соответствии с допущением о постоянстве индуктивного сопротивления падение напряжения в нем  $I_2x$ , будет пропорциональна вторичному току  $I_2$ ; поэтому по оси абсцисс откладываем значение  $OA/I_{2к}$  в амперах на миллиметр. Если теперь для любого значения тока  $I_2=OC$  восстановить из C перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения в точке D с окружностью LM, то отрезок C дает падение напряжения в индуктивном сопротивлении  $x$ , равное  $I_2x$ , отрезок DE - напряжение на дуге  $U_d = I_2 R_d$ , а угол  $\varphi$  - сдвиг фаз тока  $I_2$  и напряжения  $U_{2ф}$ .

Построенная круговая диаграмма, как видно дает связь тока печи  $I_2$  с напряжением на дуге  $U_d$ , а, следовательно, и с сопротивлением дуги. Это в свою очередь позволяет построить все интересующие нас электрические характеристики печной установки.

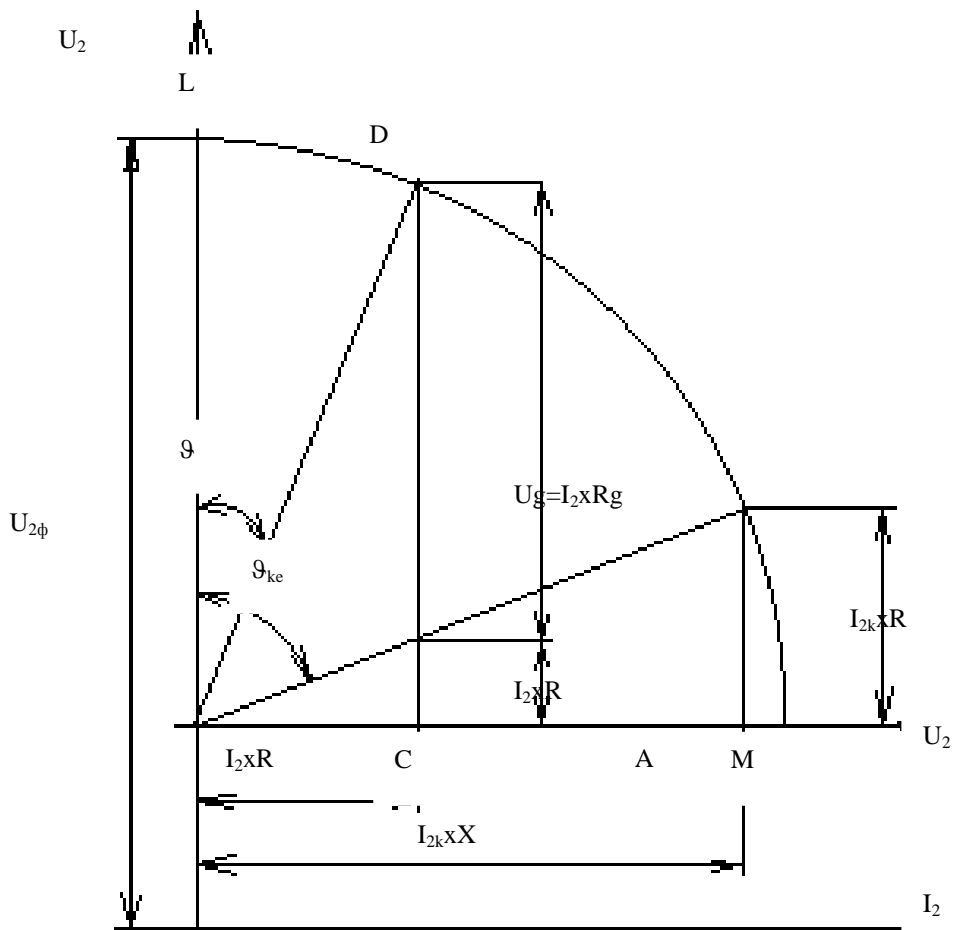


Рисунок 2.3

## 2.1 Расчет электрических характеристик ДСП

1. Мощность электрических потерь:

$$P_{эл} = 3I^2 \cdot r$$

2. Полная активная мощность дуги:

$$P_{акт} = 3I \cdot \sqrt{U_{2\phi}^2 - (I \cdot x)^2}$$

3. Мощность дуги:

$$P_{д} = 3I \cdot \sqrt{U_{2\phi}^2 - (I \cdot x)^2} - I \cdot r$$

4. Электрический КПД:

$$\eta_{эл} = \frac{P_{д}}{P_{акт}}$$

5. Напряжение на дуге:

$$U_d = \frac{P_d}{3I}$$

6. Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{I \cdot x}{U_{2\phi}}\right)^2}$$

Все расчеты по формулам сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

I, кА	P <sub>эл</sub> , кВт	P <sub>акт</sub> , кВт	P <sub>д</sub> , кВт	η <sub>эл</sub>	U <sub>д</sub> , В	cos φ
5	58,5	4158,42	4099,92	0,99	273,33	1,00
10	234	8247,00	8013,00	0,97	267,10	0,99
15	526,5	12193,89	11667,39	0,96	259,28	0,97
20	936	15922,98	14986,98	0,94	249,78	0,95
25	1462,5	19351,13	17888,63	0,92	238,52	0,93
30	2106	22384,21	20278,21	0,91	225,31	0,89
35	2866,5	24911,34	22044,84	0,88	209,95	0,85
40	3744	26795,40	23051,40	0,86	192,09	0,80
45	4738,5	27855,94	23117,44	0,83	171,24	0,74
50	5850	27835,00	21985,00	0,79	146,57	0,67
55	7078,5	26315,67	19237,17	0,73	116,59	0,57
60	8424	22468,61	14044,61	0,63	78,03	0,45
65	9886,5	13607,02	3720,52	0,27	19,08	0,25

Электрические характеристики приведены на рисунке 2.4.

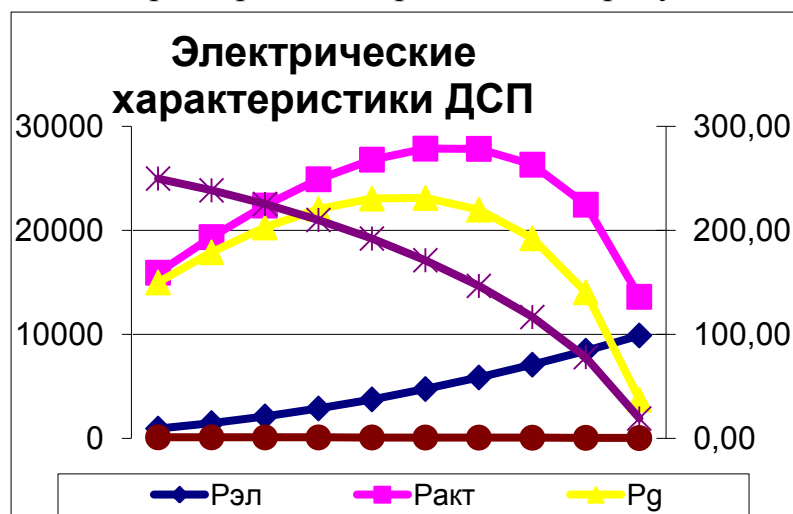


Рисунок 2.4

## 2.2 Расчет рабочих характеристик ДСП

Электрических характеристик дуговой печи недостаточно для определения оптимального режима печи. ДСП - это технологический агрегат, характеризуемый удельным расходом электроэнергии и производительностью. Режим с минимальным удельным расходом электроэнергии не совпадает с режимом максимальной производительности. Для того чтобы выяснить связь между этими режимами, необходимо построить рабочие характеристики печи:

Ее активная и полезная мощности, мощность электрических потерь, электрический к.п.д. и коэффициент мощности в функции от тока.

В периоды окисления и восстановления тепловой и электрический режимы, определяются технологическим процессом, поэтому понятие оптимального режима работы печи (режима максимальной производительности или режима минимального удельного расхода электроэнергии) применимо в основном к периоду расплавления, именно для этого периода имеет строить рабочие характеристики печи. В этом случае максимальная производительность печи, удельный расход электроэнергии, время плавления 1 т стали и полный к.п.д., печи характеризуют соответствующие показатели за период расплавления. Для определения этих показателей могут быть использованы следующие выражения.

1. Удельная производительность печи:

$$q = \frac{P_d - 10\%P_{тп}}{340},$$

где 340 кВт ч/т - теоретическое количество электроэнергии, необходимое для расплавления 1 тонны стали с учетом тепла, аккумулированного кладкой печи в период рафинирования и переданного частично шихте;

$P_{тп}=18730$  кВт – мощность тепловых потерь печи, ее значение принято не зависящим от рабочего тока печи.

