

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 5B071800 - Электроэнергетика

Выполнил (а) Мухомбетов Жусупбек Мурзабаевич Эн-10-1  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Жадаев В.Б. к.т.н. доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Валиева А.Ш. к.т.н. доцент

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« 10 » июня 2014 г.

(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Саганда Т.С. к.т.н. доцент

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« 10 » июня 2014 г.

(подпись)

по применению вычислительной техники:

Жадаев В.Б. к.т.н. доцент

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

(подпись)

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

(подпись)

Нормоконтролер: Жибоева О.П. ст. преподаватель

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

(подпись)

Рецензент:

Мантурин М.Ж. к.т.н. доцент

(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 Электроэнергетический  
Специальность 5В071800 - Электроэнергетика  
Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Измагазиев Нурбергян Мурзабаевич  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Электроснабжение завода  
Электростали

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

Срок сдачи законченной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

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

Титание может быть осуществлено от подстанции  
энергосистемы неоправданной мощности, на  
которой установлен два трансформатора  
мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ.  
Мощность к.з. на стороне 115 кВ около 600 МВА.  
Расстояние от подстанции энергосистемы до  
завода 8 км. Завод работает в две смены.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

Целью данной работы является разработка  
проекта электроснабжения завода электростали.  
Для достижения данной целью выполняются  
следующие расчеты:  
- определение элект-их нагрузок по заводу, т.е.  
расчет освещения;  
- расчет короткозамкнутых электротехнических  
нагрузок по предприятию;  
- определение потерь мощности в ЦТП.П.  
- расчет коэффициента реактивной мощности  
на шинах 6 кВ.  
- расчет токов короткого замыкания и  
выбор оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Генеральный план завода электростанции
2. Однолинейная схема электроснабжения завода электростанции
3. Автоматическое регулирование реактивной мощности
4. Однолинейная схема электроснабжения авторемонтного завода

Рекомендуемая основная литература

1. Ю.Т. Баранкин, Л.Е. Федоров. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. - М.: Энергостроиздат, 1981.-466 с.
2. О.П. Мельникова, М.А. Пиргузова. Проектирование систем электроснабжения. Методические указания и задания к выполнению курсовой работы для студентов всех форм обучения.
3. Асхитян В.В. Экономика труда. Учебник. - М.: ЗАО Институт менеджера, 2002.-431 с.
4. Защита от производства, издательство «Ульяновск», УНТУ, 2001.-32 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

| Раздел        | Консультант   | Сроки           | Подпись |
|---------------|---------------|-----------------|---------|
| Экономический | Вашева        | 24.04.-10.06.14 |         |
| БНД           | Сематова Т.С. | 1.04.-11.06.14  |         |
|               |               |                 |         |
|               |               |                 |         |

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

| № п/п | Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления руководителю | Примечание |
|-------|--|----------------------------------|------------|
| 1.    | Расчет осветительной нагрузки                            | 01.02.2014г.                     | Выполнено  |
| 2.    | Расчет силовой нагрузки<br>по цехам                      | 05.02.2014г.                     | Выполнено  |
| 3.    | Распределение нагрузки<br>по ЦУТТТ                       | 07.02.2014г.                     | Выполнено  |
| 4.    | Сравнение вариантов<br>внешнего электроснабжения         | 20.02.2014г.                     | Выполнено  |
| 5.    | Выбор оборудования и<br>расчет токов к.з. и              | 30.03.2014г.                     | Выполнено  |
| 6.    | Сданы чертежи завода                                     | 10.04.2014г.                     | Выполнено  |
| 7.    | Основы безопасности<br>низковольтности                   | 30.05.2014г.                     | Выполнено  |
| 8.    | Расчет фактической<br>частоты                            | 31.05.2014г.                     | Выполнено  |
| 9.    | Редактирование и<br>сдача дипломного проекта             | 1.06.2014г.                      | Выполнено  |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |
|       |  |                                  |            |

Дата выдачи задания «01» октября 2013 г.

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

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ Ильясов Н.М.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

## **Аңдатпа**

Дипломдық жобада тақырыпқа "Электрболат зауыттың электржабдықтауы" өңдеуінің жаса- жобала- электр жарылқаушылық болды. Өндірістің технологиялық үдерісі бейнеленеді, электр жүктер қарастырылады, сыртқы электржабдықтау нұсқалары салыстырады.

Арнаулы бөлікте сұрақтар кабель оқшаумен тігулі полиэтиленнен қарастырылады.

Сондай-ақ, экономикалық бөлімі және өміртіршілік қауіпсіздік мәселелері қарастырылды.

## **Аннотация**

В дипломном проекте на тему «Электроснабжение завода электросталей» было произведено проектирование электроснабжения. Описывается технологический процесс производства, рассматриваются электрические нагрузки, сравниваются варианты внешнего электроснабжения.

В специальной части рассматриваются вопросы кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена

А также рассматриваются экономическая часть и вопросы безопасности жизнедеятельности.

## **Annotation**

In this diploma work on the theme " Electricity plant electrical steels " was made projecting of power supply. There is the description of the manufacturing process, the electrical loads and comparison of the external power supply variations.

In the special part questions are examined cable with an isolation from the sewn together polyethylene, and also economic part and questions of safety of vital functions are examined

## **Содержание**

|  |    |
|--|----|
| Перечень сокращений и обозначений  | 7  |
| Введение   | 8  |
| 1 Описание технологического процесса   | 14 |
| 1.1 Исходные данные к проекту  | 17 |
| 2 Расчет электрических нагрузок  | 18 |
| 2.1 Расчет осветительной нагрузки  | 18 |
| 2.2 Расчет электрических нагрузок по заводу  | 18 |
| 2.3 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ         | 23 |
| 2.4 Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу электросталей                                   | 26 |
| 3 Выбор схемы внешнего электроснабжения  | 31 |
| 3.1 I Вариант  | 31 |
| 3.2. II Вариант  | 36 |
| 4 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания $U > 1 \text{ кВ}$                             | 47 |
| 4.1 Расчет токов короткого замыкания $I_{кз}$ ( $U = 10,5 \text{ кВ}$ ) с учетом подпитки от СД        | 47 |
| 5 Автоматическое регулирование реактивной мощности с помощью высоковольтных конденсаторных батарей     | 61 |
| 5.1 Реактивная мощность  | 61 |
| 5.2 Компенсация реактивной мощности  | 62 |
| 5.3 Средства компенсации реактивной мощности   | 63 |
| 5.4 Конденсаторные батареи   | 64 |
| 5.5 Графики потребляемой реактивной мощности и компенсация ее конденсаторными установками              | 66 |
| 6 Безопасность жизнедеятельности   | 73 |
| 6.1 Анализ условий труда в механическом цехе   | 73 |
| 6.2 Разработка технических решений по обеспечению нормативов охраны труда                              | 75 |
| 6.3 Расчет зануления электрооборудования механического цеха  | 79 |
| 7 Технико-экономическое обоснование эффективности схемы внешнего электроснабжения завода электросталей | 84 |
| 7.1 Общие исходные условия   | 84 |
| 7.2 Продукция завода и сфера ее применения   | 84 |
| 7.3 Сведения о ЛЭП и подстанции  | 85 |
| 7.4 Расчет капиталовложения проекта  | 85 |

|   |    |
|---|----|
| 7.5 Расчет экономической эффективности вложенных средств        | 86 |
| 7.6 Показатели финансово-экономической эффективности инвестиций | 89 |
| Заключение  | 92 |
| Список литературы   | 94 |

## Перечень сокращений и обозначений

|     |  |
|-----|--|
| ВБК | - высоковольтные батареи конденсаторов     |
| ВН  | - высокое напряжение                       |
| ГЛ  | - газоразрядные лампы                      |
| ДРЛ | - дуговая ртутная люминисцентная           |
| 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                        |
| РУ  | - распределительное устройство             |
| СД  | - синхронный двигатель                     |
| СН  | - среднее напряжение                       |
| ТП  | - трансформаторная подстанция              |
| ТТ  | - трансформатор тока                       |
| ЭП  | - электроприемник                          |
| СПЭ | - сшитого полиэтилена                      |



## Введение

Развитие народного хозяйства и промышленности диктует необходимость совершенствования электроэнергетики: создания экономичных надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, систем автоматизированного управления электроприводами и технологическими процессами. Важнейшие задачи, решаемые энергетиками и энергостроителями, состоят в непрерывном увеличении объемов производства, в сокращении сроков строительства новых энергетических объектов и реконструкции старых, уменьшении удельных капиталовложений, в сокращении удельных расходов топлива, повышении производительности труда, в улучшении структуры производства электроэнергетики.

Основными потребителями электрической энергии являются промышленность, транспорт, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство городов и поселков. При этом на промышленные объекты приходится более семидесяти процентов потребления электроэнергии.

Электроэнергия применяется буквально во всех отраслях народного хозяйства, особенно для электропривода различных механизмов, а в последние годы и для различных электротехнологических установок, в первую очередь для электротермических и электросварочных установок, электролиза, электроискровой и электрозвуковой обработки материалов, электроокраски.

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.

Основной задачей проектирования объектов электроснабжения является обеспечение высокой степени надежности и экономичности их. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий ведется с учетом использования новейших достижений науки и техники. Проектирование электроснабжения осуществляется в три стадии: технико-экономическое обоснование, технический проект, рабочие чертежи. Сооружаемые электроустановки должны обеспечить безопасность эксплуатации, надежность и экономичность. При проектировании эти показатели достигаются с помощью технико-экономических расчетов.

## 1 Описание технологического процесса

Машины предназначенные для обработки резанием металлов, сплавов и других материалов, называется металлорежущими станками. Развитие всей машиностроительной промышленности в значительной степени зависит от уровня станкостроения. Металлорежущие станки в зависимости от вида обработки делят на девять групп, а каждую группу - на десять типов в зависимости от назначения станков, их компоновки, степени автоматизации или вида применяемого инструмента.

Обозначение модели станка состоит из сочетания 3-4 цифр и букв. Первая цифра обозначает номер группы, вторая-номер подгруппы, а последние одна или две цифры наиболее характерные технологические параметры станка.

Станки подразделяются на широкоуниверсальные, универсальные, специализированные и специальные. Специальные и специализированные станки обозначают буквенным индексом, присвоенным каждому заводу, с номером модели станка. Например, мод. МШ-245-рейкошлифовальный полуавтомат повышенной точности. Для улучшения использования станков и повышение их производительности может быть достигнуто за счет сокращения затрат рабочего времени по основным элементам, составляющим штучное время. Сокращением машинного времени обработки обеспечивается повышение характеристик режимов резания, применением высокопроизводительных инструментов и новых прогрессивных инструментальных материалов, повышением технологичности деталей, уменьшением припусков на обработку, модернизации приводов станков и т.д.

В условиях массового производства повышение производительности труда достигается за счет автоматизации технологически процессов, внедрения в производство специализированных станков, предназначенных для выполнения одной операции. Металлорежущее оборудование должно иметь максимальную концентрацию обработки, быть легко настраиваемым и быстро окупаться. В наибольшей степени этим условиям удовлетворяет метод агрегатирования оборудования, т.е. создание различных станков из стандартных (нормализованных) сборочных единиц, каждая из которых имеет определенное назначение и может работать самостоятельно.

### Приводы и передача станков

В процессе работы механизмы станков совершают поступательное, вращательное и другие движения. В зависимости от вида используемой для этого энергии различают механические, электрические, гидравлические и смешанные приводы. Механизмы, передающие движения от одного элемента к другому, называется передачами. Различают ременные, шерстенные, цепные и червячные, реечные, и винтовые.

Частота вращения  $n_2$  или скорость  $v_2$  поступательного перемещения ведомого элемента передач зависят от частоты вращения  $n_1$  ведущего элемента и других параметров передач: диаметр  $D_1$  и  $D_2$ , барабанов

количество зубьев  $z_1$  и  $z_2$  шестерен, шага  $t_2$  рейки или  $s_1$  винта, количества захода червяка и т.д.

В электрических приводах используют электродвигатели постоянного тока. Регулирование частоты вращения вала электродвигателя происходит за счет изменения силы тока в обмотке возбуждения при помощи реостата.

Наиболее экономичным считается гидравлический привод бесступенчатого регулирования. Он прост в изготовлении и эксплуатации, имеет ограниченное количество деталей и сборочных единиц, компактен и надежен в работе.

#### *Устройство токарных станков.*

Станки токарной группы составляют до 50% всего станочного парка механических цехов машиностроительных заводов. В эту группу входят токарно-винторезные, карусельно-токарные, токарно-револьверные, многолезцовые токарные, лобовые, токарные автоматы и полуавтоматы, сверлильно-отрезные и специальные токарные.

Основными характеристиками токарных станков являются. Высота центров над станиной и наибольшее расстояние между центрами, которые соответственно определяют наибольший возможный радиус и наибольшую длину детали, подлежащей обработке на данном станке. Эти станки используют во всех производствах машиностроения, а также в отделениях сельхозтехники, в учебных и передвижных мастерских.

Токарно-винторезные станки – наиболее универсальные станки рассматриваемые в группы. Их типоразмеры изменяются в широком диапазоне – от настольных для обработки часовых деталей до тяжелых станков для обработки заготовок массой в несколько десятков тонн.

Процесс сверления – широко распространенный метод получения отверстий резанием. Главное движение при сверлении – вращательное, а движение подачи – поступательное. Оба движения при сверлении отверстий на сверлильных станках сообщаются инструменту – сверлу.

Процесс сверления характеризуют следующими элементами резания : Скоростью резания, подачей, глубиной резания, площадью поперечного сечения среза, машинным временем. Окружная скорость наиболее удаленной от оси сверла точки его режущей кромки называется скоростью резания.

Сверлильные и расточные станки служат для обработки отверстий различными способами. Основными технологическими операциями, связанными с обработкой отверстий, являются сверление, зенкерование, нарезные и др. Все эти операции производятся на станках сверлами, зенкерами, развертками, метчиками. Основным инструментом является спиральное сверло. Однако при сверлении отверстие получается не большой точности, с шероховатой поверхностью. Поэтому предварительно просверленные отверстия обрабатывают зенкером.

Процесс шлифования. По сравнению с рассмотренными процессами точения, сверления и фрезерования имеет следующие особенности: шлифовальный круг состоит из абразивных зерен, связанных цементирующим

веществом в одно целое, и является многолезвийным режущим инструментом. В работе участвует одновременно значительное зерен, представляющих собой многогранники неправильной формы, работающие с невыгодными углами резания. В отличие от работы однолезвийным режущим инструментом, когда процессом резания можно управлять, изменяя режим резания и геометрию инструмента, при шлифовании можно изменять только элементы режима резания, в связи с чем процессом управлять труднее.

Шлифования осуществляется при больших скоростях резания и снятии стружки с малой площадью сечения. В связи с этим, а также невыгодными углами резания температура рабочей зоне достигает 150 градусов.

Обработка шлифованием в большинстве случаев является чистовой и отделочной операции, обеспечивающей высокое качество обработанной поверхности и точность обработки. В некоторых случаях шлифование применяют для предварительной обработки заготовок, обдирки при снятии слоя до 6мм.

Процесс шлифования обычно осуществляется при помощи трех движений: вращение шлифовального круга, вращения или возвратно-поступательного перемещения обрабатываемой детали и движения подачи, осуществляемого кругом обрабатываемой деталью.

Основными элементами режима резания при шлифовании являются скорость и глубина резания, продольная подача, скорость вращения обрабатываемой детали и др.

## 1.1 Исходные данные к проекту

Тема: «Электроснабжение завода электросталей».

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Мощность к.з. на стороне 115 равна 600 МВА. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 8 км. Завод работает в две смены.