2. Время расплавления:

$$t = \frac{1}{q}$$

3. Удельный расход электроэнергии за плавку:

$$W_{уд} = \frac{P_{акт}}{q}$$

4. Полный коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{340}{W_{\text{yd}}}$$

Все расчеты по формулам сводим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

I, кА	q, т/ч	t, ч/т	W, кВт ч/т	η
5	6,55	0,15	634,92	0,54
10	18,06	0,06	456,68	0,74
15	28,81	0,03	423,30	0,80
20	38,57	0,03	412,83	0,82
25	47,10	0,02	410,81	0,83
30	54,13	0,02	413,51	0,82
35	59,33	0,02	419,89	0,81
40	62,29	0,02	430,18	0,79
45	62,48	0,02	445,81	0,76
50	59,15	0,02	470,56	0,72
55	51,07	0,02	515,28	0,66
60	35,80	0,03	627,64	0,54
65	5,43	0,18	2504,22	0,14

Рабочие характеристики приведены на рисунке 2.5.

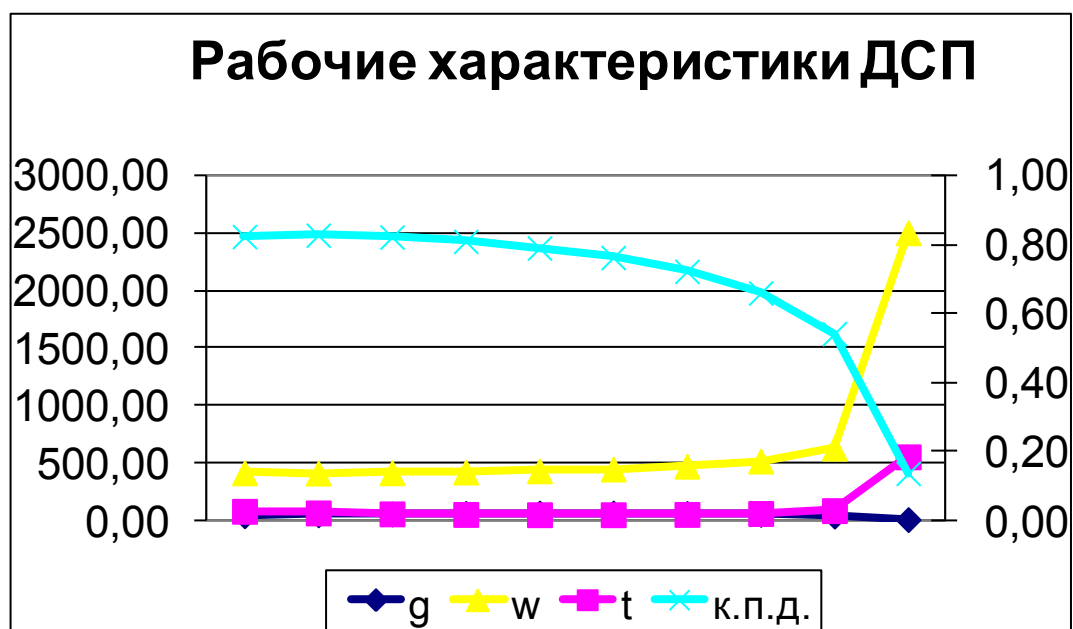


Рисунок 2.5



Возможные пределы рабочих режимов печи хуже, чем электрические; печь может работать лишь тогда, когда ее активная мощность не меньше, чем сумма ее тепловых и электрических потерь, что соответствует токам  $I_A$  и  $I_B$ . Кривая удельного расхода электроэнергии  $W$  имеет минимум при токе  $I' = 25$  кА, этому же току соответствует максимум кривой полного к.п.д. печи, следовательно, ток  $I'$  определяет оптимальный энергетический режим.

Кривая производительности печи  $q$  достигает максимума при токе  $I'' = 45$  кА, который соответствует максимуму мощности дуг. Этому же току соответствует минимум кривой удельного времени расплавления  $t$ ; следовательно,  $I''$  определяет режим максимальной производительности. Эти режимы не соответствуют друг другу. Оптимальный энергетический режим наступает при токе, меньшем, чем ток, который соответствует максимальной производительности.

Выводы по результатам работы:

Если предприятие работает в условиях дефицита электроэнергии, то решающим фактором является оптимальный энергетический режим минимального удельного расхода электроэнергии  $I'$ , а если завод работает при дефиците продуктов (стали) производства, то необходимо устанавливать оптимальный режим, соответствующий максимальной производительности продукции  $I''$ .

Следовательно, рабочие характеристики дуговой печи, включающие как электрические, так и технологические характеристики, позволяют выбрать целесообразный электрический режим работы электропечной установки в процессе плавки.

### **3 Безопасность жизнедеятельности**

#### **3.1 Анализ условий труда**

Рассмотрим условия труда на заводе электросталей. В состав производственных цехов завода входят следующие цеха: ремонтно-механический, кузнечно-прессовый, цеха сталеплавильных печей, прокатный цех, столярный цех, компрессорная, склад, заводоуправление. Каждое из этих производственных помещений должно придерживаться санитарным нормам. В некоторых помещениях имеются станки, которые создают вибрацию, шум и выделение вредных веществ, которые могут быть вредны для работающего персонала.

**Производственное освещение.**

Большое внимание на производстве уделяется освещению. В каждом помещении используют два вида освещения – естественное и искусственное. При недостаточности естественного освещения используется совмещенное освещение. Последнее представляет собой освещение, при котором в светлое время суток используется одновременно естественный и искусственный свет.

Естественное освещение помещений осуществляется боковым светом – через световые проемы в наружных стенах или через прозрачные части стен; верхним – через световые проемы, устанавливаемые в покрытии; комбинированным – через световые проемы в покрытии и стенах.

**Искусственное освещение**

Предназначено для освещения рабочих поверхностей в темное время суток или при недостаточном естественном освещении. Создается оно искусственными источниками света (лампами накаливания или газоразрядными лампами) и подразделяются на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

**Метеорологические условия на производстве или микроклимат**

Определяется следующими параметрами: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, подвижность воздуха, тепловое излучение.

Оптимальный микроклимат в помещениях обеспечивает поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой.

**Производственный шум.**

Шум в цехах создается многочисленными и разнообразными источниками, к главным из которых можно отнести, например станки, которые производят много шума, техническое оборудование промышленных предприятий, вентиляционные, компрессорные установки. Шум, создаваемый в электроремонтном цехе технологическими установками не превышает предельно допустимых спектров.

В цехах для рабочих, работающих у вертикально-сверлильного станка, у токарно-винторезного в качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину. Рабочие

поперечно-строгального станка и заточного станка применяют в качестве защиты от шума, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

#### Вибрация

В зависимости от способа передачи вибрации телу человека различают локальную (местную) вибрацию, передающуюся через руки человека, и общую, передающуюся на тело сидящего или стоящего человека через опорные поверхности человека. В реальных условиях часто имеет место сочетание этих вибраций.

#### Обеспечение вибробезопасных условий труда.

Большое внимание уделяется вибробезопасным условиям труда, при которых производственная вибрация не оказывает на работающих неблагоприятного воздействия, в крайних своих проявлениях приводящего к профессиональному заболеванию. Вибробезопасные условия труда обеспечиваются применением рациональных режимов труда и отдыха. Например, 8 часовой рабочий день, ежегодный обязательный отпуск.

Радикальным направлением борьбы, как с вибрацией, так и с шумом является исключение шумных и виброопасных технологических процессов. Например, клепку заменяют сваркой, штамповку – прессованием и другое.

Оператор в качестве защиты применяет виброзащитную спецобувь. Средства индивидуальной виброзащиты по месту контакта оператора с вибрирующим объектом подразделяются на для рук, ног и тела оператора.

#### Вентиляция

Это организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного вредными газами, парами, а также улучшающий метеорологические условия в цехах. По способу подачи в помещение свежего воздуха и удаления загрязненного, системы вентиляции делят на естественную, механическую и смешанную.

Ряд производственных процессов сопровождается значительным выделением пыли. Вредность воздействия зависит от количества вдыхаемой пыли, от степени ее дисперсности, от формы пылинок и от ее химического состава. Так же воздух промышленных помещений может оказаться насыщенным примесями вредных газов или паров, выделяющихся при производственных процессах.

Защита от вредных газо-, паро- и пылевыведений предусматривает устройство местной вытяжной вентиляции для отсоса ядовитых веществ непосредственно от мест их образования. Благодаря рационально спроектированной и правильно эксплуатируемой вентиляционной системе способствует улучшению самочувствия рабочих и повышению производительности труда.

#### Электромагнитное излучение

В некоторых цехах имеются электротермические установки, в которых применяются токи радиочастот. Эти частоты создают электромагнитные поля, которые ухудшают самочувствие человека. Среди технических мер защиты от

воздействия излучений наиболее широко распространен метод защиты расстоянием, т. е. организацией защитных зон, обеспечивающих безопасное нахождение за их пределами обслуживающего персонала и населения.

К основным методам защиты от электромагнитных полей относятся: защита временем и расстоянием; ослабление мощности излучения электромагнитных полей, если своевременно устранять места излучения в волноводах и фидерах, а также уменьшать отраженную волну за счет согласования нагрузок; за счет правильного выбора режима работы оборудования и персонала позволяет уменьшить время пребывания человека в зоне действия электромагнитных полей; использование дистанционного управления оборудованием позволяет персоналу выполнять свои функции, находясь вне зоны действия электромагнитных полей; установкой на пути движения электромагнитных полей между источником его и рабочим местом отражающего или поглощающего экрана; а также применением индивидуальных средств защиты.

#### Электробезопасность

В каждом помещении имеется энергооборудование, от которого можно получить электротравму. Характерные виды местных электротравм – электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения. Для того, чтобы предотвратить получения электротравм применяются следующие мероприятия: защитное заземление; зануление; защитное отключение.

### 3.2 Разработка производственного освещения энергоцеха

Для естественного освещения служат оконные проемы. Для этого мы рассчитаем размеры проемов естественного освещения.

Исходные данные: цех имеет размеры: длина  $L=36$  м, ширина здания  $B=30$  м, высота  $H_{зд}=12$  м. Высота рабочей поверхности над уровнем пола  $h_p=0,8$  м, окна начинаются с высоты 2 м, высота окон-6 м.

С двух других сторон цеха находятся затеняющие здания, поэтому мы применяем комбинированное освещение. С той стороны, где цех закрыт зданием другого цеха мы применяем верхнее освещение фонарями. В другой половине помещения мы используем боковое освещение. Сначала рассчитаем боковое освещение. В цехе расположены станки на расстоянии 1,2- м от наружной стены, где проектируем оконные проемы. Минимальная освещенность будет в точке, отстоящей на 28,8 м от наружной стены. Общую площадь окон определяем по формуле:

$$S_o = \frac{S_{п} \times e_n \times \eta_o \times K_{зд} \times K_3}{100 \times \tau_o \times r_1} \quad (3.1)$$

Определим значения всех составляющих

$$S_{\text{п}} = B \times L = 15 \times 36 = 540 \text{ м}^2;$$

$$e_{\text{н}}^4 = e_{\text{н}}^3 \times m \times c; m = 0,9; c = 0,8,$$

где  $m$ -коэффициент светового климата,

$c$  - коэффициент солнечного климата;

$$e_{\text{н}}^3 = 1,5 \text{ (для работ средней точности)}; e_{\text{н}}^4 = 1,5 \times 0,9 \times 0,8 = 1,08$$

Определяем  $\eta_0$ . Отношение длины к глубине (т. е. наиболее удаленной точки от окна) =  $\frac{36}{14,8} = 2,43$

Отношение  $\frac{B}{h_1} = \frac{15}{2,8} = 5,36$ , где  $h_1 = 0,8 + 2 = 2,8$  м, т. к. окна начинаются с

высоты 2 м. Отсюда  $\eta_0 = 29$ .

В качестве светопропускающего материала используем стекло оконное листовое, вид несущих покрытий-железобетонные фермы. Принимаем значения коэффициентов светопропускания:  $\tau_1 = 0,8; \tau_2 = 0,6; \tau_3 = 0,8$ ;

$$\tau_0 = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 = 0,8 \times 0,6 \times 0,8 = 0,31$$

Средний коэффициент отражения в цехе  $\rho_{\text{ср}} = 0,5$ , принимаем одностороннее боковое освещение.

Определяем значение  $r_1$ :  $\frac{B}{h_1} = 5,36$ ;  $\frac{L}{B} = \frac{14,8}{30} = 0,987$ ; принимаем  $r_1 = 10$

Коэффициент запаса принимаем  $K_3 = 1,4$ .

$$S_o = \frac{540 \times 1,08 \times 13,5 \times 1 \times 1,4}{100 \times 0,31 \times 10} \approx 35,56 \text{ м}^2.$$

Высота оконных проемов 6 м, то, следовательно, длина их составит  $\frac{35,56}{6} = 5,93$  м.

Рассчитаем площадь световых фонарей, обеспечивающих нормируемую освещенность для данного цеха. Предусматриваем верхнее освещение прямоугольными фонарями, количество пролетов – 4, ширина пролета-10 м.

Площадь световых фонарей определяется по формуле:

$$S_o = \frac{S_{\text{п}} \times e_{\text{н}} \times \eta_{\text{ф}} \times K_3}{100 \times \tau_o \times r_2 \times K_{\text{ф}}} \quad (3.2)$$

Площадь помещения  $S_{\text{п}} = B \times L = 15 \times 36 = 540 \text{ м}^2$

$$e_{\text{н}}^4 = e_{\text{н}}^3 \times m \times c; m = 0,9; c = 0,9$$

где  $m$ -коэффициент светового климата,

$c$ - коэффициент солнечного климата;  $e_{\text{н}}^3 = 1,2$  (для работ средней точности) ;

$$e_{\text{н}}^4 = 1,2 \times 0,9 \times 0,9 = 0,972$$

Значение световой характеристики фонаря определяем, зная, что отношение  $L/l_1 = 36/5 = 7,2$ ,  $H/l_1 = 12/5 = 2,4$

Отсюда  $\eta_{\text{ф}} = 6,9$ .

Коэффициент запаса  $K_3 = 1,8$ .

В качестве светопропускающего материала для прямоугольных фонарей используем органическое стекло, переплеты стальные, одинарные, открывающиеся, несущие покрытия стальные фермы. Принимаем значения коэффициентов светопропускания:  $\tau_1 = 0,9$ ;  $\tau_2 = 0,75$ ;  $\tau_3 = 0,9$ ;

$$\tau_o = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 = 0,9 \times 0,75 \times 0,9 = 0,61$$

Для определения  $r_2$  рассчитаем отношение  $H_{\text{ф}}/l_1 = 11/14,8 = 0,743$

Коэффициент отражения в цехе  $\rho_{\text{ср}} = 0,5$ , тогда  $r_2 = 1,15$

Определяем коэффициент  $K_{\text{ф}} = 1,2$

$$S_o = \frac{540 \times 0,972 \times 6,9 \times 1,8}{100 \times 0,61 \times 1,15 \times 1,2} = 77,44 \text{ м}^2$$

Так как ширина фонарей по 5 м, то принимаем площадь четырех световых прямоугольных фонарей по  $19 \text{ м}^2$  ( $3,8 \times 5 \text{ м}$ )

### 3.3 Разработка зануления энергоцеха

Основной мерой защиты от поражения электрическим током в сетях напряжением до 1000 В является зануление.

К частям подлежащим занулению, относятся корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, выключателей светильников и т.п.; приводы электрических аппаратов: вторичные обмотки измерительных

трансформаторов, металлических конструкций распределительных устройств, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, контрольных и наладочных стендов, корпуса передвижных и переносных электроприемников, а также электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток короткого замыкания превышающий не менее чем в три раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя, а для автоматического выключателя с номинальным током более 100А – не менее 1,25.

Расчет зануления.

Принципиальная схема зануления приведена на рисунке 3.1. На схеме видно что ток короткого замыкания  $I_{кз}$  в фазном проводе зависит от фазного напряжения сети  $U_{\phi}$  и полное сопротивление цепи, складывающегося из полных сопротивлений обмотки трансформатора  $Z_T/3$ , фазного проводника  $Z_{\phi}$ , нулевого защитного проводника  $Z_n$ , внешнего индуктивного сопротивления петли фаза – ноль  $X_n$ , и заземления нейтрали трансформатора  $R_0$  (рисунок 3.1).