Таблица 1.1 – Электрические нагрузки по заводу

| № по плану | Наименование                       | Кол-во ЭП | Установленная мощность, кВт |                         |
|------------|------------------------------------|-----------|-----------------------------|-------------------------|
|            |                                    |           | Одного ЭП, $P_n$            | Суммарная, $\Sigma P_n$ |
| 1          | 2                                  | 3         | 4                           | 5                       |
| 1          | Механический цех                   | 300       | 1-1200                      | 8200                    |
| 2          | Сборочный цех                      | 70        | 2-80                        | 2200                    |
| 3          | Электроцех                         | 30        | 1-40                        | 550                     |
| 4          | Ремонтно-механический цех          | 30        | 1-40                        | 450                     |
| 5          | Кузнечный цех                      | 100       | 8-60                        | 2200                    |
| 6          | Литейный цех:                      |           |                             |                         |
|            | а) ДСП 12 т;                       | 2         | по каталогу                 |                         |
|            | б) 0,4 кВ                          | 120       | 1-100                       | 2100                    |
| 7          | Инструментальный цех               | 80        | 1-40                        | 1200                    |
| 7а         | Участок инструментального цеха     | 35        | 6-40                        | 300                     |
| 8          | Насосная                           | 4         | 400                         | 1600                    |
| 9          | Компрессорная:                     |           |                             |                         |
|            | а) СД 10 кВ;                       | 4         | 800                         | 3200                    |
|            | б) 0,4 кв                          | 10        | 20-80                       | 240                     |
| 10         | Электрогараж                       | 20        | 4-25                        | 250                     |
| 11         | Склад готовой продукции (4-х этаж) | 10        | 10-20                       | 150                     |
| 12         | Заводууправление                   | 50        | 1-25                        | 180                     |

Освещение цехов и территории определить по площади.

## 2 Расчет электрических нагрузок

### 2.1 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 формуле:

$$P_{po} = K_{co} \times P_{yo}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

$$Q_{po} = \text{tg}\varphi_0 \times P_{po}, \text{ кВАр}, \quad (2.2)$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки;

$\text{tg}\varphi_0$  – коэффициент реактивной мощности, определяется по  $\cos \varphi$ ;

$P_{yo}$  – установленная мощность приемников освещения по цеху, определяется по удельной осветительной нагрузке на  $1\text{ м}^2$  поверхности пола известной производственной площади:

$$P_{yo} = \rho_o \times F, \text{ кВт}, \quad (2.3)$$

где  $F$  – площадь производственного помещения, которая определяется по генеральному плану завода,  $\text{ м}^2$ ;

$\rho_o$  – удельная расчетная мощность,  $\text{ кВт}/\text{ м}^2$ .

Расчет для первого цеха:

$$P_{yo} = 24275 \cdot 0,015 = 364,13 \text{ кВт};$$

$$P_{po} = 0,8 \cdot 364,13 = 291,3 \text{ кВт};$$

$$Q_{po} = 291,3 \cdot 0,48 = 141,08 \text{ квар}.$$

Все расчетные данные заносятся в таблицу 2.1 – Расчет осветительной нагрузки.

### 2.2 Расчет электрических нагрузок по заводу

Расчет электрических нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам предприятия производим методом «Упорядоченных диаграмм нагрузок» упрощенным способом. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 2.2 – Расчет электрических нагрузок по цехам напряжением 0,4кВ.

Таблица 2.1 – Расчет осветительной нагрузки

| № по плану | Наименование производственного помещения | Размеры помещения | Площадь помещения, м <sup>2</sup> | $\rho_0$ , кВт/м <sup>2</sup> | $K_{co}$ | $P_{yo}$ , кВт | $P_{po}$ , кВт | $Q_{po}$ , квар | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | Тип лампы |
|------------|--|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------|----------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-----------|
| 1          | Механический цех                         | 135x65+100x155    | 24275                             | 0,015                         | 0,8      | 364,13         | 291,30         | 141,08          | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 2          | Сборочный цех                            | 135x70            | 9450                              | 0,018                         | 0,8      | 170,10         | 136,08         | 65,91           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 3          | Электроцех                               | 35x75             | 2635                              | 0,018                         | 0,8      | 47,43          | 37,94          | 18,38           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 4          | Ремонтно-механический цех                | 95x45             | 4275                              | 0,016                         | 0,8      | 68,40          | 54,72          | 26,50           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 5          | Кузнечный цех                            | 130x95-80x50      | 8350                              | 0,015                         | 0,8      | 125,25         | 100,20         | 48,53           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 6          | Литейный цех                             | 115x105-85x45     | 8250                              | 0,015                         | 0,8      | 123,75         | 99,00          | 47,95           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 7          | Инструментальный цех                     | 95x50             | 4750                              | 0,015                         | 0,8      | 71,25          | 57,00          | 27,61           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 7а         | Участок инструментального цеха           | 30x60             | 1800                              | 0,015                         | 0,8      | 27,00          | 21,60          | 10,46           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 8          | Насосная                                 | 60x55             | 3300                              | 0,013                         | 0,7      | 42,90          | 30,03          | 0,00            | 1             | 0,00        | ЛН        |
| 9          | Компрессорная                            | 60x60-30x30       | 2700                              | 0,013                         | 0,7      | 35,10          | 24,57          | 0,00            | 1             | 0,00        | ЛН        |
| 10         | Электрогараж                             | 35x55             | 1925                              | 0,01                          | 0,6      | 19,25          | 11,55          | 5,59            | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 11         | Склад готовой продукции                  | 60x85             | 5100                              | 0,01                          | 0,6      | 51,00          | 30,60          | 14,82           | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |
| 12         | Заводоуправление                         | 85x30             | 2550                              | 0,02                          | 0,9      | 51,00          | 45,90          | 22,23           | 0,9           | 0,48        | ЛЛ        |
| 13         | Освещение территории                     | 730x440           | 241840                            | 0,002                         | 1        | 483,68         | 483,68         | 234,26          | 0,9           | 0,48        | ДРЛ       |

Таблица 2.2 – Расчет электрических нагрузок по цехам, U = 0,4кВ

| № цехов | Наименование цехов        | Кол-во ЭП, n | Установленная мощность, кВт |       |      | m   | Ки   | cos φ | tg φ | Средние нагрузки |          | n <sub>э</sub> | К м  | Расчетные нагрузки |          |         | Iр, А   |
|---------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-------|------|-----|------|-------|------|------------------|----------|----------------|------|--------------------|----------|---------|---------|
|         |                           |              | Pнmin                       | Pнmax | ΣPн  |     |      |       |      | Pсм, кВт         | Qсм, кВт |                |      | Pр, кВт            | Qр, квар | Sp, кВА |         |
|         |                           |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      |                    |          |         |         |
| 1       | Механический цех          |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      |                    |          |         |         |
|         | а) силовая нагрузка       | 300          | 1                           | 1200  | 8200 | > 3 | 0,25 | 0,65  | 1,20 | 2050             | 2460,00  | 13             | 1,6  | 3280,00            | 2460,00  |         |         |
|         | б) осветительная нагрузка |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 291,30             | 141,08   |         |         |
|         | Итого                     |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 3571,30            | 2601,08  | 4418,12 | 6712,64 |
| 2       | Сборочный цех             |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      |                    |          |         |         |
|         | а) силовая нагрузка       | 70           | 2                           | 80    | 2200 | > 3 | 0,3  | 0,7   | 1,02 | 660              | 673,20   | 55             | 1,15 | 759,00             | 673,20   |         |         |
|         | б) осветительная нагрузка |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 136,08             | 65,91    |         |         |
|         | Итого                     |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 895,08             | 739,11   | 1160,80 | 1763,65 |
| 3       | Электроцех                |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      |                    |          |         |         |
|         | а) силовая нагрузка       | 30           | 1                           | 40    | 550  | > 3 | 0,3  | 0,7   | 1,02 | 165              | 168,30   | 27             | 1,27 | 209,55             | 168,30   |         |         |
|         | б) осветительная нагрузка |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 37,94              | 18,38    |         |         |
|         | Итого                     |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 247,49             | 186,68   | 310,00  | 471,00  |
| 4       | Ремонтно-механический цех |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      |                    |          |         |         |
|         | а) силовая нагрузка       | 30           | 1                           | 40    | 450  | > 3 | 0,25 | 0,65  | 1,20 | 90               | 108,00   | 22             | 1,46 | 131,40             | 108,00   |         |         |
|         | б) осветительная нагрузка |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 54,72              | 26,50    |         |         |
|         | Итого                     |              |                             |       |      |     |      |       |      |                  |          |                |      | 186,1              | 134,50   | 229,6   | 348,8   |



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |  |   |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  | 3 |  | 9 |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|---|--|---|

Продолжение таблицы 2.2

| 1  | 2                              | 3   | 4   | 5   | 6    | 7  | 8   | 9   | 10   | 11   | 12     | 13 | 14   | 15      | 16      | 17      | 18      |
|----|--------------------------------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|------|------|--------|----|------|---------|---------|---------|---------|
| 5  | Кузнечный цех                  |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      |         |         |         |         |
|    | а) силовая нагрузка            | 100 | 8   | 60  | 2200 | >3 | 0,4 | 0,8 | 0,75 | 880  | 660,00 | 73 | 1,1  | 968,00  | 660,00  |         |         |
|    | б) осветительная нагрузка      |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 100,20  | 48,53   |         |         |
|    | Итого                          |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 1068,20 | 708,53  | 1281,82 | 1947,53 |
| 6  | Литейный цех                   |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      |         |         |         |         |
|    | а) силовая нагрузка            | 120 | 1   | 100 | 2100 | >3 | 0,6 | 0,8 | 0,75 | 1260 | 945,00 | 42 | 1,11 | 1398,60 | 945,00  |         |         |
|    | б) осветительная нагрузка      |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 99,00   | 47,95   |         |         |
|    | Итого                          |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 1497,60 | 992,95  | 1796,87 | 2730,07 |
| 7  | Инструментальный цех           |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      |         |         |         |         |
|    | а) силовая нагрузка            | 80  | 1   | 40  | 1200 | >3 | 0,3 | 0,7 | 1,02 | 360  | 367,20 | 60 | 1,14 | 410,40  | 367,20  |         |         |
|    | б) осветительная нагрузка      |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 57,00   | 27,61   |         |         |
|    | Итого                          |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 467,40  | 394,81  | 611,83  | 929,58  |
| 7а | Участок инструментального цеха |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      |         |         |         |         |
|    | а) силовая нагрузка            | 35  | 6   | 40  | 300  | >3 | 0,3 | 0,7 | 1,02 | 90   | 91,80  | 15 | 1,43 | 128,70  | 91,80   |         |         |
|    | б) осветительная нагрузка      |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 21,60   | 10,46   |         |         |
|    | Итого                          |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 150,30  | 102,26  | 181,79  | 276,20  |
| 8  | Насосная                       |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      |         |         |         |         |
|    | а) силовая нагрузка            | 4   | 400 | 400 | 1600 | <3 | 0,6 | 0,7 | 1,02 | 960  | 979,20 | 4  | 1,46 | 1401,60 | 1077,12 |         |         |
|    | б) осветительная нагрузка      |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 30,03   | 0,00    |         |         |
|    | Итого                          |     |     |     |      |    |     |     |      |      |        |    |      | 1431,63 | 1077,12 | 1791,58 | 2722,02 |

Окончание таблицы 2.2

| 1  | 2                               | 3  | 4  | 5  | 6   | 7  | 8   | 9   | 10   | 11  | 12     | 13 | 14   | 15       | 16      | 17       | 18       |
|----|---------------------------------|----|----|----|-----|----|-----|-----|------|-----|--------|----|------|----------|---------|----------|----------|
| 9  | Компрессорная                   |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      |          |         |          |          |
|    | а) силовая нагрузка             | 10 | 20 | 80 | 240 | >3 | 0,6 | 0,7 | 1,02 | 144 | 146,88 | 6  | 1,37 | 197,28   | 161,57  |          |          |
|    | б) осветительная нагрузка       |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 24,57    | 0,00    |          |          |
|    | Итого                           |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 221,85   | 161,57  | 274,45   | 416,98   |
| 10 | Электрораж                      |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      |          |         |          |          |
|    | а) силовая нагрузка             | 20 | 4  | 25 | 250 | >3 | 0,3 | 0,7 | 1,02 | 75  | 76,5   | 20 | 1,34 | 100,5    | 76,5    |          |          |
|    | б) осветительная нагрузка       |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 11,55    | 5,59    |          |          |
|    | Итого                           |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 112,05   | 82,09   | 138,91   | 211,04   |
| 11 | Склад готовой продукции         |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      |          |         |          |          |
|    | а) силовая нагрузка             | 10 | 10 | 20 | 150 | <3 | 0,3 | 0,8 | 0,75 | 45  | 33,75  | 10 | 1,6  | 72,00    | 37,13   |          |          |
|    | б) осветительная нагрузка       |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 30,60    | 14,82   |          |          |
|    | Итого                           |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 102,60   | 51,95   | 115,00   | 174,72   |
| 12 | Заводуправление                 |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      |          |         |          |          |
|    | а) силовая нагрузка             | 50 | 1  | 25 | 180 | >3 | 0,4 | 0,7 | 1,02 | 72  | 73,44  | 14 | 1,32 | 95,04    | 73,44   |          |          |
|    | б) осветительная нагрузка       |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 45,90    | 22,23   |          |          |
|    | Итого                           |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 140,94   | 95,67   | 170,34   | 258,81   |
|    | Освещение территории            |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 483,68   | 234,26  | 537,42   | 816,53   |
|    | Итого по заводу на шинах 0,4 кВ |    |    |    |     |    |     |     |      |     |        |    |      | 10425,94 | 7460,31 | 12820,16 | 19478,22 |

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

Правильное определение числа и мощности цеховых трансформаторов возможно только путем технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов: категории надежности электроснабжения потребителей; компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1кВ; перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийном режимах; шага стандартных мощностей; экономичных режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 10425,94 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 7460,31 \text{ квар};$$

$$S_{p0,4} = 12820,16 \text{ кВА}$$

Завод относится ко 2 категории потребителей, завод работает в две смены, следовательно, коэффициент загрузки трансформаторов  $K_{зтр} = 0,8$ . Принимаем трансформатор мощностью  $S_{нт} = 1000$  кВА.

Для каждой технологически концентрированной группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности минимальное их число, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, рассчитывается по формуле:

$$N_{т \text{ min}} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \times S_{нт}} + \Delta N = \frac{10425,94}{0,8 \times 1000} = 13,03 + 0,97 = 14$$

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

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

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

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

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{т.э} = N_{\text{min}} + m, \quad (2.4)$$

где  $m$  – дополнительное число трансформаторов.

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

$$Z_{п/ст}^* = 0,5; K_3 = 0,8; N_{\text{min}} = 13,03; \Delta N = 0,97.$$

Тогда из справочника по кривым определяем  $m$ , для нашего случая  $m = 0$ , значит  $N_{т.э} = 14 + 0 = 14$  трансформаторов.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N_{тэ} \times S_{нт} \times K_3)^2 - P_{p0,4}^2} = \sqrt{(14 \times 1000 \times 0,8)^2 - 10425,94^2} = 4091,42 \text{ квар}.$$

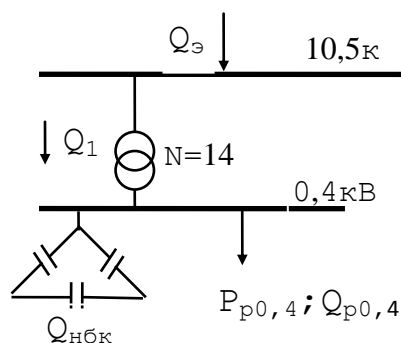


Рисунок 2.1

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определим величину  $Q_{нбк1}$ :

$$Q_{нбк1} + Q_1 = Q_{p0,4} \quad (2.5)$$

$$Q_{нбк1} = Q_{p0,4} - Q_1 = 7460,31 - 4091,42 = 3368,89 \text{ кВар.}$$

Дополнительная мощность  $Q_{нбк2}$  НБК для данной группы трансформаторов в большинстве случаев меньше 0, поэтому расчет ведется по 1-й составляющей  $Q_{нбк}$ :

$$Q_{нбк} = Q_{нбк1} = 3368,89 \text{ квар.}$$

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{нбк\text{ тп}} = \frac{Q_{нбк}}{N_{Tэ}} = \frac{3368,89}{14} \approx 240,63 \text{ квар}$$

Выберем НБК: УКБН-0,38-200-150У30

На основании расчетов, полученных в данном пункте, составляется таблица 2.3 – Распределение нагрузок цехов по ТП, в которой показано распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП.