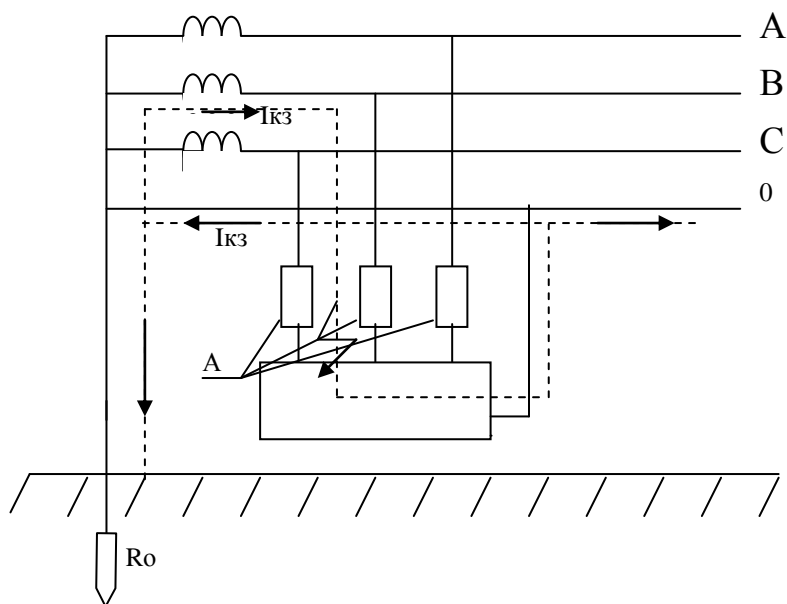


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема сети переменного тока с занулением  
 А- аппарат защиты (предохранитель или автоматический выключатель);  
 $R_0$ - заземление нейтрали.

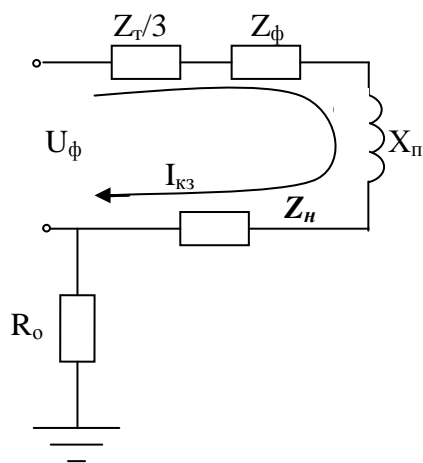


Рисунок 3.2 – Полная расчетная схема соединения зануления

Поскольку  $R_0$  и  $R_{\pi}$ , как правило, велики по сравнению с другими элементами цепи, параллельная ветвь, образованная ими создает незначительное увеличение тока короткого замыкания, что позволяет пренебречь им. В то же время такое допущение ужесточает требования к занулению и значительно упрощает расчетную схему, представленную на рисунке 3.3.

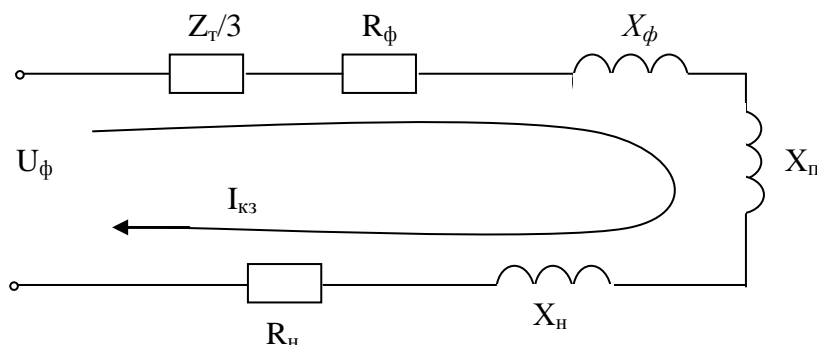


Рисунок 3.3 – Упрощенная схема зануления

В этом случае выражение короткого замыкания  $I_{кз}$  (А) в комплексной форме будет:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_{\text{м}} / 3 + Z_{\phi} + Z_{\text{н}} + jX_{\text{н}}), \quad (3.3)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение сети, В

$Z_{\text{т}}$  – комплекс полного сопротивления обмоток трехфазного источника тока (трансформатора), Ом

$Z_{\phi} = R_{\phi} + jX_{\phi}$  – комплекс полного сопротивления фазного провода, Ом

$Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} + jX_{\text{н}}$  – комплекс полного сопротивления нулевого защитного проводника, Ом

$R_{\phi}$  и  $R_{\text{н}}$  – активное сопротивление фазного и нулевого защитного проводников, Ом



$X_{\phi}$  и  $X_n$  – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводников, Ом

$X_{\pi}$  – внешнее индуктивное сопротивление контура (петли) фазный проводник – нулевой защитный проводник (петля – фаза – нуль), Ом

$Z_{\pi} = Z_{\phi} + Z_n + jX_{\pi}$  – комплекс полного сопротивления петли фаза – нуль, Ом

С учетом последнего:

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_M / 3 + Z_{\pi}) \quad (3.4)$$

При расчете зануления принято применять допущения, при котором для вычисления действительного значения (модуля) тока короткого замыкания  $I_{кз}$  модули сопротивления обмоток трансформатора и петли фаза – нуль  $Z_T/3$  и  $Z_{\pi}$  складываются арифметически. Это допущение также ужесточает требования безопасности и поэтому считается допустимым, хотя и вносит некоторую неточность (5%).

Полное сопротивление петли фаза – нуль в действительной форме определяется из выражения:

$$Z_{\pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_{\pi})^2}, \text{ Ом}$$

Формула для проверочного расчета определяется из и с учетом коэффициента кратности  $K$  тока короткого замыкания определяемого требованиями к занулению:

$$K \cdot I_n \leq U_{\phi} / (Z_T/3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_{\pi})^2})$$

Значение коэффициента  $K$  принимается равным  $K \geq 3$  в случае если электроустановка защищается предохранителями и автоматическими выключателями имеющими обратозависимую характеристику от тока. В случае если электроустановка защищается автоматическим выключателем имеющим только электромагнитный расцепитель (отсечку), то для автоматов с  $I_n$  до 100 А,  $K = 1,4$ , а для автоматов с  $I_n > 100$  А,  $K = 1,25$ .

Значение полного сопротивления масляного трансформатора во многом определяется его мощностью, напряжением первичной обмотки, конструкцией трансформатора.

Расчет зануления энергоцеха.

1. Исходные данные:

напряжение сети – 0,38 кВ;

мощность трансформатора – 1600 кВА;

мощность наиболее удаленного электроприемника (брикетировочный пресс)  $P = 30$  кВт;

длина кабеля от ТП до ШР-2,  $L_1 = 55$  м;

длина провода от ШР-2 до станка,  $L_2 = 8$  м.

2. Схема замещения приведена на рисунке 3.4.

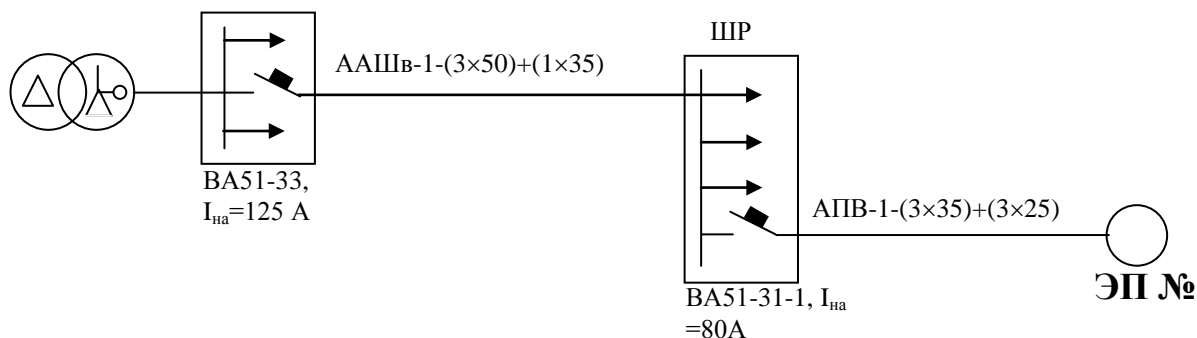


Рисунок 3.4

3. Определение токов нагрузки и выбор аппаратов защиты:

$$I_{\text{дв}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,8} = 57 \text{ A}$$

$$I_{\text{прв}} = \frac{K_n \times I_{\text{дв}}}{K_m} = \frac{57 \times 3,5}{1,6} = 124,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{нпв}} = 80 \text{ A}; \quad I_{\text{на}} = 80 \text{ A}.$$

4. Определение полных сопротивлений элементов цепи:

а) сопротивление трансформатора для группы соединения Д/У<sub>0</sub> – 11  
 $Z_{\text{T}} = 0,027 \text{ Ом}$ .

б) сопротивление кабеля, при сечении фазной жилы 50 мм<sup>2</sup> и нулевой 35 мм<sup>2</sup>  $Z_{\text{пфо}} = 1,8 \text{ Ом/км}$ .

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{пфо}} \times L_1 = 1,8 \times 0,055 = 0,099 \text{ Ом};$$

в) сопротивление провода при сечении фазной жилы 35 мм<sup>2</sup> и нулевой 25 мм<sup>2</sup>  $Z_{\text{пфо}} = 2,54 \text{ Ом/км}$

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{пфо}} \times L_2 = 2,54 \times 0,008 = 0,02 \text{ Ом}$$

5. Определение тока КЗ:

$$I_{\text{к1}} = \frac{220}{\frac{0,027}{3} + 0,099} = 2,03 \text{ кА}$$

$$I_{\text{к2}} = \frac{220}{\frac{0,027}{3} + 0,099 + 0,02} = 1,71 \text{ кА}$$

6. Определение кратности тока

$$\frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{на}}} = \frac{2030}{125} = 8,48 \text{ кА}$$

$$\frac{I_{кз}}{I_{инв}} = \frac{1710}{80} = 21,3$$

условие  $I_{кз} \geq I_n \times K$ , где  $K_a = 1,25$ ;  $K_{пв} = 3$ , то  $2030 \text{ А} > 125 \times 1,25 = 156 \text{ А}$  и  $850 \text{ А} > 1,25 \times 80 = 100 \text{ А}$

7. Определение времени срабатывания аппарата защиты: плавкой вставки определяется по защитной характеристике плавкой вставки, а для автомата принимается из справочника. Время отключения автоматического выключателя – 0,2 секунды.

Потенциал корпуса поврежденного оборудования:

$$U_{к1} = I_{кз} \times Z_{н1} = 2,03 \times 0,044 = 89,3 \text{ В},$$

где  $Z_{н1}$  – сопротивление нулевой жилы кабеля,

$Z_{н1} = R_{н1}$ , так как величина внутреннего индуктивного сопротивления  $X_{н1}$  алюминиевого проводника сравнительно мала (около 0,0156 Ом/км).

$$R_{н1} = \frac{\rho \times L}{S} = \frac{0,028 \times 55}{35} = 0,044 \text{ Ом},$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление алюминиевой жилы принимается равной 0,028 Ом×мм<sup>2</sup>/м;

$S$  – сечение жилы, мм<sup>2</sup>;

$L$  – длина проводника, м.

$$U_{к2} = I_{кз} \times Z_{н2} = 1,71 \times 0,008 = 13,6 \text{ В}$$

где  $Z_{н2}$  – сопротивление нулевого провода,  $Z_{н2} = R_{н2}$

$$R_{н2} = \frac{\rho \times L}{S} = \frac{0,028 \times 8}{25} = 0,008 \text{ Ом},$$

Ток, проходящий через тело человека, равен:

$$I_{h1} = \frac{U_{к1}}{R_h} = \frac{89,3}{1000} = 89,3 \text{ мА},$$

$$I_{h2} = \frac{U_{к2}}{R_h} = \frac{13,6}{1000} = 13,6 \text{ мА}.$$

Согласно ПУЭ такие величины тока являются допустимыми при времени воздействия 0,2 секунды, т.е. время срабатывания автоматического выключателя не превышает допустимых величин.

Т.е. при возникновении короткого замыкания прибор защиты (автоматический выключатель) успеет отключить электроприемник от сети.

Допустимый ток прохождения через тело человека не должен превышать 100 мА, в нашем случае этот ток не выходит за пределы.

## **4 Экономическая часть**

### **Оценка эффективности схемы внешнего электроснабжения завода электросталей**

#### **4.1 Цели разработки проекта**

Цель разработки проекта: строительство подстанции 110/10 кВ и прилегающих к ней сетей 110 и 10 кВ.

Строящаяся подстанция предназначена для реализации электроэнергии заводу электросталей данного района со стороны 10 кВ.

Проектируемую подстанцию и прилегающие к ней сети предполагается разместить вне населенных пунктов в равнинной местности. Сооружение ЛЭП 110 и 10 кВ предполагается с использованием железобетонных опор.

Для строительства ГПП создается АО «Электромонтаж», для передачи электроэнергии по тарифу 14 тенге кВт/час, чтобы создать конкуренцию на розничном рынке по передаче электроэнергии.

Целью создания АО – является питание завода, а также получение прибыли от передачи электроэнергии с шин подстанции до завода и расчет срока окупаемости

Тарифы на электроэнергию.

Так как АО «Электромонтаж» занимается энергообеспечением, поэтому оценка результатов производственной деятельности образуется от покупки с целью перепродажи передаваемой электроэнергии на объект через торговую систему на рынке электроэнергии.

Для расчета примем тариф  $T=12,2$  тенге за 1 кВт ч.

#### **4.2 План производства**

Организационный план.

Организационная структура управления АО будет такой же, как и в других сетях компаниях.

На п/ст и прилегающих к ней сетях устанавливается современное высокоавтоматизированное оборудование, что обеспечивает высокий уровень надежности электроснабжения.

Ремонт будет осуществляться с помощью персонала специализированных ремонтных организаций.

Юридический план.

АО «Электромонтаж» занимается покупкой и продажей электроэнергии. Особо сложные ремонтные работы выполняются с привлечением персонала специализированных ремонтных организаций.

Для осуществления строительства и эксплуатации рассматриваемого энергообъекта создается Акционерное общество с привлечением средств за счет заемного капитала потенциальных инвесторов.

Экологическая информация.

Экологическая ситуация в районе была уже предусмотрена при проектировании трансформаторного завода.

### 4.3 Расчет технико-экономических показателей подстанции

Определение капитальных вложений в строительство подстанции.

Капиталовложения в подстанцию определяются по приведенным в справочнике укрупненным показателям стоимости суммированием следующих составляющих

- РУ 110 и 10 кВ;
- трансформаторы ТРДН-40000-110/10;
- постоянная часть затрат.

Капитальные затраты на сооружение подстанции определяются составом оборудования и включают в себя капиталовложения в РУ 110 кВ; капиталовложения в РУ 10 кВ; капиталовложения в трансформаторы; капиталовложения на постоянные затраты.

$$K_{П/СТ} = \sum K_i + K_{пост}, \text{ млн.тенге,}$$

где  $\sum K_i$  - расчетные стоимости выбранного оборудования;

$K_{пост}$  - постоянная часть затрат по подстанции, включающая в себя строительно-монтажные и пусконаладочные работы.

Капитальные затраты на выбранное оборудование:

Капитальные затраты на трансформатор ГПП

$$K_{тр.ГПП} = N \cdot K_{тр} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ млн.тенге}$$

где  $N = 2$  шт. - количество трансформаторов

$K_{тр} = 80$  млн. тенге - стоимость трансформатора

Капитальные затраты на выключатели

$$K_{B1-B4} = N \cdot K_B = 4 \cdot 20 = 80 \text{ млн.тенге}$$

где  $K_B = 20$  млн. тенге - стоимость одного выключателя  
 $N = 4$  шт. - количество выключателей

Капитальные затраты на разъединители

$$K_{P1-P4} = N \cdot K_p = 4 \cdot 5 = 20 \text{ млн.тенге}$$

где  $K_p = 5$  млн. тенге - стоимость одного разъединителя  
 $N = 4$  шт. - количество разъединителей

Капитальные затраты на ограничители перенапряжения

$$K_{ОПН} = N \cdot K_{ОПН} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ млн.тенге}$$

где  $K_p = 2$  млн. тенге - стоимость одного ОПН  
 $N = 4$  шт. - количество ОПН

Суммарные капитальные затраты на выбранное оборудование

$$\sum K_i = 160 + 80 + 20 + 8 = 268 \text{ млн. тенге}$$

Определим капитальные вложения на строительные работы подстанций

$$K_{\text{пост}} = 0,35 \sum K_i = 0,35 \cdot 268 = 93,8 \text{ млн. тенге}$$

Определим капитальные вложения на монтажные и пуско-наладочные работы подстанций

$$K_M = 0,07 \cdot 268 = 18,76 \text{ млн. тенге}$$

Определим капитальные вложения на прочие затраты подстанций:

$$K_c = 0,05 \cdot 268 = 13,4 \text{ млн. тенге}$$

Капитальные затраты на ЛЭП

$$K_{\text{ЛЭП}} = l \cdot K_{\text{ЛЭП}} = 2 \cdot 62,5 = 125 \text{ млн.тенге}$$

где  $K_{\text{ЛЭП}} = 25$  млн. тенге - стоимость 1 км (с учетом строительных работ, оборудования)

$l = 2$  км – длина ЛЭП

Определим капитальные вложения на прочие затраты ЛЭП 110 кВ:

$$K_c = 0,08 * 125 = 10 \text{ млн. тенге}$$

Общие капитальные вложения в строительство энергообъекта составят

$$K_{\text{ЭС}} = K_{\text{П/СТ}} + K_{\text{ЛЭП}} = 268 + 93,8 + 18,76 + 13,4 + 125 + 10 = 528,96 \text{ млн. тенге}$$

#### 4.4 Себестоимость

Стоимость электроэнергии:

$T = 12,2$  тенге/кВтч – тариф за электроэнергию

АО «Электромонтаж» заключает договора по поставке электроэнергии со следующими поставщиками:

$T_{\text{гор.сети (РЭК)}} = 4$  тенге/кВтч – тариф за передачу электроэнергии городским сетям или РЭК;

$T_{\text{эпо}} = 7$  тенге/кВтч – тариф за электроэнергию, установленный энергопроизводящей организацией;

$T_{\text{НЭС}} = 1$  тенге/кВтч – тариф на услуги по передаче электроэнергии по национальным электрическим сетям.