Таблица 2.3 – Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП

| № ТП, Sn.тп., Qнбк тп                   | № цеха | Pp0,4, кВт | Qp0,4, квар | Sp0,4,к ВА | Кз   |
|---|--------|------------|-------------|------------|------|
| 1                                       | 2      | 3          | 4           | 5          | 6    |
| ТП1(2x1000)                             | 1      | 3571,30    | 2601,08     |            |      |
| ТП2(2x1000)                             | 12     | 140,94     | 95,67       |            |      |
| ТП3(1x1000)                             |        |            |             |            |      |
| $\Sigma S_H = 5000$                     |        |            |             |            |      |
| $Q_{нбк} = 4 \times 250 + 1 \times 200$ |        |            | -1200,00    |            |      |
| <b>Итого</b>                            |        | 3712,24    | 1496,75     | 4002,62    | 0,80 |
| ТП4(2x1000)                             | 2      | 895,08     | 739,11      |            |      |
| ТП5(2x1000)                             | 5      | 1068,20    | 708,53      |            |      |
| ТП6(1x1000)                             | 6      | 1497,60    | 992,95      |            |      |

Продолжение таблицы 2.3

| 1  | 2                    | 3       | 4       | 5       | 6    |
|--|----------------------|---------|---------|---------|------|
|  | 9                    | 221,85  | 161,57  |         |      |
|  | 11                   | 102,60  | 51,95   |         |      |
| $\Sigma S_H=5000$                            |                      |         |         |         |      |
| $Q_{\text{нбк}}=4 \times 250 + 1 \times 200$ |                      |         | -1200   |         |      |
| <b>Итого</b>                                 |                      | 3785,33 | 1454,10 | 4055,01 | 0,81 |
| ТП7(2x1000)                                  | 3                    | 247,49  | 186,68  |         |      |
| ТП8(2x1000)                                  | 4                    | 186,12  | 134,50  |         |      |
|  | 7                    | 467,40  | 394,81  |         |      |
|  | 7a                   | 150,30  | 102,26  |         |      |
|  | 8                    | 1431,63 | 1077,12 |         |      |
|  | 10                   | 112,05  | 82,09   |         |      |
| $\Sigma S_H=4000$                            | освещение тер-<br>ри | 483,68  | 234,26  |         |      |
| $Q_{\text{нбк}}=4 \times 250$                |                      |         | -1000   |         |      |
| <b>Итого</b>                                 |                      | 3078,67 | 1211,72 | 3308,55 | 0,83 |

Распределим  $Q_{\text{нбк}}$  по ТП пропорционально их мощностям.

Исходные данные:

$$Q_{p0,4} = 7460,31 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{нбк}} = 3368,89 \text{ квар}.$$

ТП1, ТП2, ТП3:

$$Q_{p \text{ ТП1,2,3}} = 2696,75 \text{ квар}, Q_{p \text{ нбк}} = X,$$

$$\text{тогда } Q_{p \text{ нбк ТП1,2,3}} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p \text{ ТП1,2,3}}}{Q_{p0,4}} = \frac{3368,89 \cdot 2696,75}{7460,31} = 1217,79 \text{ кВАр},$$

то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{\phi \text{ ТП1,2,3}} = (4 \times 250 + 1 \times 200) = 1200 \text{ кВАр},$$

а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p \text{ ТП1,2,3}} - Q_{\phi \text{ ТП1,2,3}} = 2696,75 - 1200 = 1496,75 \text{ кВАр}$$

ТП4, ТП5, ТП6:

$$Q_{p \text{ ТП4,5,6}} = 2654,10 \text{ кВАр}, Q_{p \text{ нбк}} = X,$$

$$\text{тогда } Q_{p \text{ нбк}} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p \text{ ТП4,5,6}}}{Q_{p0,4}} = \frac{3368,89 \cdot 2654,10}{7460,31} = 1198,52 \text{ кВАр},$$

то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{\phi \text{ ТП4,5,6}} = (4 \times 250 + 1 \times 200) = 1200 \text{ кВАр},$$

а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p \text{ ТП4,5,6}} - Q_{\phi \text{ ТП4,5,6}} = 2654,10 - 1200 = 1454,10 \text{ кВАр}.$$

ТП7, ТП8, :

$$Q_{p \text{ ТП7,8}} = 2211,72 \text{ квар}, Q_{p \text{ нбк}} = x,$$

$$\text{тогда } Q_{p \text{ нбк}} = \frac{Q_{\text{нбк}} \times Q_{p \text{ ТП7,8}}}{Q_{p 0,4}} = \frac{3368,89 \cdot 2211,79}{7460,31} = 996,76 \text{ кВАр},$$

то фактическая реактивная мощность:  $Q_{\text{ф ТП7,8}} = (4 \times 250) = 1000$  квар,  
а некомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p \text{ ТП7,8}} - Q_{\text{ф ТП7,8}} = 2211,72 - 1000 = 1211,72 \text{ квар}.$$

Уточненное распределение  $Q_{\text{нбк}}$  по ТП сведем в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Уточненное распределение  $Q_{\text{нбк}}$  по ТП

| № ТП          | $Q_{p \text{ ТП}}$ | $Q_{p \text{ нбк}}$ | $Q_{\text{ф нбк по тп}}$ |             | $Q_{\text{неск}}$ |
|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------|-------------------|
| ТП1, ТП2, ТП3 | 2696,75            | 1217,79             | 4x250+1x200              | 1200        | 1496,75           |
| ТП4, ТП5, ТП6 | 2654,10            | 1198,52             | 4x250+1x200              | 1200        | 1454,10           |
| ТП7, ТП8      | 2211,72            | 998,76              | 4x250                    | 1000        | 1211,72           |
| <b>Итого</b>  | <b>7562,57</b>     | <b>3415,07</b>      |                          | <b>3400</b> | <b>4162,57</b>    |

## 2.4 Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу электросталей

### 2.4.1 Определение потерь мощности в ЦТП

Выбираем трансформаторы ТСЗЛ - 1000/10/0,4

Таблица – 2.5

| $S_{\text{н}}$ , кВА | $I_{\text{хх}}$ , % | $U_{\text{кз}}$ , % | $\Delta P_{\text{хх}}$ , кВт | $\Delta P_{\text{кз}}$ , кВт |
|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1000                 | 1                   | 5,5                 | 2                            | 10,2                         |

ТП1, ТП2, ТП3:

$$K_3 = 0,82; N = 5$$

$$\Sigma \Delta P_m = N \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{кк}} \cdot K_3^2) = 5 \cdot (2 + 10,2 \cdot 0,82^2) = 43,99 \text{ кВт}$$

$$\Sigma \Delta Q_m = N \cdot \left( \frac{I_{\text{хх}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{100} + \frac{U_{\text{к.з}} \cdot S_{\text{н.тр}} \cdot K_3^2}{100} \right) = 5 \cdot \left( \frac{1 \cdot 1000}{100} + \frac{5,5 \cdot 1000 \cdot 0,82^2}{100} \right) = 233,26 \text{ квар}$$

ТП4, ТП5, ТП6:

$$K_3 = 0,83; N = 5$$

$$\Sigma \Delta P_m = N \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{кк}} \cdot K_3^2) = 5 \cdot (2 + 10,2 \cdot 0,83^2) = 44,81 \text{ кВт}$$

$$\Sigma \Delta Q_m = N \cdot \left( \frac{I_{\text{хх}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{100} + \frac{U_{\text{к.з}} \cdot S_{\text{н.тр}} \cdot K_3^2}{100} \right) = 5 \cdot \left( \frac{1 \cdot 1000}{100} + \frac{5,5 \cdot 1000 \cdot 0,83^2}{100} \right) = 237,71 \text{ квар}$$

ТП7, ТП8:  
 $K_3=0,82$ ;  $N=4$

$$\Sigma \Delta P_m = N \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{kk} \cdot K_3^2) = 4 \cdot (2 + 10,2 \cdot 0,85^2) = 37,25 \text{ кВт}$$

$$\Sigma \Delta Q_m = N \cdot \left( \frac{I_{xx} \cdot S_{н.тр}}{100} + \frac{U_{к.з} \cdot S_{н.тр} \cdot K_3^2}{100} \right) = 4 \cdot \left( \frac{1 \cdot 1000}{100} + \frac{5,5 \cdot 1000 \cdot 0,85^2}{100} \right) = 197,73 \text{ квар}$$

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Sigma \Delta P_{1-8} = 43,99 + 44,81 + 37,25 = 126,05 \text{ кВт};$$

$$\Sigma \Delta Q_{1-9} = 233,26 + 237,71 + 197,73 = 668,70 \text{ квар.}$$

#### 2.4.2 Определение расчетной мощности синхронных двигателей.

Используем СД для компенсации реактивной мощности на стороне ВН.

СД:  $P_{н\text{СД}} = 800 \text{ кВт}$ ;  $\cos \varphi = 0,9$ ;  $N_{\text{СД}} = 4$ ;  $k_3 = \beta = 0,85$ .

Определим суммарные расчетные мощности для СД:

$$\Sigma P_{p\text{СД}} = P_{н\text{СД}} \times N_{\text{СД}} \times k_3 = 800 \times 4 \times 0,85 = 2720 \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_{p\text{СД}} = \Sigma P_{p\text{СД}} \times \text{tg} \varphi = 2720 \times 0,48 = 1317,36 \text{ квар.}$$

#### 2.4.3 Определение расчетной мощности ДСП.

ДСП-12М2, тр-р ЭТЦДК-2500/10-74У3,  $\Delta(Y)/\Delta-0(11)$ ,  $S_n = 5000 \text{ кВА}$ ,  $\cos \varphi = 0,85$ ,  $K_3 = 0,7$ ,  $U_1 = 10 \text{ кВ}$ ,  $N = 2$ .

$$P_{p\text{ДСП}} = S_n \cdot \cos \varphi \cdot N \cdot K_3 = 5000 \cdot 0,85 \cdot 2 \cdot 0,7 = 5950 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\text{ДСП}} = P_{p\text{ДСП}} \cdot \text{tg} \varphi = 5950 \cdot 0,62 = 3688 \text{ квар.}$$

Определим потери в печных трансформаторах:

$$\Delta P_{tr} = 2\% \text{ от } S_n; \quad \Delta Q_{tr} = 10\% \text{ от } S_n.$$

$$\Delta P_{tr\text{ДСП}} = 0,02 \cdot 5000 = 100 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_{tr\text{ДСП}} = 0,1 \cdot 5000 = 500 \text{ квар},$$

$$\Sigma \Delta P_{tr\text{ДСП}} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ кВт}; \quad \Sigma \Delta Q_{tr\text{ДСП}} = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ квар.}$$

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

Составим схему замещения, показанную на рисунке 2.2

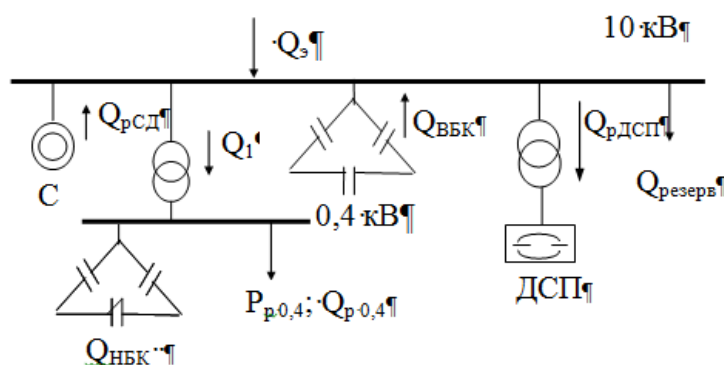


Рисунок 2.2

Составим баланс реактивной мощности для шин 10 кВ ГПП:

$$\sum Q=0; \sum Q_{\text{потр}}=\sum Q_{\text{ист}},$$

$$Q_{p0,4}+\Delta Q_{\text{тр}}+Q_{\text{рдСП}}+\Delta Q_{\text{трДСП}}+Q_{\text{рез}}-Q_{\text{э}}-Q_{\text{НБК}}-Q_{\text{СД}}-Q_{\text{ВБК}}=0,$$

$$\sum Q_p = Q_{p0,4}+\Delta Q_{\text{тр}}+Q_{\text{рдСП}}+\Delta Q_{\text{трДСП}}=7460,31+668,7+3688+1000=12817 \text{квар.}$$

Резервная мощность:

$$Q_{\text{рез}}=0,1 \times \sum Q_p = 0,1 \cdot 12817 = 1281,65 \text{квар.}$$

Мощность, поступающая от энергосистемы:

$$Q_{\text{э}} = \text{tg}\varphi_{\text{э}} \times \sum P_{\text{рзав}} = (0,23 - 0,25) \times \sum P_{\text{рзав}};$$

$$\sum P_{\text{рзав}} = P_{p0,4} + \Delta P_{\text{тр}} + P_{\text{рдСП}} + \Delta P_{\text{трДСП}} + P_{\text{рСД}} = 10425,94 + 126,05 + 5950,00 + 200 + 2720 = 19422 \text{кВт,}$$

$$Q_{\text{э}} = 0,25 \cdot 19422 = 4855 \text{ квар.}$$

Мощность ВБК определим из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{p0,4} + \Delta Q_{\text{тр}} + Q_{\text{рдСП}} + \Delta Q_{\text{трДСП}} + Q_{\text{рез}} - Q_{\text{э}} - Q_{\text{НБК}} - Q_{\text{СД}} = 7460,31 + 668,70 + 3688 + 1000 + 1281,65 - 4855 - 3400 - 1317,36 = 4525,28 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{рдСП}} = 3688 \text{ кВАр};$$

На одну печь:  $3688/2 = 1844$  квар.

На одну шину:  $(4525,28 - 2700)/2 = 912,64$  кВАр

Принимаем для индивидуальной компенсации реактивной мощности ДСП батареи конденсаторов мощностью 1350 квар и для компенсации на шинах принимаем БК мощностью 900 квар.

Полученную реактивную мощность используем для компенсации на шинах ГПП 10кВ. Для этого выбираем конденсаторные батареи типа:

УКЛ-10,5-1350 УЗ. где  $Q_{\text{н ВБК}} = 1350$  квар,  $n = 2$ ;

УКЛ-10,5-900 УЗ. где  $Q_{\text{н ВБК}} = 900$  квар,  $n = 2$ ,  $\sum Q_{\text{н ВБК}} = 4500$ квар.

Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу приведены в таблице 2.5 – Уточненный расчет нагрузок по заводу.