АО «Электромонтаж» может получить прибыль по двум составляющим:

- а) услуга за передачу электроэнергии
- б) по виду деятельности (т.е. АО выступает в виде гарантированного поставщика электроэнергии предприятию)

а) Услуга за передачу электроэнергии

Затраты на амортизацию оборудования:

$$Z_{\text{ам}} = \sum K_{\text{п/ст, ЛЭП}} \times N_{\%} = 528,96 \times 0,04 = 21,158 \text{ млн. тенге}$$

где  $N_{\%} = 2 \div 4\%$  - норма амортизации

Затраты на амортизацию могут достигать до 45%, а 55% составят другие затраты.

Другие затраты  $Z_{\text{другие}}$ :

$Z_{\text{з/п}}$  – затраты на заработную плату персонала. Эти расходы складываются из оплаты труда производственного и административного персонала. Численность производственного персонала составляет 800 человек, средняя заработная плата = 90 тыс. тенге. Численность административного персонала составляет 80 человек средняя заработная плата = 120 тыс. тенге.

$$Z_{\text{з/п}} = (90000 \times 800 + 120000 \times 80) \times 12 = 979,2 \text{ млн. тенге}$$

$Z_{\text{экс}}$  – затраты эксплуатацию. В эту статью включаются затраты, связанные с техническим обслуживанием энергооборудования и транспорта, материалы, инструменты, приспособления основного и вспомогательного производств, материалы на обеспечение санитарно-гигиенических требований и техники безопасности, поддержание зданий в рабочем состоянии и принимаются в размере =160 млн. тенге.

$Z_{\text{хоз}}$  – затраты хозяйственные нужды. К хозяйственным нуждам относятся обогрев помещений, монтерских пунктов, освещение всех зданий, помещений предприятия, ремонтных баз и т.п. Данная статья складывается из объема затраченной на эти нужды электроэнергии (принимаем 150000 кВт ч) умноженной на тариф, по которому была куплена электроэнергия (принять 12,2 тенге/кВтч).

$$Z_{\text{хоз}}=0,15 \times 12,2= 1,83 \text{ млн. тенге}$$

$Z_{\text{рем}}$  – затраты на ремонт. Затраты по этой статье складываются путем суммирования локальных смет на капитальные и текущие ремонты и техобслуживание оборудования, нуждающегося в данном виде ремонта согласно графику. Общая сумма на ремонт составляет 160 млн. тенге.

$Z_{\text{стр}}$  – затраты на страхование от несчастных случаев. Страхование в РК обязательно – выбирается только вид страхования. На этом предприятии страхованию подлежит 85% численности производственного персонала. Страховой платеж составляет 8000 тенге в год на человека

$$Z_{\text{стр}}=(800 \times 85/100) \times 8000=5,44 \text{ млн. тенге}$$

$Z_{\text{ком}}$  – затраты на коммунальные услуги. В эту статью включены: стоимость холодной воды и канализации, вывоз мусора, тепловая энергия (принимаем 5 млн. тенге) и разносится между производственными затратами и расходами периода в соотношении 80/20.

$$Z_{\text{ком}}=80/20\%=4/1 \text{ млн.тенге}$$

Тогда суммарные затраты на передачу электроэнергии составят

$$\sum Z_{\text{передача}}= (16,08 \times 1)/0,45=35,733 \text{ млн. тенге}$$

Себестоимость передачи электроэнергии:

$$S = \frac{\sum Z_{\text{передача}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}} = \frac{21,158}{142,59} = 0,15 \text{ тенге/кВт*ч}$$



где  $\mathcal{E}_{\text{год}}=35648,4 \times 4000=142,59$  млн. кВт\* ч – годовое энергопотребление завода электросталей

АО «Электромонтаж» закладывает 10% рентабельности.

Тариф АО «Электромонтаж» будет равен  $0,15+0,015 = 0,165$  тенге/кВт·ч.

Прибыль АО «Электромонтаж» составит:

$$0,165 \times 142,59 = 23,527 \text{ млн. тенге}$$

Чистая прибыль за вычетом налога 20% составит:

$$\text{ЧПр} = 23,527 \times 0,8 = 18,821 \text{ млн. тенге}$$

б) Вид деятельности

Выручка от прогнозируемого объема передачи электроэнергии заводу электросталей АО «Электромонтаж» составит

$$V_{\text{АО «Электромонтаж»}} = T \times \mathcal{E}_{\text{год}} = 12,2 \times 142,59 = 1739,598 \text{ млн. тенге}$$

Из прогнозируемой выручки АО «Электромонтаж» произведет следующие выплаты:

- Выплаты городским сетям за передачу электроэнергии составят:

$$4 \times 142,598 = 570,392 \text{ млн. тенге}$$

- Выплаты национальным электрическим сетям составят:

$$1 \times 142,598 = 142,598 \text{ млн. тенге}$$

- Выплаты энергопроизводящим предприятиям составят:

$$6 \times 142,598 = 855,588 \text{ млн. тенге}$$

Остаток из прогнозируемой выручки за передачу электроэнергии составит:

$$\text{Пр} = 1739,598 - 570,392 - 142,598 - 855,588 = 171,02 \text{ млн. тенге}$$

Чистая прибыль за вычетом налога 20% составит:

$$\text{ЧПр} = \text{Пр}(1-0,2) = 171,02 \times 0,8 = 136,816 \text{ млн. тенге}$$

Общая прибыль:

$$Pr = 18,821 + 136,816 = 155,637 \text{ млн.тенге}$$

Срок окупаемости сооружаемой подстанции и ЛЭП для АО «Электромонтаж» составит:

$$PP = \frac{\sum K_{n/ст.,ЛЭП}}{Pr} = \frac{528,96}{155,637} = 3 \text{ года } 4 \text{ месяца.}$$

#### **4.5 Показатели финансово-экономической эффективности инвестиций**

В качестве основных показателей и критериев финансово-экономической эффективности инвестиций в условиях рыночных отношений используются

– простые показатели:

- простая норма прибыли - простая норма рентабельности инвестиций; сравнение расчетной величины с минимальным или средним уровнем доходности приводит к заключению о целесообразности дальнейшего анализа данного проекта;

- простой срок окупаемости капитальных вложений; представляет собой период времени, в течении которого сумма чистых доходов покрывает инвестиции, определяет период в течении которого объект будет работать на "себя", т.е. получаемый объем чистого дохода засчитывается как возврат первоначально инвестированного капитала;

- срок предельно-возможного полного возврата банковских кредитов и процентов по ним; определяет период в течении которого полностью возвращаются банковские ссуды за счет дохода от реализации продукции.

– интегральные показатели:

- чистый дисконтированный доход; расчет этого показателя производится дисконтированием чистого потока платежей; критерием финансовой эффективности инвестиций в сооружение объекта является условие:  $\Delta_d > 0$ , тогда доходность инвестиций превышает величину среднего норматива;

- внутренняя норма доходности; определяется значением нормы дисконтирования, при котором чистый дисконтированный доход становится равным нулю; критерием эффективности инвестиций в сооружение проектируемого объекта служит условие превышения внутренней нормы доходности над средней величиной норматива дисконтирования:  $E_{Вн} > E_{ср}$ ;

- срок окупаемости дисконтированных затрат; характеризует период, в течение которого полностью возмещаются дисконтированные капитальные вложения за счет чистого дохода, получаемого при эксплуатации объекта;

критерием экономической эффективности инвестиций в сооружение объекта служит выражение  $T_{ок} < T_p$ .

Показатель чистого приведенного дохода (Net Present Value, NPV) позволяет сопоставить величину капитальных вложений (Invested Capital, IC) с общей суммой чистых денежных поступлений, генерируемых ими в течение прогнозного периода, и характеризует современную величину эффекта от будущей реализации инвестиционного проекта. Поскольку приток денежных средств распределен во времени, он дисконтируется с помощью коэффициента  $r$ . Коэффициент  $r$  устанавливается, как правило, исходя из цены инвестированного капитала.

Чистая приведенная стоимость проекта является важнейшим критерием, по которому судят о целесообразности инвестирования в данный проект. Для определения чистого приведенного дохода необходимо спрогнозировать величину финансовых потоков в каждый год проекта, а затем привести их к общему знаменателю для возможности сравнения во времени. Чистая приведенная стоимость определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0,$$

где  $I_0$  – инвестиции в данный проект, млн. тг.,

$CF_t$  – поток наличности, млн. тг.,

$r$  – ставка дисконтирования,

$t$  – время реализации проекта, год.

Расчет ведется до первого положительного значения NPV, т.е. до 4-го года. NPV больше нуля, следовательно, при данной ставке дисконтирования проект является выгодным для предприятия, поскольку генерируемые им приток дохода превышают норму доходности в настоящий момент времени.

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

$$NPV = 0 \rightarrow npi \rightarrow IRR = r$$

Оценка ВНП (IRR) имеет следующие свойства:

- 1) не зависит от вида денежного потока;
- 2) нелинейная форма зависимости;
- 3) представляет собой убывающую функцию;
- 4) не обладает свойством аддитивности.

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.

Рассчитывается IRR для  $r = 10\%$  банковского процента.

$$1 \text{ год } PV = 155,637 \cdot 0,91 = 141,474 \text{ млн.тенге,}$$

$$NPV = -528,00 + 141,474 = -386,525 \text{ млн.тенге}$$

$$2 \text{ год } PV = 155,637 \cdot 0,83 = 128,556 \text{ млн.тенге,}$$

$$NPV = -386,525 + 141,086 = -257,969 \text{ млн.тенге}$$

$$3 \text{ год } PV = 155,637 \cdot 0,75 = 116,883 \text{ млн.тенге,}$$

$$NPV = -257,969 + 116,883 = -141,086 \text{ млн.тенге}$$

$$4 \text{ год } PV = 155,637 \cdot 0,68 = 106,3 \text{ млн.тенге,}$$

$$NPV = -141,086 + 106,3 = -34,786 \text{ млн.тенге}$$

$$5 \text{ год } PV = 155,637 \cdot 0,62 = 96,650 \text{ млн.тенге,}$$

$$NPV = -34,786 + 96,650 = 61,864 \text{ млн.тенге}$$

Метод расчёта внутренней нормы прибыли.

Внутренняя норма прибыли определяется как ставка процента, при которой величина инвестиций равна величине текущей ценности будущих денежных поступлений.

$$IRR = r_1 + (NPV_{r_1} / (NPV_{r_1} - NPV_{r_2})) \cdot (r_2 - r_1).$$

$$IRR = r_1 + f(r_1) / (f(r_1) - f(r_2)) \times (r_2 - r_1).$$

Вывод: IRR служит индикатором уровня риска по проекту, чем в большей степени IRR превышает принятый фирмой барьерный коэффициент, тем менее страшны ошибки денежных поступлений.

Из приведенных расчетов видно, что срок окупаемости инвестиций составит около 5 лет.

$$PV = -528,0 + 155,637 \cdot 0,91 + 155,637 \cdot 0,83 + 155,637 \cdot 0,75 + 155,637 \cdot 0,68 + 155,637 \cdot 0,62 = 61,864 \text{ млн.тенге}$$

Индекс рентабельности, PI, представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине инвестиционных затрат и рассчитывается по формуле:

$$PI = \left( \sum_{t=1}^n \frac{PV_t}{(1+r)^t} \right) / K_0$$

Если:  $PI > 1$ , то проект следует принять,  $PI < 1$ , то проект следует отклонить,  $PI = 1$ , то проект ни прибыльный, ни убыточный. Индекс рентабельности в отличие от чистого приведенного эффекта является относительным показателем. PI следует считать уже по времени расчета  $t$ , когда NPV положительный.

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{PV / (1+r)^t}{K_0} = \frac{424,342 / 0,39}{528,0} = 2,1.$$

Все значения рассчитываются аналогично и заносятся в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Определение NPV и IRR

Годы проекта	$I_0$ , тенге	$CF_t$ , тенге	$1/(1+k)^t$	PV, тенге	NPV, тенге
0	-528 000 000				
1		155 637 000	0,909	141 474 033	-386 525 967
2		155 637 000	0,826	128 556 162	-257 969 805
3		155 637 000	0,751	116 883 387	-141 086 418
4		155 637 000	0,683	106 300 071	-34 786 347
5		155 637 000	0,621	96 650 577	61 864 230
6		155 637 000	0,564	87 779 268	149 643 498
7		155 637 000	0,512	79 686 144	229 329 642
8		155 637 000	0,467	72 682 479	302 012 121
9		155 637 000	0,4	62 254 800	364 266 921
10		155 637 000	0,386	60 075 882	424 342 803
11		155 637 000	0,35	54 472 950	478 815 753
12		155 637 000	0,318	49 492 566	528 308 319
13		155 637 000	0,290	45 103 603	573 411 922
14		155 637 000	0,263	40 932 531	614 344 453
15		155 637 000	0,239	37 197 243	651 541 696
16		155 637 000	0,218	33 928 866	685 470 562
17		155 637 000	0,198	30 816 126	716 286 688
18		155 637 000	0,179	27 859 023	744 145 711
19		155 637 000	0,163	25 368 831	769 514 542
20		155 637 000	0,149	23 189 913	792 704 455
PV				<b>1 320 704 455</b>	
NPV				792 704 455	
PI				<b>2,5</b>	
IRR				<b>29,30%</b>	

Строительство можно считать экономически целесообразным, так как  $PI > 1$ , технико-экономическое обоснование строительства подстанции показало, что необходимые суммарные капиталовложения, составляют 528,0 млн. тенге, дисконтированная стоимость составляет 61,864 млн. тенге окупятся за 5 лет.

## Заключение

Данный дипломный проект посвящен проектированию электроснабжения завода электросталей. В работе были получены следующие основные результаты.

При заданном числе электроприемников и их мощности методом «упорядоченных диаграмм»: определена суммарная нагрузка по заводу напряжением 0,4 кВ:  $S_p=13070,3$  кВА. Выбрано 9 цеховых трансформаторов типа ТСЗ(Л)-1600/10. А так же произведена компенсация реактивной мощности на 0,4 кВ с помощью низковольтных батарей конденсаторов типа УК-0,4-300-150УЗ. Определена нагрузка по комбинату напряжением 10 кВ на шинах ГПП с учетом подключенных к шинам ГПП СД, ДСП, потерь в трансформаторах ТП:  $S_{p \text{ зав}}=51368$  кВА.

В проекте рассмотрены два варианта схем внешнего электроснабжения завода, на напряжение 110 и 10 кВ. И из них выбран наиболее рациональный с экономической и технической точки зрения, которым является первый вариант питания комбината, где электроэнергия передается по ЛЭП 110 кВ. Для этого варианта были выбраны трансформаторы ГПП типа ТРДН-40000/110 и воздушная линия марки АС-120.

Для принятого варианта выбрано следующее высоковольтное оборудование фирмы Siemens: вводные выключатели; секционный выключатель; выключатели нагрузки; выключатели отходящих линий, выключатели к СД, ДСП, а также силовые кабели к ним. Выбраны измерительные приборы, трансформаторы тока и напряжения. Был произведен выбор шин ГПП и изоляторов к ним.

В дипломном проекте так же был рассмотрены вопросы рационального режима работы ДСП. Построены электрические и рабочие характеристики ДСП.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» был составлен экологический паспорт предприятия. Был произведен расчет освещения и зануления цеха.

В экономической части дипломного проекта была произведена оценка эффективности схемы внешнего электроснабжения завода электросталей, в которой были посчитаны капитальные затраты на строительство ЛЭП и подстанции ГПП, которые составили 528 млн. тенге и был посчитан срок окупаемости, который составил 3,4 года.