Таблица 2.6 – Расчет уточненной мощности по предприятию

| №ТП, Снт, Qбк тп               | № цеха | N   | Pn min | Pn max | ΣPн  | Ки   | Pсм    | Qсм     | пэ     | Км   | Pp      | Qp      | Sp      | Кз   |
|--------------------------------|--------|-----|--------|--------|------|------|--------|---------|--------|------|---------|---------|---------|------|
| 1                              | 2      | 3   | 4      | 5      | 6    | 7    | 8      | 9       | 10     | 11   | 12      | 13      | 14      | 15   |
| ТП1, ТП2, ТП3<br>(5x1000), кВА | 1      | 300 | 1      | 1200   | 8200 | 0,25 | 2050   | 2460,00 |        |      |         |         |         |      |
| Силовая                        |        | 300 | 1      | 1200   | 8200 | 0,25 | 2050   | 2460,00 | 13,00  | 1,6  | 3280    | 2460,00 |         |      |
| Осветительная                  |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      | 291,30  | 141,08  |         |      |
|                                |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      |         |         |         |      |
|                                | 12     | 50  | 1      | 25     | 180  | 0,4  | 72     | 73,44   |        |      |         |         |         |      |
| Силовая                        |        | 50  | 1      | 25     | 180  | 0,4  | 72     | 73,44   | 14     | 1,32 | 95,04   | 73,44   |         |      |
| Осветительная                  |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      | 45,90   | 22,23   |         |      |
| Qнбк                           |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      |         | -1200   |         |      |
| Итого                          |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      | 3712,24 | 1496,75 | 4002,62 | 0,80 |
| ТП4, ТП5, ТП6<br>(5x1000), кВА | 2      | 70  | 1      | 80     | 2200 | 0,3  | 660    | 673,20  |        |      |         |         |         |      |
|                                | 5      | 100 | 8      | 60     | 2200 | 0,4  | 880    | 660,00  |        |      |         |         |         |      |
|                                | 6      | 120 | 1      | 100    | 2100 | 0,6  | 1260   | 945,00  |        |      |         |         |         |      |
|                                | 9      | 10  | 20     | 80     | 240  | 0,6  | 144,00 | 146,88  |        |      |         |         |         |      |
|                                | 11     | 10  | 10     | 20     | 150  | 0,3  | 45,00  | 33,75   |        |      |         |         |         |      |
|                                |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      |         |         |         |      |
| Силовая                        |        | 310 | 1      | 100    | 6890 | 0,43 | 2989   | 2458,83 | 138,00 | 1,06 | 3168,34 | 2458,83 |         |      |
| Осветительная                  |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      | 390,45  | 177,20  |         |      |
| Qнбк                           |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      |         | -1200   |         |      |
| Итого                          |        |     |        |        |      |      |        |         |        |      | 3558,79 | 1436,03 | 3837,60 | 0,77 |

Окончание таблицы 2.6

| 1                     | 2     | 3      | 4      | 5      | 6       | 7    | 8       | 9       | 10    | 11   | 12       | 13       | 14       | 15   |
|-----------------------|-------|--------|--------|--------|---------|------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|------|
| ТП7(2х1000)           | 3,00  | 30,00  | 1,00   | 40,00  | 550,00  | 0,30 | 165,00  | 168,30  |       |      |          |          |          |      |
| ТП8(2х1000)           | 4,00  | 30,00  | 1,00   | 40,00  | 450,00  | 0,20 | 90,00   | 108,00  |       |      |          |          |          |      |
|                       | 7,00  | 80,00  | 1,00   | 40,00  | 300,00  | 0,35 | 360,00  | 367,20  |       |      |          |          |          |      |
|                       | 7а    | 35,00  | 6,00   | 40,00  | 300,00  | 0,30 | 90,00   | 91,80   |       |      |          |          |          |      |
|                       | 8,00  | 4,00   | 400,00 | 400,00 | 1600,00 | 0,60 | 960,00  | 979,20  |       |      |          |          |          |      |
|                       | 10,00 | 20,00  | 4,00   | 25,00  | 250,00  | 0,30 | 75,00   | 76,50   |       |      |          |          |          |      |
| Осве.terr.            |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 483,68   | 234,26   |          |      |
| Силовая               |       | 199,00 | 1,00   | 400,00 | 3450,00 | 0,50 | 1740,00 | 1791,00 | 17,00 | 1,22 | 2122,8   | 1791,00  |          |      |
| Осветительная         |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 212,84   | 88,54    |          |      |
| Qнбк                  |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      |          | -1000,00 |          |      |
| Итого                 |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 2819,32  | 1113,80  | 3031,36  | 0,76 |
| Итого на шинах 0,4 кВ |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 10090,35 | 4046,58  |          |      |
| ΣΔРтр, ΣQРтр          |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 126,05   | 668,70   |          |      |
| Итого 0,4 кВ к 6 кВ   |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 10216,40 | 4715,28  |          |      |
| СД 10 кВ              | 9     | 4      | 800    | 800    | 3200    |      |         |         |       |      | 2720     | -1317,36 |          |      |
| ДСП 12т               | 6     | 2      | 5000   | 5000   | 10000   |      |         |         |       |      | 5950,00  | 3687,48  |          |      |
| ΣΔРтр.дсп, ΣQРтр.дсп  |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 200,00   | 1000,00  |          |      |
| ΣQвбк                 |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      |          | -4500    |          |      |
| Итого по заводу       |       |        |        |        |         |      |         |         |       |      | 19086,40 | 3585,41  | 19420,25 |      |

### 3 Выбор схемы внешнего электроснабжения

При решении задач оптимизации промышленного электроснабжения возникает необходимость сравнения большого количества вариантов. Многовариантность задач промышленной энергетики обуславливает проведения технико-экономического расчета, целью которого является определение оптимального варианта схемы, параметров электросети и ее элементов.

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

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

#### 3.1 I Вариант

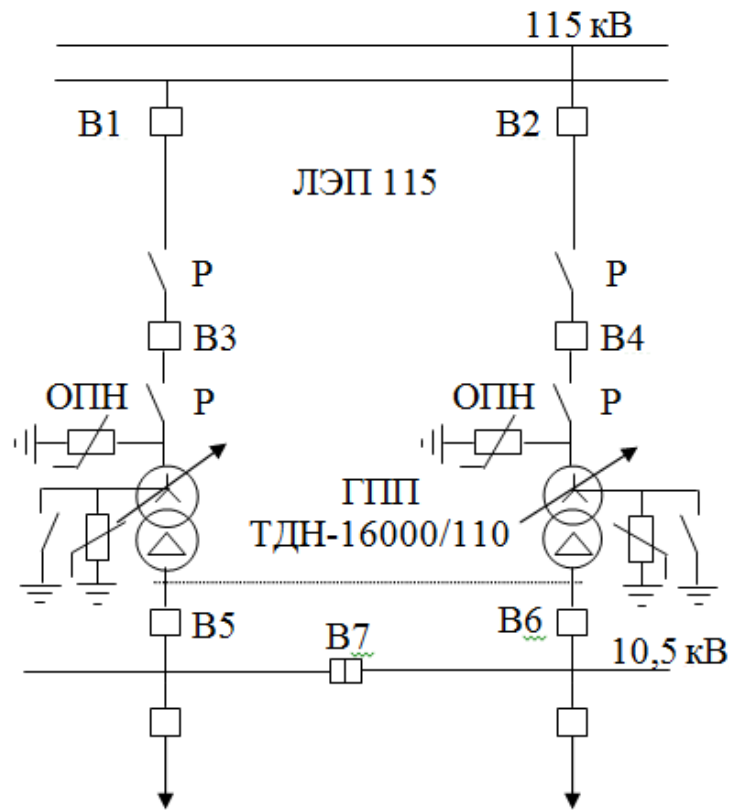


Рисунок 3.1 – I вариант схемы электроснабжения

$$Z_r = EK + I, \text{ у.е./год}; \quad (3.1)$$

$$K_I = K_{B1, B2} + K_{ЛЭП} + K_{трГПП} + K_{B3, B4} + K_{раз} + K_{ОПН}, \text{ у.е}; \quad (3.2)$$

$$I_I = I_a + I_{пот.эн} + I_{экспл.}, \text{ у.е./год}. \quad (3.3)$$

Выбираем электрооборудование по I варианту

Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{расчГПП} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{19086,40^2 + 4855^2} = 19694,33 \text{ кВА}.$$

Выбираем два трансформатора мощностью 16000 кВА.

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_H} = \frac{19694,33}{2 \cdot 16000} = 0,62$$

Паспортные данные трансформатора:

Тип трансформатора ТДН –16000/110;

$S_H=16000$  кВА,

$U_{BH}=115$  кВ,

$U_{HH}=11$  кВ,

$\Delta P_{XX}=18$  кВт,

$=85$  кВт,

$U_{K3}=10,5$  %,

$I_{XX}=0,7$  %.

Потери мощности в трансформаторах:

$$\Sigma \Delta P_{TTP} = 2 \cdot (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (18 + 85 \cdot 0,62^2) = 101,35 \text{ кВт}$$

$$\Sigma \Delta Q_{mpTTP} = 2 \cdot \left( \frac{0,7}{100} \cdot 16000 + \frac{10,5}{100} \cdot 16000 \cdot 0,62^2 \right) = 1515,58 \text{ квар}$$

*Потери энергии в трансформаторах.*

При двух сменном режиме работы  $T_{вкл}=4000$ ч ,  $T_{макс}=3000$ ч, тогда время максимальных потерь:

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 3000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 1575 \text{ ч.}$$

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta W = 2(\Delta P_{XX} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{K3} \cdot \tau \cdot K_3^2), \quad (3.4)$$

$$\Delta W = 2(18 \cdot 4000 + 85 \cdot 1575 \cdot 0,62^2) = 246912,5 \text{ кВтч.}$$

Выбираем сечение проводов ЛЭП–115 кВ:

Полная мощность, проходящая по ЛЭП

$$S_{лэн} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{тгпп})^2 + Q_3^2} = \sqrt{(19086,40 + 101,35)^2 + 4855^2} = 19792,56 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{лэн}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{cp}} = \frac{19792,56}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 49,68 \text{ А.}$$

Ток аварийного режима:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 49,68 = 99,36 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$F = \frac{I_p}{j_3} = \frac{49,36}{1,1} = 45,2 \text{ мм}^2;$$

где  $j=1,1$  А/мм<sup>2</sup> экономическая плотность тока при  $T_m=3000-5000$ ч и

алюминиевых проводах.

Принимаем провод АС –70 с  $I_{доп}=265$  А- по потерям на «корону».

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе:

$$I_{доп}=265 \text{ А} > I_p=49,68 \text{ А}$$

При аварийном режиме:

$$I_{доп ав}=1,3 \cdot I_{доп}=1,3 \cdot 265=344,5 \text{ А} > I_{ав}=99,36 \text{ А} .$$

Окончательно выбираем провод АС-70.

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{лэп} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 49,68^2 \cdot 3,68 \cdot 10^{-3} \cdot 1575 = 85834,53 \text{ кВтч}$$

где  $R=r_0 \cdot L=0,46 \cdot 8=3,68 \text{ Ом}$ ,  $r_0=0,46 \text{ Ом/км}$  - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $70 \text{ мм}^2$ ,  $l=8 \text{ км}$  - длина линии.

Выбор выключателей, разъединителей и ОПН на  $U=115 \text{ кВ}$

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рисунок 3.2) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

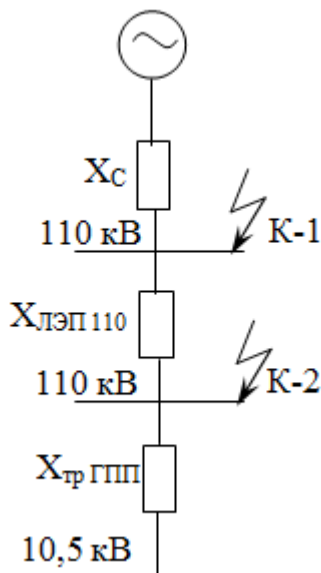


Рисунок 3.2

$$S_б=1000 \text{ МВА}; S_{кз}=600 \text{ МВА}; U_б=115 \text{ кВ}.$$

$$x_c = S_б / S_{кз} = 1000/600 = 1,67 \text{ о.е.},$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА};$$

$$X_{л} = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2} = 0,34 \cdot 8 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,206 \text{ о.е.}$$

$$Ik1 = \frac{I_б}{X_c} = \frac{5,02}{1,67} = 3,01 \text{ кА}; i_{y_{K-1}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot Ik1 = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,01 = 7,67 \text{ кА}$$

$$Sk1 = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot Ik1 = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 3,01 = 600 \text{ МВА};$$

$$Ik2 = \frac{I_6}{X_c + X_l} = \frac{5,02}{1,67 + 0,206} = 2,68 \text{ кА}; i_{y_{K-2}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot Ik2 = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,68 = 6,824 \text{ кА}$$

$$Sk2 = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot Ik2 = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 2,68 = 534 \text{ МВА}.$$

### Выбираем оборудование

Выбираем выключатели В1, В2 типа 3AP1FG-123, завод изготовитель SIEMENS.

Таблица 3.1 - Проверка выбранных выключателей

| Паспортные данные           | Расчетные данные                |
|-----------------------------|---------------------------------|
| $U_H = 110 \text{ кВ}$      | $U_p = 110 \text{ кВ}$          |
| $I_H = 630 \text{ А}$       | $I_{AB} = 99,36 \text{ А}$      |
| $I_{отк} = 20 \text{ кА}$   | $I_{кз} = 3,01 \text{ кА}$      |
| $I_y = 20 \text{ кА}$       | $I_{y_{K-1}} = 7,67 \text{ кА}$ |
| $S_{кз} = 3979 \text{ МВА}$ | $S_{кз K-1} = 600 \text{ МВА}$  |

Т а б л и ц а 3.2 - Выключатели В3 и В4 типа 3AP1FG-123, завод изготовитель SIEMENS

| Паспортные данные           | Расчетные данные                 |
|-----------------------------|----------------------------------|
| $U_H = 110 \text{ кВ}$      | $U_p = 110 \text{ кВ}$           |
| $I_H = 630 \text{ А}$       | $I_{AB} = 99,36 \text{ А}$       |
| $I_{отк} = 20 \text{ кА}$   | $I_{кз} = 2,68 \text{ кА}$       |
| $I_y = 20 \text{ кА}$       | $I_{y_{K-2}} = 6,824 \text{ кА}$ |
| $S_{кз} = 3979 \text{ МВА}$ | $S_{кз K-2} = 534 \text{ МВА}$   |

Т а б л и ц а 3.3 - Разъединители DBF-2123N+2AEBF2, завод изготовитель RUMRTAL

| Паспортные данные                          | Расчетные данные                  |
|--|-----------------------------------|
| $U_H = 110 \text{ кВ}$                     | $U_p = 110 \text{ кВ}$            |
| $I_H = 1000 \text{ А}$                     | $I_{AB} = 99,36 \text{ А}$        |
| $I_{пред скв. ток ампл.} = 80 \text{ кА}$  | $i_y = 6,824$                     |
| $I_{пред. терм. стойк.} = 31,5 \text{ кА}$ | $I_{терм. стойк.} = 3 \text{ кА}$ |

Выбираем ОПНп-3EP4111-2PF31-1NE1, SIEMENS,  $U_H = 110 \text{ кВ}$

Расчет затрат на I вариант

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

1) Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр.гпп} = 2 \times 364,1 = 728,2 \text{ тыс. у.е.}$$

2) Затраты на ЛЭП-110 кВ:

$$K_{ЛЭП-110} = 1 \times K_{лэп} = 8 \times 24,6 = 196,8 \text{ тыс. у.е.}$$

3) Затраты на выключатели В1-В4:

$$K_{В1-В4} = 4 \times 52,9 = 211,6 \text{ тыс. у.е.}$$

4) Затраты на разъединитель:

$$K_{\text{разъед.}}=4 \times 21,5 = 86 \text{ тыс. у.е.}$$

5) Затраты на ОПН:

$$K_{\text{ОПН}}=4 \times 2,2 = 8,8 \text{ тыс. у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$\Sigma K_I = K_{\text{В1-В4}} + K_{\text{ЛЭП-110}} + K_{\text{разъед.}} + K_{\text{ОПН}} + K_{\text{тр.гпп}} = 211,6 + 196,8 + 86 + 8,8 + 728,2 = 1231,4 \text{ тыс. у.е.}$$

Суммарные издержки рассчитываются по формуле:

$$\Sigma I_I = I_a + I_{\text{пот}} + I_{\text{э}}, \text{ у.е.} \quad (3.5)$$

Амортизационные отчисления:

$$I_a: I_a = E_a \cdot K \quad (3.6)$$

Для ВЛ-110 кВ на железобетонных опорах  $E_a=0,028$ , для распределительных устройств и подстанций  $E_a=0,063$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$I_{a.\text{обор.}} = E_{a.\text{обор.}} \times \Sigma K_{\text{обор.}} = E_{a.\text{обор.}} \times (K_{\text{тр.}} + K_{\text{разъед.}} + K_{\text{ОПН}} + K_{\text{В1-В4}}) = 0,063 \times (728,2 + 86 + 8,8 + 211,6) = 65,18 \text{ тыс. у.е.}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$I_{a.\text{лэп}} = E_{a.\text{лэп}} \times K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 196,8 = 5,567 \text{ тыс. у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экспл.обор.}} = E_{\text{экспл.обор.}} \times \Sigma K_{\text{обор.}} = 0,028 \times (728,2 + 86 + 8,8 + 211,6) = 28,97 \text{ тыс. у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экспл.лэп}} = E_{\text{экспл.лэп}} \cdot K_{\text{лэп}} = 0,03 \times 196,8 = 5,904 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость потерь электроэнергии  $C_o=0,08$  тг/кВт·ч.

Определим издержки на потери электроэнергии:

$$I_{\text{пот}} = C_o (\Delta W_{\text{тр. гпп}} + \Delta W_{\text{ЛЭП-110}}) = 0,08 \times (246912,5 + 85834,53) = 26,62 \text{ тыс. у.е.}$$

Определим суммарные издержки:

$$\Sigma I_I = 65,18 + 5,567 + 28,97 + 5,904 + 26,62 = 132,24 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости, определяются по выражению:

$$Z_I = E \cdot K_I + I_I = 0,12 \times 1231,4 + 132,24 = 280 \text{ тыс. у.е.}$$

где  $E=0,12$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений

### 3.2. II Вариант

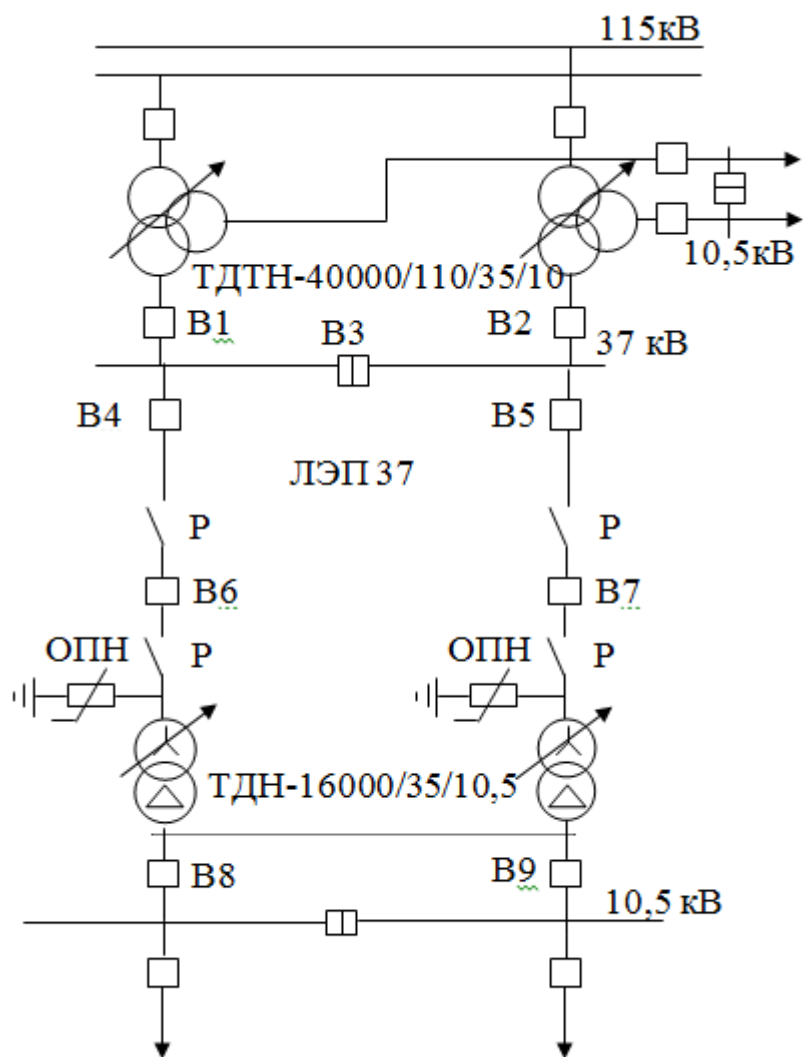


Рисунок 3.3 – Второй вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по II варианту.

Выберем трансформаторы ГПП

Выбираем два трансформатора мощностью 16000 кВА

Коэффициент загрузки = 0,62

Паспортные данные трансформатора: ТДН-16000/35/10,5

$$S_H = 16000 \text{ кВА,}$$

$$U_{BH} = 37 \text{ кВ,}$$

$$U_{HH} = 11 \text{ кВ,}$$

$$\Delta P_{xx} = 21 \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{K3} = 90 \text{ кВт,}$$

$$U_{K3} = 8\%,$$

$$I_{xx} = 0,6 \text{ \%}$$

Потери мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_m = 2 \cdot (P_{xx} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (21 + 90 \cdot 0,62^2) = 111,19 \text{ кВт}$$



$$\Delta Q_T = 2 \cdot \left( \frac{I_{XX}}{100} \cdot S_{HT} + \frac{U_{K3}}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left( \frac{0,6 \cdot 16000}{100} + \frac{8 \cdot 16000 \cdot (0,62)^2}{100} \right) =$$

$$= 1176,06 \text{ кВар}$$

Потери энергии в трансформаторах:

При трехфазном режиме работы  $T_{\text{вкл}}=4000$  ч.  $T_{\text{макс}}=3000$  ч, тогда время максимальных потерь:

$$\tau = 8760 \cdot \left( 0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 = 8760 \cdot \left( 0,124 + \frac{3000}{10000} \right)^2 = 1575 \text{ ч.}$$

Потери энергии в трансформаторах:

$$\Delta W = 2(\Delta P_{\text{xx}} \times T_{\text{вкл}} + \tau \times \Delta P_{\text{кз}} \times (K_3)^2) = 2(21 \times 4000 + 1575 \times 90 \times (0,62)^2) = 276966 \text{ к Вт} \times \text{ч.}$$

Выбираем сечение проводов ЛЭП–35 кВ:

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_m)^2 + Q_3^2} = \sqrt{(19086,4 + 111,19)^2 + 4855^2} = 19802,1 \text{ кВА}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{лэн}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{19802,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 37} = 154,597 \text{ А}$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_p = 2 \times 154,597 = 308,993$$

Выбираем сечение проводов по следующим условиям:  
по экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{154,597}{1,1} = 140 \text{ мм}^2,$$

где  $I_p=154,597$  А расчетный ток линии

$j$  - экономическая плотность тока;

$j=1,1$  А/мм<sup>2</sup> при  $T_m=3000-5000$  ч и алюминиевых проводах.

Принимаем по экономической плотности тока провод АС –150,  $I_{\text{доп}}=320$  А.  
проверим выбранные провода по допустимому нагреву:  
при расчетном токе:

$$I_{\text{доп}}=320 \text{ А} > I_p=154,597 \text{ А}$$

при аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}}=1,3 \times I_{\text{доп}}=1,3 \times 320=416 \text{ А} > I_{\text{ав}}=308,993 \text{ А}$$

Потери электроэнергии в ЛЭП-35:

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \cdot 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot (154,597)^2 \cdot 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot 1575 = 379440 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $R=r_0 \times l=0,21 \times 8=1,68$ ,  $r_0=0,21$  Ом/км удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением  $150 \text{ мм}^2$ ,  $l=8$  км - длина линии.

Трансформатор энергосистемы.

На подстанции энергосистемы расположены два трехобмоточных трансформатора ТДТН –40000/110/37/10,5.

Паспортные данные:

$S_H=40$  МВА,  $U_{ВН}=115$ кВ,  $U_{СН}=38,5$ кВ,  $U_{НН}=11$ кВ,  $\Delta P_{ХХ}=39$  кВт,  $\Delta P_{КЗ}=200$  кВт.  
 $u_{КВН-СН}=10,5$  %,  $u_{КВН-НН}=17,5$  %,  $u_{СН-НН}=6,5$  %,  $I_{ХХ}=0,6$  %,

Коэффициент долевого участия завода в мощности трансформатора системы:  $\gamma = \frac{S_p}{2 \cdot S_{ном.тр.}} = \frac{19694,33}{2 \cdot 40000} = 0,246$

Расчет токов КЗ проведем в относительных единицах. В качестве базисных величин принимаем мощность  $S_б=1000$  МВА и напряжение  $U_б=37$  кВ ,тогда базисный ток будет:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,6 \text{ кА.}$$

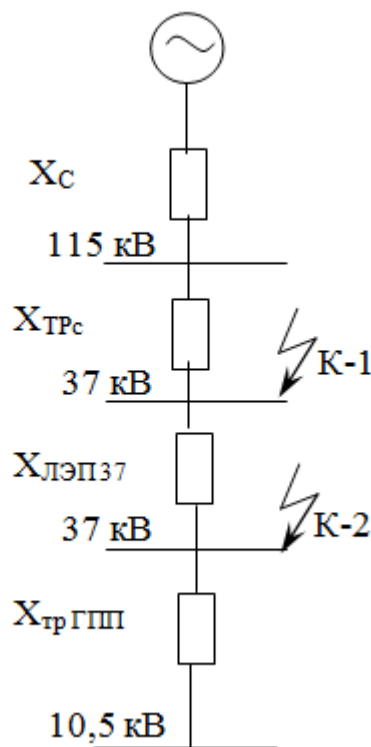


Рисунок 3.4 – Схема замещения для расчета токов короткого замыкания  $S_б=1000$  МВА;  $S_{кз}= 600$  МВА;  $U_б=37$  кВ.

Сопротивление системы:

$$x_c = S_б / S_{кз} = 1000/600=1,67 \text{ о.е.},$$

$$X_{тр.сис} = U_{кз} \cdot S_б / 100 \cdot S_H = 10,5 \cdot 1000 / 100 \cdot 40 = 2,63$$

$$\text{о.е.}, I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 37} = 15,6 \text{ кА};$$

Сопротивление ЛЭП:

$$x_{\text{ЛЭП}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{сн}}^2} = 0,32 \cdot 8 \cdot \frac{1000}{37^2} = 1,87 \text{ о.е.}$$

$$Ik1 = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{трсис}}} = \frac{15,6}{1,67 + 2,63} = 3,64 \text{ кА};$$

$$i_{\text{ук1}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot Ik1 = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,64 = 9,26 \text{ кА}$$

$$Sk1 = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot Ik1 = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 3,64 = 233 \text{ МВА};$$

$$Ik2 = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{трсис}} + X_l} = \frac{15,6}{1,67 + 2,63 + 1,87} = 2,53 \text{ кА};$$

$$i_{\text{ук2}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot Ik2 = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,53 = 6,45 \text{ кА}$$

$$Sk2 = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot Ik2 = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 2,53 = 162 \text{ МВА};$$

Выбираем В1, В2 по аварийному току трансформаторов системы.

Принимаем, что мощность передаваемая через трансформатор по двум вторичным обмоткам трансформаторов распределена поровну (по 50%), поэтому:

$$S_{\text{ав тр сист}} = 2 \times 20 = 40 \text{ МВА.}$$

$$I_{\text{ав}} = S_{\text{ав}} / 1,73 \cdot U_{\text{н}} = 40 \times 1000 / 1,73 \times 37 = 624,2 \text{ А,}$$

$$I_{\text{р}} = I_{\text{ав}} / 2 = 312,1 \text{ А}$$

Выбираем выключатели типа 3AP1FG-123, завод изготовитель SIEMENS

Таблица 3.4 - Проверка выбранных выключателей:

| Паспортные данные                 | Расчетные данные                   |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| $U_{\text{н}} = 35 \text{ кВ}$    | $U_{\text{р}} = 35 \text{ кВ}$     |
| $I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$    | $I_{\text{АВ}} = 624,2 \text{ А}$  |
| $I_{\text{отк}} = 10 \text{ кА}$  | $I_{\text{кз}} = 3,64 \text{ кА}$  |
| $S_{\text{кз}} = 600 \text{ МВА}$ | $S_{\text{к-1}} = 233 \text{ МВА}$ |

Коэффициент долевого участия завода в стоимости выключателей В1 и В2:

$$\gamma = \frac{I_{\text{завода}}}{I_{\text{н}}} = \frac{308,993}{630} = 0,49.$$

Выбор выключателя В3:

$$I_{\text{В3}} = I_{\text{АВ}} / 2 = 312,1 \text{ кА.}$$

Принимаем выключатель 3AP1FG-123, завод изготовитель SIEMENS.

Таблица 3.5 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные  | Расчетные данные    |
|--------------------|---------------------|
| $U_H=35$ кВ        | $U_p=35$ кВ         |
| $I_H=630$ А        | $I_{AB}=312,1$ А    |
| $I_{отк}=10$ кА    | $I_{кз}= 3,64$ кА   |
| $S_{кз} = 600$ МВА | $S_{K-1} = 233$ МВА |

Коэффициент долевого участия завода в стоимости выключателя В3:

$$\gamma = \frac{I_{завода}}{I_H} = \frac{154,497}{630} = 0,246$$

Выбор выключателей В4, В5:  $I_{ав}$  завода=308,993 А.

Принимаем выключатель МКП типа ЗАР1FG-123, завод изготовитель SIEMENS.

Таблица 3.6 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные  | Расчетные данные    |
|--------------------|---------------------|
| $U_H=35$ кВ        | $U_p=35$ кВ         |
| $I_H=630$ А        | $I_{AB}= 308,993$ А |
| $I_{отк}=10$ кА    | $I_{кз}= 3,64$ кА   |
| $S_{кз} = 600$ МВА | $S_{K-1} =233$ МВА  |

Выбор выключателей В6, В7:  $I_{ав}$  завода=310,16 А.

Принимаем выключатель типа ЗАР1FG-123, завод изготовитель SIEMENS.

Таблица 3.7 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные  | Расчетные данные    |
|--------------------|---------------------|
| $U_H=35$ кВ        | $U_p=35$ кВ         |
| $I_H=630$ А        | $I_{AB}= 308,993$ А |
| $I_{отк}=10$ кА    | $I_{кз}= 2,53$ кА   |
| $S_{кз} = 600$ МВА | $S_{K-1} =162$ МВА  |

Таблица 3.8 - Разъединители DBF-2123N+2AEBF2, завод изготовитель RUIHRTAL

| Паспортные данные             | Расчетные данные   |
|-------------------------------|--------------------|
| $U_H=35$ кВ                   | $U_p= 35$ кВ       |
| $I_H=1000$ А                  | $I_{AB}=308,993$ А |
| $I_{пред сквозн дин} =63$ кА  | $I_y = 6,45$ кА    |
| $I_{пред.терм.стойк.} =25$ кА | $I_k = 2,53$ Ка    |

*Расчет затрат на второй вариант.*

Суммарные затраты на оборудование второго варианта:

$$K_{\Sigma 2} = \gamma K_{B1, B2} + \gamma K_{B3} + K_{B4, B5} + K_{ЛЭП} + K_{разъед} + K_{отд} + K_{кз} + \gamma K_{тр-ра} + K_{т.гпп}, \text{тыс.у.е.} \quad (3.7)$$

Затраты на выключатели В1 и В2:

$$K_{B1, B2} = 2 \times \gamma \times K_B = 2 \times 0,49 \times 35,7 = 34,99 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на выключатель В3:

$$K_{B3} = \gamma \times K_B = 0,246 \times 35,7 = 8,78 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на выключатели В4, В5, В6, В7:

$$K_{B4, B5} = 4 \times K_B = 4 \times 35,7 = 142,8 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на ЛЭП

$$K_{уд.} = 16,95 \text{ тыс. у.е./км}$$

$$K_{ЛЭП} = 1 \times K_{уд.} = 8 \times 16,95 = 135,6 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на разъединитель:

$$K_{разъед.} = 4 \times 16,5 = 66 \text{ тыс. у.е.}$$

Затраты на ОПН:

$$K_{ОПН} = 2 \times 1,6 = 3,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Затраты на трансформаторы подстанции энергосистемы:

$$K_{ат} = 2 \times \gamma \times K_{тр} = 2 \times 0,246 \times 700 = 344,4 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{т гпп} = 2 \times 364,1 = 728,2 \text{ тыс у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$K_{\Sigma 2} = 34,99 + 8,78 + 142,8 + 135,6 + 66 + 3,2 + 344,4 + 728,2 = 1463,97 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные издержки на оборудование второго варианта:

$$\Sigma I_2 = I_a + I_{потери} + I_{\Sigma}, \text{ тыс. у.е.} \quad (3.8)$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = 0,028 \times K_{ЛЭП} = 0,028 \times 135,6 = 3,797 \text{ тыс у.е.}$$

Амортизация ЛЭП:

$$I_{а ЛЭП} = 0,028 \times K_{ЛЭП} = 0,028 \times 135,6 = 3,797 \text{ тыс у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экс об}} = 0,03 \times K_{об} = 0,03 \times 600,17 = 18,01 \text{ тыс у.е.,}$$

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

Амортизация оборудования:

$$I_{а об} = 0,063 \times K_{об} = 0,063 \times 600,17 = 37,81 \text{ тыс у.е.}$$

Стоимость потерь:

$$I_{пот} = C_o \times (W_{тргпп} + W_{лэп}) = 0,08 \times (276966 + 379440) = 52,51 \text{ тыс.у. е.}$$