## Список литературы

1. Бозжанова Р.Н., Живаева О.П. Сборник заданий. Методические указания к выполнению курсового проекта (часть 1,2) для студентов всех форм обучения специальности 050718 - Электроэнергетика - Алматы: АИЭС, 2005, 2006.
2. Живаева О.П., Тергеусизова М.А. Проектирование систем электроснабжения. Методические указания и задания к выполнению курсовой работы для студентов всех форм обучения специальности 050718 - Электроэнергетика - Алматы: АИЭС, 2009.
3. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. – М.: «Кнорус», 2011.
4. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. – М.: «Форум», 2010.
5. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – М.: «Форум-Инфра-М», 2010.
6. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. – СПб.: «Электросервис», 2010.
7. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. – М.: «ИД ФОРУМ-ИНФРА-М», 2010.
8. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: «Форум-Инфра-М», 2009.
9. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – М.: «Высшая школа», 2008.
10. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан. – Алматы, 2007.
11. Киреева Э.А. Современные комплектные трансформаторные подстанции и распределительные устройства напряжением 6(10) – 35/0,4 кВ. – М.: «НТФ Энергопрогресс, Энергетик», 2007.
12. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений. /Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005.
13. Киреева Э.А. Справочные материалы по электрооборудованию (цеховые электрические сети, электрические сети жилых и общественных зданий), 2004.
14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебник для проф. Учебных заведений. – М.: Высшая школа, 2001.
15. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев, Н.Н. Сердюк-М: «Высшая школа» 2002.
16. Экология и безопасность жизнедеятельности. Под редакцией доктора физ.-мат.наук, чл.-корр. РЭА, профессора Л.А.Муравья. Издательство Юнитидап, 2000.
17. Самсонов В.С., Вяткин М.А. Экономика предприятий энергетического комплекса: Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2003.

## Приложение А

Все расчеты были произведены с помощью программы Microsoft Excel.

Расчет осветительной нагрузки											
№ по плану	Наименование производственного помещения	Размеры помещения, м		Площадь, м <sup>2</sup>	P <sub>0</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	K <sub>с</sub>	P <sub>у.о.</sub> , кВт	P <sub>р.о.</sub> , кВт	cosφ	tgφ	Q <sub>р.о.</sub> , квар
		Длина	Ширина								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	Склад готовой продукции	75	18	1350	0,01	0,6	13,5	8,1	1	0,00	0,0
7	Склад вспомогательных материалов	60	18	1080	0,01	0,6	10,8	6,5	1	0,00	0,0
8	Цех сталеплавильных печей № 1	120	27	3240	0,018	0,8	58,3	46,7	0,9	0,48	22,6
9	Цех сталеплавильных печей № 2	105	27	2835	0,018	0,8	51,0	40,8	0,9	0,48	19,8
10	Прокатных цех	120	27	3240	0,015	0,8	48,6	38,9	0,9	0,48	18,8
11	Цех сталеплавильных печей № 3	100	33	3300	0,018	0,8	59,4	47,5	0,9	0,48	23,0
12	Столярный цех	42	21	882	0,016	0,8	14,1	11,3	0,9	0,48	5,5
13	Ремонтно-механический цех	42	21	882	0,016	0,8	14,1	11,3	0,9	0,48	5,5
14	Кузнечно-прессовый цех	51	21	1071	0,017	0,8	18,2	14,6	0,9	0,48	7,1
15	Энергоцех	51	21	1071	0,016	0,8	17,1	13,7	0,9	0,48	6,6
16	Склад оборудования	63	21	1323	0,01	0,6	13,2	7,9	1	0,00	0,0
17	Гараж	60	18	1080	0,013	0,7	14,0	9,8	0,9	0,48	4,8
18	Насосная	39	21	819	0,013	0,7	10,6	7,5	1	0,00	0,0
19	Заводоуправление	66	39	2574	0,02	0,9	51,5	46,3	0,9	0,48	22,4
20	Компрессорная	24	24	576	0,013	0,7	7,5	5,2	1	0,00	0,0
21	Освещение территории	500	300	124677	0,004	1	498,7	498,7	0,9	0,48	241,5

Рисунок А.1 - Расчет осветительной нагрузки

Расчет силовых нагрузок по цехам завода																												
№ по плану	Наименование цеха	Кол-во ЭП л	Установленная мощность			m	Ки	cosφ	tgφ	Сред. мощн.				Расчетные нагрузки														
			P <sub>мп</sub> , кВт	P <sub>max</sub> , кВт	Суммарная P <sub>н</sub> , кВт					P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар	П <sub>э</sub>	Км	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	Sp, кВА	I, А											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18											
6	Склад готовой продукции	25	1	20	200	>3	0,3	0,80	0,75	60	45,0	20	1,34	80,4	45,0													
7	а) силовая нагрузка																								8,10	0,00		
8	б) осветительная нагрузка																									88,5	45,0	99,3
9	ИТОГО																											
10	Склад вспомогательных материалов	5	1	20	60	>3	0,3	0,80	0,75	18	13,5	5	2	36,0	14,9													
11	а) силовая нагрузка																								6,48	0,00		
12	б) осветительная нагрузка																									42,5	14,9	45,0
13	ИТОГО																											
14	Цех сталеплавильных печей № 1	40	10	120	3700	>3	0,4	0,70	1,02	1480	1509,9	40	1,15	1702,0	1509,9													
15	а) силовая нагрузка																								46,66	22,60		
16	б) осветительная нагрузка																									1748,7	1532,5	2325,2
17	ИТОГО																											
18	Цех сталеплавильных печей № 2	45	10	90	2600	>3	0,4	0,70	1,02	1040	1061,0	45	1,17	1216,8	1061,0													
19	а) силовая нагрузка																								40,82	19,77		
20	б) осветительная нагрузка																									1257,6	1080,8	1658,2
21	ИТОГО																											
22	Прокатных цех	90	10	100	6000	>3	0,45	0,80	0,75	2700	2025,0	90	1,11	2997,0	2025,0													
23	а) силовая нагрузка																								38,88	18,83		
24	б) осветительная нагрузка																									3035,9	2043,8	3659,8
25	ИТОГО																											
26	Цех сталеплавильных печей № 3	45	10	100	4100	>3	0,4	0,70	1,02	1640	1673,1	45	1,17	1918,8	1673,1													
27	а) силовая нагрузка																								47,52	23,01		
28	б) осветительная нагрузка																									1966,3	1696,1	2596,8
29	ИТОГО																											
30	Столярный цех	55	1	45	450	>3	0,3	0,80	0,75	135	101,3	20	1,34	180,9	101,3													
31	а) силовая нагрузка																								11,29	5,47		
32	б) осветительная нагрузка																									192,2	106,7	219,8
33	ИТОГО																											

Рисунок А.2 - Расчет силовых нагрузок по цехам



Продолжение приложения А

Расчет электрических нагрузок по за

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование

Буфер обмена Вставить Шрифт Arial Cyr 10 Выравнивание Числовой Число

F20  $f_x$  =КОРЕНЬ(D20^2+E20^2)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		<b>Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП</b>						
2		№ТП, S <sub>н.тр.</sub> , Q <sub>н.ек</sub>	№ цехов	P <sub>р0,4</sub> , кВт	Q <sub>р0,4</sub> , квар	S <sub>р0,4</sub> , кВА	Кз	
3		1	2	3	4	5	6	
4		ТП1 (3x1600 кВА)	1	88,5	45,0			
5		ТП2 (1x1600 кВА)	2	42,5	14,9			
6		ΣS <sub>н</sub> =4800 кВА	3	1748,7	1532,5			
7			4	1257,6	1080,8			
8		Q <sub>н.ек</sub> =3x300 квар			-900,0			
9				3137,3	1773,1	3603,7	0,75	3
10		ТП3 (3x1600 кВА)	6	1966,3	1696,1			
11		ТП4 (1x1600 кВА)	7	192,2	106,7			
12		ΣS <sub>н</sub> =4800 кВА	8	0,0	94,2			
13			11	109,6	22,3			
14			12	11,3	39,4			
15			13	120,9	336,7			
16			14	0,0	80,6			
17			15	239,2	202,0			
18			осв.тер.	498,7	241,5			
19		Q <sub>н.ек</sub> =3x300 квар			-900,0			
20				3138,3	1919,6	3678,8	0,77	3
21		ТП5 (3x1600 кВА)	5	3035,9	2043,8			
22		ТП6 (1x1600 кВА)	9	312,2	251,9			
23		ΣS <sub>н</sub> =4800 кВА	10	190,1	105,6			
24		Q <sub>н.ек</sub> =3x300 квар			-900,0			
25				3538,2	1501,4	3843,5	0,80	3

Рисунок А.3 – Распределение электрических нагрузок по ТП