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma 2} = 3,797 + 3,797 + 18,01 + 37,81 + 52,51 = 115,92 \text{ тыс у.е.}$$

Приведенные суммарные затраты:

$$З=0,12 \times K_{\Sigma 2} + И_{\Sigma 2} = 0,12 \times 1463,97 + 115,92 = 291,59 \text{ тыс у.е.}$$

### 3.3. III Вариант

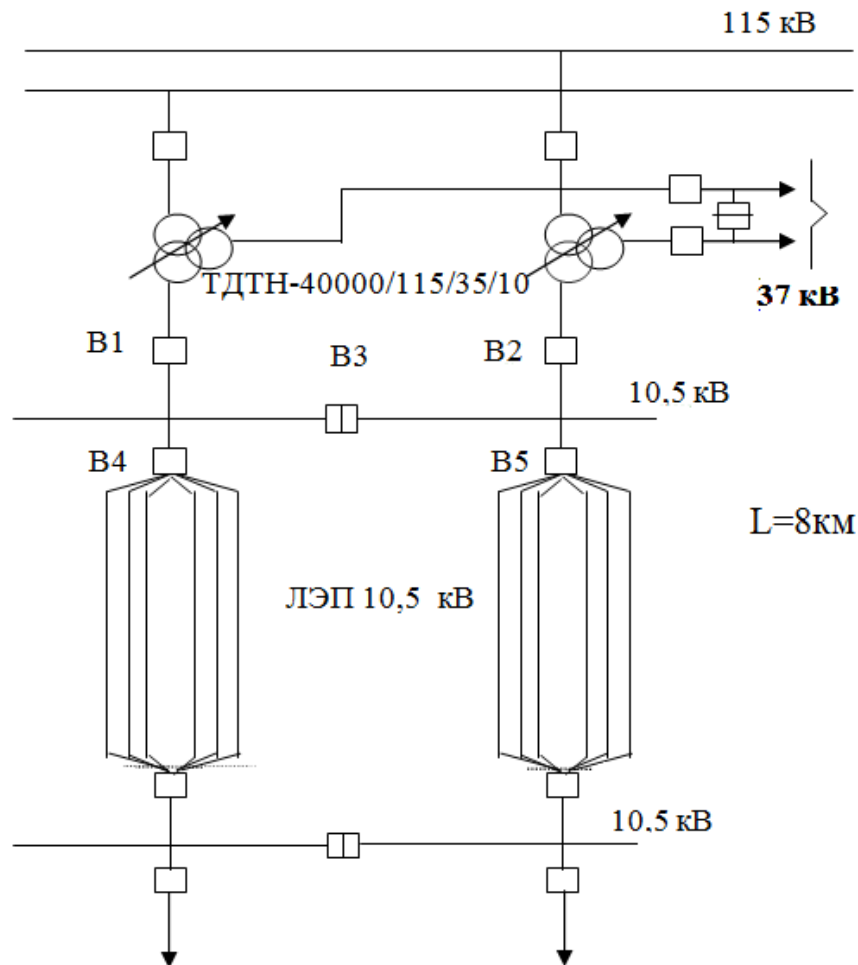


Рисунок 3.3 – Третий вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по III варианту.

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{19086,4^2 + 4855^2} = 19694 \text{ кВА}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{19694}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 541,545 \text{ А}$$

Ток аварийного режима:

$$I_a = 2 \times I_p = 2 \times 541,545 = 1082,89 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение ВЛ-10 кВ:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{541,545}{1,1} = 492 \text{ мм}^2,$$

где  $j=1,1 \text{ А/мм}^2$  экономическая плотность тока при  $T_m=3000 \text{ ч}$  и алюминиевых проводах.

При напряжении 6-10 кВ предельно допустимое сечение проводника –  $120 \text{ мм}^2$ . Выбираем проводник 6АС-95

$$I_{\text{доп}} = 6 \cdot 330 = 1980 \text{ А} .$$

Проверим по допустимому току в нормальном режиме.

При расчетном токе:

$$I_{\text{доп}} = 1980 \text{ А} > I_p = 541,445 \text{ А}$$

При аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 1980 = 2574 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 1082,89 \text{ А}$$

Потери электроэнергии в ЛЭП-10 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 541,445^2 \cdot 0,44 \cdot 10^{-3} \cdot 1575 = 1218970 \text{ кВтч} ,$$

где  $R = \frac{r_0}{N} \cdot l = \frac{0,33}{6} \cdot 8 = 0,44 \text{ Ом}$ ,  $r_0 = 0,33 \text{ Ом/км}$  - удельное сопротивление провода с сечением  $95 \text{ мм}^2$ ,  $l = 8 \text{ км}$  - длина линии.

Выбираем трансформаторы энергосистемы.

ТДН-40000/110,  $S_H = 40000 \text{ кВА}$ ,  $U_{ВН} = 115 \text{ кВ}$ ,  $U_{НН} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $\Delta P_{\text{хх}} = 80 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_{\text{кз}} = 215 \text{ кВт}$ ,  $U_{\text{кз}} = 10,5 \%$ ,  $I_{\text{хх}} = 4 \%$ .

Определим  $\gamma_1$  - коэффициент долевого участия завода в мощности трансформатора ситемы.

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{плэп}}}{2 \cdot S_{\text{нтр}}} = \frac{19694}{2 \cdot 40000} = 0,246$$

Выбор выключателей на стороне  $U = 10,5 \text{ кВ}$ .

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рисунок 3.4) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

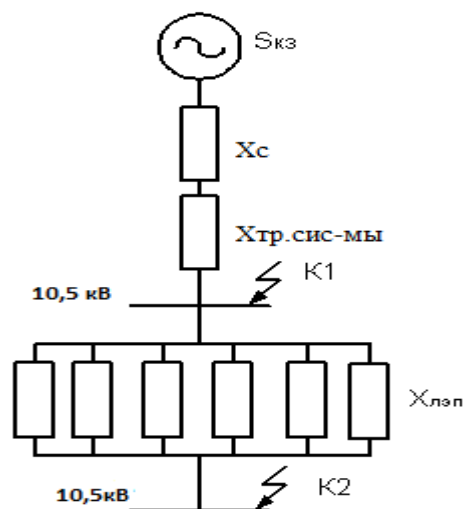


Рисунок 3.4 – Схема замещения для расчета токов к.з.

$$S_6=1000 \text{ МВА}; S_{кз}= 600 \text{ МВА}; U_6=10,5 \text{ кВ}.$$

$$X_{\text{тр.сис}}= U_{кз} \cdot S_6 / 100 \cdot S_H = 10,5 \cdot 1000 / 100 \cdot 40 = 2,625$$

$$\text{о.е.}, I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 10,5} = 54,986 \text{ кА};$$

$$X_L = \frac{X_0}{N} \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,32}{6} \cdot 8 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{k1} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{тр.сис}}} = \frac{54,986}{1,67 + 2,625} = 12,81 \text{ кА};$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{k1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,81 = 32,61 \text{ кА}$$

$$S_{k1} = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_{k1} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 34,9 = 233,01 \text{ МВА};$$

$$I_{k2} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{тр.сис}} + X_L} = \frac{54,986}{1,67 + 2,625 + 3,87} = 6,737 \text{ кА};$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{k2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,737 = 17,15 \text{ кА}$$

$$S_{k2} = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_{k2} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 6,737 = 122,525 \text{ МВА};$$

Выбираем В1, В2 по аварийному току трансформаторов системы.

Принимаем, что мощность, передаваемая через трансформатор по двум вторичным обмоткам трансформаторов, распределена поровну (по 50%), поэтому:

$$S_{\text{ав тр сист}}=2 \times 20=40 \text{ МВА},$$

$$I_{\text{ав}}=S_{\text{ав}}/1,73 \times U_H=40 \times 1000/1,73 \times 10,5=2199 \text{ А},$$

$$I_p=I_{\text{ав}}/2=2199/2=1099,5 \text{ А}.$$

Выбираем выключатели типа ВБЭ-10-31,5/3150УХЛ 2

Таблица 3.9 - Проверка выбранных выключателей

| Паспортные данные                             | Расчетные данные               |
|---|--------------------------------|
| $U_H=10 \text{ кВ}$                           | $U_p=10 \text{ кВ}$            |
| $I_H=3150 \text{ А}$                          | $I_{\text{ав}}=2199 \text{ А}$ |
| $I_{\text{отк}}=31,5 \text{ кА}$              | $I_{кз}= 12,81 \text{ кА}$     |
| $I_{\text{пред сквозн дин}}=80 \text{ кА}$    | $I_y = 32,61 \text{ кА}$       |
| $I_{\text{пред.терм.стойк.}}=31,5 \text{ кА}$ | $I_{кз.} = 12,81 \text{ кА}$   |
| $S_{кз}=600 \text{ МВА}$                      | $S_{к-1}=233,01 \text{ МВА}$   |

Коэффициент долевого участия завода в стоимости выключателей В1 и В2:

$$\gamma = \frac{I_{\text{завода}}}{I_H} = \frac{1082,89}{3150} = 0,344$$

Выбор выключателя В3:



$$I_{B3} = I_{AB}/2 = 1099,5 \text{ A}$$

Принимаем выключатель типа ВБЭ-10-31,5/1600УХЛ 2

Таблица 3.10 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные                        | Расчетные данные               |
|--|--------------------------------|
| $U_H = 10 \text{ кВ}$                    | $U_p = 10 \text{ кВ}$          |
| $I_H = 1600 \text{ А}$                   | $I_{AB} = 1099,5 \text{ А}$    |
| $I_{отк} = 31,5 \text{ кА}$              | $I_{кз} = 12,81 \text{ кА}$    |
| $I_{пред.сквозн.дин} = 80 \text{ кА}$    | $I_y = 32,61 \text{ кА}$       |
| $I_{пред.терм.стойк.} = 31,5 \text{ кА}$ | $I_{кз} = 12,81 \text{ кА}$    |
| $S_{кз} = 600 \text{ МВА}$               | $S_{K-1} = 233,01 \text{ МВА}$ |

Коэффициент долевого участия завода в стоимости выключателя В3:

$$\gamma = \frac{I_{завода}}{I_H} = \frac{1082,89}{1600} = 0,677$$

Выбор выключателей В4, В5:

$$I_{ав.завода} = 1082,89 \text{ А}$$

Принимаем выключатель типа ВБЭ-10-31,5/1600УХЛ 2

Таблица 3.11 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные                        | Расчетные данные               |
|--|--------------------------------|
| $U_H = 10 \text{ кВ}$                    | $U_p = 10 \text{ кВ}$          |
| $I_H = 1600 \text{ А}$                   | $I_{AB} = 1082,89 \text{ А}$   |
| $I_{отк} = 31,5 \text{ кА}$              | $I_{кз} = 12,81 \text{ кА}$    |
| $I_{пред.сквозн.дин} = 80 \text{ кА}$    | $I_y = 32,61 \text{ кА}$       |
| $I_{пред.терм.стойк.} = 31,5 \text{ кА}$ | $I_{кз} = 12,81 \text{ кА}$    |
| $S_{кз} = 600 \text{ МВА}$               | $S_{K-1} = 233,01 \text{ МВА}$ |

Выбираем разъединители типа РВР-Ш-10/2000У3

Ограничители перенапряжения: ЗЕК7150-4СС4,  $U_H = 10 \text{ кВ}$ , SIEMENS.

Затраты на выключатели В1 и В2:

$$K_{B1,B2} = 2 \times \gamma \times K_B = 2 \times 0,344 \times 31,2 = 21,47 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на выключатель В3:

$$K_{B3} = \gamma \times K_B = 0,677 \times 26,5 = 17,94 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на выключатели В4, В5:

$$K_{B4,B5} = 2 \times K_B = 2 \times 26,5 = 53 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на ЛЭП-10 кВ на одноцепной железобетонной опоре  $K_{уд} = 10$  тыс. у.е./км

$$K_{ЛЭП} = 2 \times 6 \times 1 \times K_{уд} = 12 \times 8 \times 10 = 960 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на трансформаторы подстанции энергосистемы:

$$K_{ат} = 2 \times \gamma \times K_{тр} = 2 \times 0,246 \times 700 = 344,4 \text{ тыс у.е.}$$

Затраты на разъединители:

$$K_p = 2 \times K_p = 2 \cdot 10,75 = 21,5 \text{ т.у.е.}$$

Затраты на ОПНп:

$$K_{\text{ОПНп}} = 2 \times K_{\text{ОПНп}} = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ т.у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$K_{\Sigma 2} = 21,47 + 17,94 + 53 + 960 + 344,4 + 21,5 + 2,2 = 1420,51 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные издержки на оборудований второго варианта:

$$\Sigma I_2 = I_a + I_{\text{потери}} + I_{\Sigma}, \text{ тыс. у.е.} \quad (3.9)$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = 0,004 \times K_{\text{ЛЭП}} = 0,004 \times 960 = 3,84 \text{ тыс у.е.}$$

Амортизация ЛЭП:

$$I_{a \text{ ЛЭП}} = 0,028 \times K_{\text{ЛЭП}} = 0,028 \times 960 = 26,88 \text{ тыс у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экс об}} = 0,03 \times K_{\text{об}} = 0,03 \times 460,51 = 13,82 \text{ тыс у.е.,}$$

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

Амортизация оборудования:

$$I_{a \text{ об}} = 0,063 \times K_{\text{об}} = 0,063 \times 460,51 = 29,01 \text{ тыс у.е.}$$

Стоимость потерь:

$$I_{\text{пот}} = C_o \times W_{\text{ЛЭП}} = 0,08 \times 1218970 = 97,52 \text{ тыс.у. е.}$$

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma 2} = 3,84 + 26,88 + 13,82 + 29,01 + 97,52 = 171,07 \text{ е.}$$

Приведенные суммарные затраты:

$$З = 0,12 \times K_{\Sigma 2} + I_{\Sigma 2} = 0,12 \times 1420,51 + 171,94 = 341,53 \text{ у.е.}$$

Составим сводную таблицу 3.12 по всем вариантам.

Таблица 3.12 – Результаты ТЭР.

| Вариант | Un кВ | $\Sigma K$ тыс. у.е. | $\Sigma I$ тыс. у.е. | З тыс. у.е. |
|---------|-------|----------------------|----------------------|-------------|
| I       | 110   | 1231,4               | 132,24               | 280         |
| II      | 35    | 1463,97              | 115,92               | 291,59      |
| III     | 10    | 1420,51              | 171,07               | 341,53      |

Вывод: Выбираем первый вариант так как, он экономически более выгоден при строительстве электроснабжения завода.

## 4 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания $U > 1 \text{ кВ}$

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

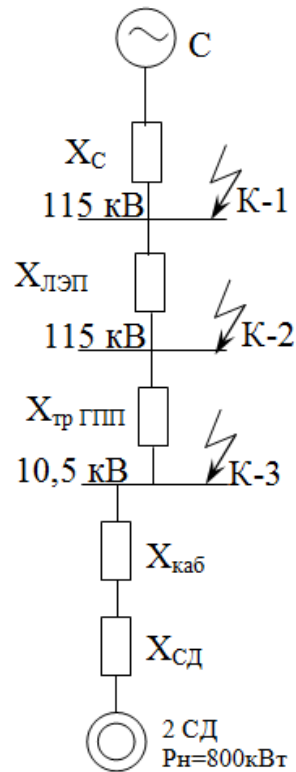


Рисунок 4.1 – Схема замещения для расчета токов к.з.

Найдем параметры схемы замещения.  $S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}$ ;  $S_{кз} = 600 \text{ МВА}$ ;  
 $U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $x_c = 1,67 \text{ о.е.}$ ,

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА};$$

$$X_{Л} = L \cdot X_0 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{ср}^2} = 0,34 \cdot 8 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,206 \text{ о.е.}$$

$$X_{ТРГПП} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_H} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6,56 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{K-3} = \frac{I_B}{X_C + X_{ЛЭП} + X_{ТРГПП}} = \frac{54,986}{1,67 + 0,206 + 6,56} = 6,518 \text{ кА.}$$

В компрессорной станции установлено 4 синхронных двигателя типа СДН14-56-10У3 со следующими характеристиками:

$$P_H = 800 \text{ кВт}; U_H = 10 \text{ кВ}; \eta = 94\%; X''_d = 0,2.$$

$$S_{НСД1,2} = \frac{P_{НСД}}{\cos\varphi} = \frac{800}{0,9} = 888,8 \text{ кВА.}$$

$$X_{СД1,2} = X''_d \cdot \frac{S_{\sigma}}{\sum S_{НСД}} = 0,2 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{2 \cdot 888,89} = 112,5 \text{ о.е.}$$

$$I_{НСД1,2} = \frac{S_{НСД} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{888,89 \cdot 10^3 \cdot 0,85}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 41,55 \text{ А.}$$

Выбираем кабель к СД по экономической плотности тока:

$$F_{\Sigma} = \frac{I_{НСД1,2}}{j_{\Sigma}} = \frac{41,55}{1,4} = 29,67 \text{ мм}^2 ,$$

$$F_{\min} = \alpha \cdot I_{кз} \cdot \sqrt{t_{np}} = 12 \cdot 6,518 \cdot \sqrt{0,63} = 62,082 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель ААШВ-10-(3×70),  $I_{доп} = 165 \text{ А}$  у которого  $X_0 = 0,086 \text{ Ом/км}$ .

Сопротивление кабельной линии, питающей СД:

$$X_{КЛкСД} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_H^2 \cdot N} = 0,086 \cdot 0,24 \cdot \frac{1000}{10,5^2 \cdot 2} = 0,094 \text{ о.е.}$$

Ток КЗ от СД:

$$E_{СД} = E'' \cdot \frac{U_H}{U_B} = 1,1 \cdot \frac{10}{10,5} = 1,048.$$

$$I_{кз\Sigma СД} = \frac{E_{СД} \cdot I_B}{X_{КЛ} + X_{СД1,2}} = \frac{1,048 \cdot 54,986}{0,094 + 112,5} = 0,512 \text{ кА,}$$

Суммарный ток КЗ в точке К-3:

$$I_{К-3,\Sigma} = I_{К-3} + I_{кз\Sigma СД} = 6,518 + 0,512 = 7,03 \text{ кА}$$

Суммарный ударный ток:

$$i_{y\delta К\Sigma} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{К-3\Sigma} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,03 = 17,9 \text{ кА.}$$

Мощность КЗ:

$$S_{КЗ\Sigma} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{К-3\Sigma} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 7,03 = 127,85 \text{ МВА.}$$

## 4.2 Выбор силового оборудования и кабелей отходящих линий от шин ГПП и между ТП

### 4.2.1 Выбор вводных выключателей В5, В6:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{19086,4^2 + 4855^2} = 19694,33 \text{ кВА};$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{19694,33}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 541,5 \text{ А}$$

Аварийный ток:

$$I_a = 2 \times I_p = 2 \times 541,5 = 1083 \text{ А}$$

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-20/1600У2.

Таблица 4.1 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные              | Расчетные данные           |
|--------------------------------|----------------------------|
| $U_n = 10 \text{ кВ}$          | $U = 10 \text{ кВ}$        |
| $I_n = 1600 \text{ А}$         | $I_{AB} = 1083 \text{ А}$  |
| $I_{откл} = 20 \text{ кА}$     | $I_{кз} = 7,03 \text{ кА}$ |
| $I_{пред скв} = 51 \text{ кА}$ | $I_y = 17,9 \text{ кА}$    |
| Привод электромагнитный        |                            |

Выбор секционного выключателя В7:

Через секционный выключатель проходит половина мощности, проходящей через вводные выключатели. Следовательно, аварийный ток, проходящий через выключатель:  $I_{AB} = 541,5 \text{ А}$ .

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 4.2 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные данные              | Расчетные данные           |
|--------------------------------|----------------------------|
| $U_n = 10 \text{ кВ}$          | $U = 10 \text{ кВ}$        |
| $I_n = 630 \text{ А}$          | $I_{AB} = 541,5 \text{ А}$ |
| $I_{откл} = 12,5 \text{ кА}$   | $I_{кз} = 7,03 \text{ кА}$ |
| $I_{пред скв} = 32 \text{ кА}$ | $I_y = 17,9 \text{ кА}$    |
| Привод электромагнитный        |                            |

Выбор выключателей отходящих линий:

Магистраль ГПП-ТП1-ТП2-ТП3.

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2} \quad (4.1)$$

$$S_p = \sqrt{(3712,24 + 43,99)^2 + (1496,75 + 233,26)^2} = 4135,48 \text{ кВА}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4223,06}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 113,69 \text{ А}$$

Аварийный ток:

$$I_a = 2 \times I_p = 2 \times 113,69 = 227,39 \text{ A}$$

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Таблица 4.3 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные                 | Расчетные               |
|----------------------------|-------------------------|
| U <sub>н</sub> =10 кВ      | U=10 кВ                 |
| I <sub>н</sub> =630А       | I <sub>ав</sub> =227,39 |
| I <sub>откл</sub> =12,5 кА | I <sub>кз</sub> =7,03   |
| I <sub>скв</sub> =32 кА    | I <sub>у</sub> =17,9кА  |
| Привод электромагнитный    |                         |

Магистраль ГПП-ТП4-ТП5-ТП6.

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2} \quad (4.2)$$

$$S_p = \sqrt{(3558,79 + 44,81)^2 + (1436,03 + 237,71)^2} = 3973,32 \text{ кВА}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3973,32}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 109,23 \text{ A}$$

Аварийный ток:

$$I_a = 2 \times I_p = 2 \times 109,23 = 218,47 \text{ A}$$

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Таблица 4.4 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные                 | Расчетные                |
|----------------------------|--------------------------|
| U <sub>н</sub> =10 кВ      | U=10 кВ                  |
| I <sub>н</sub> =630А       | I <sub>ав</sub> =218,47А |
| I <sub>откл</sub> =12,5 кА | I <sub>кз</sub> =7,03 кА |
| I <sub>скв</sub> =32 кА    | I <sub>у</sub> =17,9     |
| Привод электромагнитный    |                          |

Магистраль ГПП- ТП7-ТП8.

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2} \quad (4.3)$$

$$S_p = \sqrt{(2819,32 + 37,25)^2 + (1113,8 + 197,73)^2} = 3143,26 \text{ кВА}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3143,26}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 86,42 \text{ A}$$

Аварийный ток:

$$I_a = 2 \times I_p = 2 \times 116 = 172,83$$

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Таблица 4.5 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные                 | Расчетные               |
|----------------------------|-------------------------|
| U <sub>н</sub> =10 кВ      | U=10 кВ                 |
| I <sub>н</sub> =630А       | I <sub>ав</sub> =172,83 |
| I <sub>откл</sub> =12,5 кА | I <sub>кз</sub> =7,03кА |
| I <sub>скв</sub> =32 кА    | I <sub>у</sub> =17,9кА  |
| Привод электромагнитный    |                         |

Выключатели ГПП-СД.

$$S_{НСД} = \frac{P_{НСД}}{\cos\varphi} = \frac{800}{0,9} = 888,89 \text{ кВА};$$

$$I_{НСД,2} = \frac{S_{НСД} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{888,89 \cdot 0,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 39,1 \text{ А.}$$

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Проверим выбранный выключатель:

Таблица 4.6 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные                 | Расчетные                |
|----------------------------|--------------------------|
| U <sub>н</sub> =10 кВ      | U=10 кВ                  |
| I <sub>н</sub> =630А       | I <sub>ав</sub> =39,1 А  |
| I <sub>откл</sub> =12,5 кА | I <sub>кз</sub> =7,03 кА |
| I <sub>скв</sub> =32 кА    | I <sub>у</sub> =17,9кА   |
| Привод электромагнитный    |                          |

Выключатели к ДСП.

$$P_{рдсп} = S_H \cdot K_3 \cdot \cos\varphi = 5000 \cdot 0,7 \cdot 0,85 = 2975 \text{ кВт};$$

$$Q_{рдсп} = P_{рдсп} \cdot \text{tg}\varphi = 2975 \cdot 0,62 = 1844,5 \text{ квар};$$

$$Q_{вбк} = 1800 \text{ квар.}$$

$$S_{рдсп} = \sqrt{(P_{рдсп} + \Delta P_{тдсп})^2 + (Q_{рдсп} + \Delta Q_{тдсп} - Q_{вбк})^2}. \quad (4.4)$$

$$S_p = \sqrt{(2975 + 100)^2 + (1844,5 + 500 - 1350)^2} = 3231,819 \text{ кВА}$$

$$I_{рдсп} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3122,84}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 177,7 \text{ А.}$$

Принимаем выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630У2.

Таблица 4.7 - Проверка выбранного выключателя

| Паспортные                 | Расчетные                |
|----------------------------|--------------------------|
| U <sub>н</sub> =10 кВ      | U=10 кВ                  |
| I <sub>н</sub> =630А       | I <sub>ав</sub> =177,7 А |
| I <sub>откл</sub> =12,5 кА | I <sub>кз</sub> =7,03 кА |
| I <sub>скв</sub> =32 кА    | I <sub>у</sub> =17,9 кА  |
| Привод электромагнитный    |                          |

#### 4.2.2 Выбор трансформаторов тока

##### Условия выбора ТТ

по напряжению установки:  $U_{\text{ном ТТ}} \geq U_{\text{ном уст-ки}}$ ;

по току:  $I_{\text{ном ТТ}} \geq I_{\text{расч}}$ ;

по электродинамической стойкости:

по вторичной нагрузки:  $S_{\text{н2}} \geq S_{\text{нагр расч}}$ ;

по термической стойкости:  $I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} > \text{Вк}$ ;

по конструкции и классу точности

##### Трансформаторы тока ввода

На вводах к шинам первой и второй секции и на секционном выключателе

Примем трансформатор тока ТЛ-10 УЗ:  $I_{\text{н}} = 1500 \text{ А}$  ;  $S_{\text{н}} = 30 \text{ ВА}$ ,  $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$ ,  $I_{\text{доп. терм. ст.}} = 31,5 \text{ кА}$ ,  $t_{\text{доп}} = 4 \text{ с}$ .

Таблица 4.8 – Нагрузка трансформатора тока

| Прибор | Тип      | Фаза А, ВА | Фаза В, ВА | Фаза С, ВА |
|--------|----------|------------|------------|------------|
| 1      | 2        | 3          | 4          | 5          |
| А      | Э-350    | 0,5        | 0,5        | 0,5        |
| W      | Д-365    | 0,5        | -          | 0,5        |
| Var    | И-395    | 0,5        | -          | 0,5        |
| Wh     | САЗ-И681 | 2,5        | 2,5        | 2,5        |
| Varh   | СРУ-И689 | 2,5        | 2,5        | 2,5        |
| Итого  |          | 6,5        | 5,5        | 6,5        |

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

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

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} \quad (4.5)$$

Сопротивление приборов определяется по формуле:

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

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



где  $S_{\text{приб.}}$  – мощность, потребляемая приборами;  
 $I_2$  – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = r_{2Н} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом.}$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 8}{0,84} = 0,267 \text{ мм}^2;$$

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

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 8}{2,5} = 0,0896 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,0896 + 0,1 = 0,45 \text{ Ом}$$

$$S_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 0,45 \cdot 5^2 = 11,25 \text{ ВА};$$

$$Вк = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 7,03^2 \times (0,095 + 0,04) = 6,672 \text{ кА}^2 \text{с.}$$

Таблица 4.9 - Условия проверки ТТ ТЛ-10У3

| Расчетные величины               | По каталогу                             |
|----------------------------------|---|
| $U_H=10 \text{ кВ}$              | $U_H=10 \text{ кВ}$                     |
| $I_{\text{ав}}=1083 \text{ А}$   | $I_H=1500 \text{ А}$                    |
| $Вк=6,672 \text{ кА}^2 \text{с}$ | $I_T^2 t_T=33075 \text{ кА}^2 \text{с}$ |
| $i_{\text{уд}}=17,9 \text{ кА}$  | $I_{\text{дин}}=81 \text{ кА}$          |
| $S_{2\text{р}}=11,25 \text{ ВА}$ | $S_{2\text{н}}=30 \text{ ВА}$           |
| $Z_{2\text{р}}=0,45 \text{ Ом}$  | $Z_{2\text{н}}=0,8 \text{ Ом}$          |

Трансформатор тока на линии ГПП-ТП7-ТП8:

Таблица 4.10 – Нагрузка трансформатора тока

| Прибор | Тип      | А, ВА | В, ВА | С, ВА |
|--------|----------|-------|-------|-------|
| 1      | 2        | 3     | 4     | 5     |
| А      | Э-350    | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| Wh     | СА3-И681 | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Varh   | СР4-И689 | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| W      | Д-355    | 0,5   | -     | 0,5   |
| Var    | Д-345    | 0,5   | -     | 0,5   |
| Итого  |          | 6,5   | 5,5   | 6,5   |

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

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

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} \quad (4.6)$$

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

$$r_{2\text{н}} = \frac{S_{2\text{нГТ}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами;  
 $I_2$  – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}.$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 8}{0,44} = 0,51 \text{ мм}^2;$$

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

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 8}{2,5} = 0,0896 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,45 \times 5^2 = 11,25 \text{ ВА};$$

где  $R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,0896 + 0,1 = 0,45 \text{ Ом}$

$$Вк = I_{\text{кз}}^2 \times (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 7,03^2 \times (0,095 + 0,04) = 6,467 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Примем трансформатор тока ТЛ-10У3:

Таблица 4.11

| Расчетные величины               | По каталогу  |
|----------------------------------|--|
| $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$     | $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$                             |
| $I_{\text{ав}}=192,84 \text{ А}$ | $I_{\text{н}}=1000 \text{ А}$                            |
| $Вк=6,672 \text{ кА}^2\text{с}$  | $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}=33075 \text{ кА}^2\text{с}$ |
| $i_{\text{вд}}=17,9 \text{ кА}$  | $I_{\text{дин}}=81 \text{ кА}$                           |
| $S_{2\text{р}}=11,25 \text{ ВА}$ | $S_{2\text{н}}=20 \text{ ВА}$                            |
| $Z_{2\text{р}}=0,45 \text{ Ом}$  | $Z_{2\text{н}}=0,8 \text{ Ом}$                           |

Выбор трансформаторов тока на СД:

Таблица 4.12 – Нагрузка трансформатора тока

| Прибор | Тип      | А, ВА | В, ВА | С, ВА |
|--------|----------|-------|-------|-------|
| 1      | 2        | 3     | 4     | 5     |
| А      | Э-350    | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| А      | Э-350    | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| А      | Э-350    | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| Wh     | СА3-И681 | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| Varh   | СР4-И689 | 2,5   | 2,5   | 2,5   |
| W      | Д-355    | 0,5   | -     | 0,5   |
| Var    | Д-345    | 0,5   | -     | 0,5   |
| Итого  |          | 7,5   | 6,5   | 7,5   |

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

$$r_{2\text{н-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{15}{5^2} = 0,6 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доп}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,6 - 0,26 - 0,1 = 0,24 \text{ Ом};$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 8}{0,24} = 0,93 \text{ мм}^2;$$

принимаем провод АКРТВ;  $F=2,5 \text{ мм}^2$ ;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 8}{2,5} = 0,0896 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,0896 + 0,1 = 0,45 \text{ Ом};$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,45 \times 5^2 = 11,25 \text{ ВА}.$$

Примем ТПЛК-10У3:

Таблица 4.13

| Расчетные величины               | По каталогу                      |
|----------------------------------|----------------------------------|
| $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$     | $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$     |
| $I_{\text{р}}=39,1 \text{ А}$    | $I_{\text{н}}=50 \text{ А}$      |
| $i_{\text{уд}}=17,9 \text{ кА}$  | $I_{\text{дин}}=74,5 \text{ кА}$ |
| $S_{2\text{р}}=11,25 \text{ ВА}$ | $S_{2\text{н}}=15 \text{ ВА}$    |

Трансформаторы тока на ДСП:

Трансформатор тока на ДСП:  $I_{\text{ав}} = 177,13 \text{ А}$ ; примем трансформатор тока ТПЛК-10У3:  $I_{\text{н}} = 300 \text{ А}$ ;  $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$ ;  $S_{\text{н}} = 15 \text{ ВА}$ .

Проверим трансформатор тока ТПЛК-10УЗ:

Таблица 4.14

| Расчетные величины           | По каталогу                         |
|------------------------------|-------------------------------------|
| $U_H=10$ кВ                  | $U_H=10$ кВ                         |
| $I_{ав}=177,13$ А            | $I_H=300$ А                         |
| $BK=6,672$ кА <sup>2</sup> с | $I_T^2 t_T=33075$ кА <sup>2</sup> с |
| $i_{уд}=17,9$ кА             | $I_{дин}=74,5$ кА                   |
| $S_{2p}=11,25$ ВА            | $S_{2H}=15$ ВА                      |
| $Z_{2p}=0,45$ Ом             | $Z_{2H}=0,8$ Ом                     |

#### 4.2.3 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:  
 по напряжению установки:  $U_{ном} \geq U_{уст}$ ;  
 по вторичной нагрузке:  $S_{ном2} \geq S_{2расч}$ ;  
 по классу точности;  
 по конструкции и схеме соединения.

Таблица 4.15 – Нагрузка трансформатора напряжения

| Прибор | Тип      | $S_{об-ки}$ ,<br>ВА | Число<br>об-к | $\cos \square$ | $\sin \square$ | Число<br>приборов | $P_{сум}$ ,<br>Вт | $Q_{сум}$ ,<br>вар |
|--------|----------|---------------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1      | 2        | 3                   | 4             | 5              | 6              | 7                 | 8                 | 9                  |
| V      | Э-335    | 2                   | 2             | 1              | 0              | 2                 | 4                 | -                  |
| 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          | 8                 | 48                | 116,84             |
| Varh   | СР4-И689 | 3 вар               | 2             | 0,38           | 0,925          | 8                 | 48                | 116,84             |
| Итого  |          |                     |               |                |                |                   | 106               | 233,68             |

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P_{сум}^2 + Q_{сум}^2} = \sqrt{106^2 + 233,68^2} = 256,59 \text{ ВА.}$$

Принимаем трансформатор напряжения типа НАМИ – 10- 66 УЗ

Таблица 4.16

|  |                    |
|--|--------------------|
| $U_{HT}=10$ кВ                                   | $U_{HT}=10$ кВ     |
| $S_{H2}=500$ кВА                                 | $S_{p2}=256,59$ ВА |
| Схема соединения обмоток $Y^o/Y^o/\triangle_1-0$ |                    |

#### 4.2.4 Выключатели нагрузки к цеховым трансформаторам

Расчёт токов, проходящих по кабелям, приведён ниже.

Токи, проходящие по линиям к цеховым подстанциям:

ТП1:  $I_{ав} = 227,38$  А ;      ТП4:  $I_{ав} = 218,46$  А ;      ТП7:  $I_{ав} = 172,84$  А ;  
 ТП2:  $I_{ав} = 113,69$  А ;      ТП5:  $I_{ав} = 109,23$  А ;      ТП8:  $I_{ав} = 86,42$  А .

ТП3:  $I_{ав} = 56,846 \text{ А}$  .      ТП6:  $I_{ав} = 54,615$ ;

Для всех трансформаторов принимаем выключатель нагрузки типа  
ВНПу – 10 / 400 – 10У3

Таблица 4.17

| Паспортные данные   | Расчётные данные  |
|---|---|
| $U_H = 10 \text{ кВ}$<br>$I_H = 400 \text{ А}$<br>$I_{скв} = 25 \text{ кА}$ | $U_P = 10 \text{ кВ}$<br>$I_{ав} = 192,84 \text{ А} - 227,38 \text{ А}$<br>$i_{уд} = 17,9 \text{ кА}$ |

На ТП3, ТП6, ТП8- устанавливаем предохранители типа  
ПКТ104-10-31,5У3.

На ТП-1, ТП2, ТП4, ТП5, ТП7 - устанавливаем предохранители типа,  
ПКТ104-10-12,5У3.

#### 4.2.5 Выбор силовых кабелей отходящих линий от шин ГПП и между ТП.

Выбор кабелей производится по следующим условиям:  
по экономической плотности тока:

$$F_3 = \frac{I_p}{\gamma_3}; \quad (4.7)$$

по минимальному сечению:

$$F_{\min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_{п}}; \quad (4.8)$$

по условию нагрева рабочим током:

$$I_{\text{доп каб}} \geq I_p; \quad (4.9)$$

по аварийному режиму:

$$I_{\text{доп ав}} \geq I_{ав}; \quad (4.10)$$

по потере напряжения:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U_{\text{рас}}. \quad (4.11)$$

Выбираем кабель ГПП-ТП1-ТП2-ТП3:

$$S_{\text{рГПП,2,3}} = 4223,06 \text{ кВА}; \quad I_p = 116,1 \text{ А}; \quad I_{ав} = 232,2 \text{ А}$$

а) по экономической плотности тока:

$$F_3 = I_p / j_{эк} = 116,1 / 1,4 = 83 \text{ мм}^2. \quad j_{эк} = 1,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Принимаем кабель марки ААШв-10-(3□95);  $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$ ;

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

$$F_{\min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_{\text{привед}}}, = 12 \times 7,03 \times \sqrt{0,4} = 53,35; \text{ мм}^2$$

принимает кабель ААШВ-10-(3×95);  $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$ ;

в) проверка по аварийному току:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \times 205 = 266,5 \text{ А} < 232,2 \text{ А};$$

Условия выполняются, тогда окончательно принимаем кабель марки ААШВ-10-(3×95), с  $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$ .

Все расчетные данные выбора остальных кабелей занесены в таблицу 4.5 – Кабельный журнал.

#### 4.2.6 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-80×6;  $I_{\text{доп}} = 1151 \text{ А}$  (одна полоса на фазу),  $I_{\text{ав}} = 1083 \text{ А}$ ;  $i_{\text{уд}} = 17,9 \text{ кА}$

а)  $I_{\text{доп}} > I_{\text{ав}}$ ;

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

$$F_{\text{min}} = I_{\text{кз}} \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \times 7,03 \times 0,77 = 64,96 \text{ мм}^2 < 480 \text{ мм}^2;$$

в) проверка по динамической стойкости к  $i_{\text{уд кз}}$   $< i_{\text{уд доп}} = 650 \text{ кгс/см}^2$ :

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a} = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times 17,9^2 \times 40}{60} = 3,74 \text{ кгс};$$

$$W = 0,167 \times b \times h^2 = 0,167 \times 8 \times 0,6^2 = 0,48 \text{ см}^3$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \times L}{10 \times W} = \frac{3,74 \times 40}{10 \times 0,48} = 31,17 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

где  $L = 40 \text{ см}$ -расстояние между изоляторами;

$a = 60 \text{ см}$ -расстояние между фазами;

$b = 8 \text{ см}$ -толщина одной полосы;

$h = 0,6 \text{ см}$ -ширина (высота) шины.

Из условия видно, что шины динамически устойчивы.

#### 4.2.7 Выбор изоляторов

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

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

по допустимой нагрузке:  $F_{\text{доп}} > F_{\text{расч}}$ ,

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

$F_{\text{доп}}$  – допустимая нагрузка на головку изолятора,  $F_{\text{доп}} = 0,6 \times F_{\text{разруш}}$ ;

$F_{\text{разруш}}$  – разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times 17,9^2 \times 40}{60} = 37 \text{ кгс.}$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-20УХЛ1,  $F_{\text{разруш}} = 200$  кгс.

$F_{\text{доп}} = 0,6 \times F_{\text{разруш}} = 0,6 \times 200 = 120$  кгс. ( $> 37$ кгс), условие выполняется.

Таблица 4.5 - Кабельный журнал

| Наименование участка | S <sub>p</sub> , кВА | Кол-во кабелей в траншее | Нагрузка           |                     | По экономической плотности тока |                                  | По току короткого замыкания |                                    | По условию нагрева рабочим током |                    | По аварийному режиму |                     | Выбранный кабель | I <sub>доп</sub> , А |
|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|------------------|----------------------|
|                      |                      |                          | I <sub>p</sub> , А | I <sub>ав</sub> , А | j <sub>э</sub>                  | F <sub>э</sub> , мм <sup>2</sup> | I <sub>к</sub> , кА         | F <sub>min</sub> , мм <sup>2</sup> | I <sub>доп</sub> каб, А          | I <sub>p</sub> , А | 1,3I <sub>доп</sub>  | I <sub>ав</sub> , А |                  |                      |
| 1                    | 2                    | 3                        | 4                  | 5                   | 6                               | 7                                | 8                           | 9                                  | 10                               | 11                 | 12                   | 13                  | 14               | 15                   |
| ГПП-ТП1,ТП2,ТП3      | 4135,48              | 6                        | 113,69             | 227,38              | 1,4                             | 81,2                             | 7,03                        | 53,35                              | 205                              | 113,69             | 266,5                | 227,38              | 2ААШВ-10-(3x95)  | 205                  |
| ТП1-ТП2              | 2067,74              | 2                        | 56,845             | 113,69              | 1,4                             | 40,6                             | 7,03                        | 53,35                              | 165                              | 56,845             | 214,5                | 113,69              | 2ААШВ-10-(3x70)  | 165                  |
| ТП2-ТП3              | 1033,87              | 1                        | 28,423             | 56,845              | 1,4                             | 20,3                             | 7,03                        | 53,35                              | 165                              | 28,423             | 214,5                | 56,845              | ААШВ-10-(3x70)   | 165                  |
| ГПП-ТП4,ТП5,ТП6      | 3973,32              | 6                        | 109,23             | 218,46              | 1,4                             | 78                               | 7,03                        | 53,35                              | 205                              | 109,23             | 266,5                | 218,46              | 2ААШВ-10-(3x95)  | 205                  |
| ТП4-ТП5              | 1986,66              | 2                        | 54,615             | 109,23              | 1,4                             | 39                               | 7,03                        | 53,35                              | 165                              | 54,615             | 214,5                | 109,23              | 2ААШВ-10-(3x70)  | 165                  |
| ТП5-ТП6              | 993,33               | 1                        | 27,308             | 54,615              | 1,4                             | 19,5                             | 7,03                        | 53,35                              | 165                              | 27,308             | 214,5                | 54,615              | ААШВ-10-(3x70)   | 165                  |
| ГПП-ТП7,ТП8          | 3143,26              | 6                        | 86,42              | 172,84              | 1,4                             | 62                               | 7,03                        | 53,35                              | 205                              | 86,42              | 266,5                | 172,84              | 2ААШВ-10-(3x95)  | 205                  |
| ТП7-ТП8              | 1571,63              | 2                        | 43,21              | 86,42               | 1,4                             | 34,4                             | 7,03                        | 53,35                              | 165                              | 43,21              | 214,5                | 86,42               | 2ААШВ-10-(3x70)  | 165                  |
| ГПП-СД               | 888,89               | 6                        | 39,1               | 39,1                | 1,4                             | 28                               | 7,03                        | 53,35                              | 165                              | 39,1               | 214,5                | 39,1                | 4ААШВ-10-(3x70)  | 165                  |
| ГПП-ДСП              | 3231,819             | 6                        | 177,7              | 177,7               | 1,4                             | 127                              | 7,03                        | 53,35                              | 275                              | 177,7              | 357,5                | 177,7               | 2ААШВ-10-(3x150) | 275                  |



## **5 Автоматическое регулирование реактивной мощности с помощью высоковольтных конденсаторных батарей**

Основными потребителями электроэнергии на промышленных предприятиях являются индуктивные приемники, главным образом асинхронные электродвигатели и трансформаторы. Для работы этих приемников требуется создание переменного магнитного поля, для чего необходим намагничивающий (реактивный ток). Поэтому в электросетях переменного тока кроме активной мощности, необходимой для обеспечения работы электроприемников, происходит передача реактивной мощности. Покрытие реактивной, как и активной мощности осуществляется генераторами электростанций.

Для экономического режима работы системы электроснабжения необходимо стремиться к уменьшению передаваемой реактивной мощности по электросетям как путем улучшения режима работы электроприемников, упорядочения технологического процесса и др., так и путем установки специальных компенсирующих устройств. К основным компенсирующим устройствам относятся конденсаторы для повышения коэффициента мощности, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели, выпрямители с опережающим углом сдвига фаз тока относительно напряжения, новые статические управляемые компенсирующие устройства (вентильные и ферромагнитные) и др. Низкий коэффициент мощности при одной и той же активной мощности приводит к повышению тока, а следовательно, и к увеличению потери напряжения, что вызывает отклонение напряжения от номинального значения в системе электроснабжения и ухудшает режим работы электроприемников. Напряжение в электрической сети можно повысить, если подключить к ней компенсирующее устройство. Состав потребителей реактивной мощности показывает, что основную часть реактивной мощности потребляют четыре вида устройств: асинхронные двигатели – 40 % (совместно с бытовыми, сельскохозяйственными электродвигателями и асинхронными электроприводами собственных нужд электростанций), электропечные установки – 8 %; вентильные преобразователи – 10 %, трансформаторы всех ступеней трансформации (потери в них) – 35 %, линии электропередачи (потери в них) – 7 %. Так как превалирует индуктивная нагрузка, то одновременно с активной мощностью по сети должна передаваться и реактивная мощность индуктивного характера. Рациональная компенсация реактивной мощности приводит к снижению потерь мощности из-за перетоков реактивной мощности, обеспечению надлежащего качества потребляемой электроэнергии за счет регулирования и стабилизации уровня напряжений в электросетях.

### **5.1 Реактивная мощность**

Реактивная мощность-мощность, которую источник переменного тока в течение одной четверти периода отдаёт во внешнюю цепь, обладающую

реактивным сопротивлением, а в течение другой четверти периода получает её обратно. Характеризует энергию, не потребляемую во внешней цепи, а колеблющуюся между внешней цепью и источником, т.е. ёмкостную и индуктивную энергию, временно накапливаемую, а затем отдаваемую источнику. Выражается произведением напряжения на зажимах данной цепи на реактивную составляющую тока в ней. Если реактивная составляющая тока больше активной составляющей, то и реактивная мощность будет больше фактически потребляемой в цепи мощности.

## 5.2 Компенсация реактивной мощности

### 5.2.1 Потребители реактивной мощности и меры по её уменьшению

При подключении к электрической сети активно-индуктивной нагрузки ток  $I_H$  отстаёт от напряжения  $U$  на угол сдвига  $\varphi$ . Косинус этого угла ( $\cos \varphi$ ) называется *коэффициентом мощности*. Электроприёмники с такой нагрузкой потребляют как активную  $P$ , так и реактивную  $Q$  мощность. Реактивная мощность  $Q = Ptg\varphi$ . Активная энергия, потребляемая электроприёмниками, преобразуется в другие виды энергии: механическую, тепловую, энергию сжатого воздуха и газа и т.п. Определённый процент активной энергии расходуется на потери. Реактивная мощность  $Q$  не связана с полезной работой ЭП и расходуется на создание электромагнитных полей в электродвигателях, трансформаторах, линиях. Из курса ТОЭ известно, что реактивная мощность может иметь индуктивный или ёмкостной характер. Условимся считать реактивную индуктивную мощность  $Q_L$  нагрузочной или потребляемой, а реактивную ёмкостную мощность  $Q_C$  генерируемой. Прохождение в электрических сетях реактивных токов обуславливает добавочные потери активной мощности в линиях, трансформаторах, генераторах электростанций, дополнительные потери напряжения, требуют увеличения номинальной мощности или числа трансформаторов, снижает пропускную способность всей СЭС.

Полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P / \cos \varphi; \quad (5.1)$$

потери активной мощности:

$$P\Delta = (P^2 + Q^2)R / U_{НОМ}^2; \quad (5.2)$$

коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = P / S = P / \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (5.3)$$

потери напряжения:

$$\Delta U = (PR + QX) / U_{НОМ}; \quad (5.4)$$

где  $P, Q, S$  - соответственно активная, реактивная и полная мощности;  
 $R$  и  $X$  – соответственно активное и реактивное сопротивления  
элементов электрической сети;

$U_{НОМ}$  - номинальное напряжение сети.

Основным потребителем реактивной мощности индуктивного характера на промышленных предприятиях являются асинхронные двигатели АД (60-65 % общего её потребления), трансформаторы, включая сварочные (20-25%), вентильные преобразователи, реакторы и прочие ЭП. Реактивной мощностью дополнительно нагружаются питающие и распределительные сети предприятия, соответственно увеличивается общее потребление электроэнергии. Меры по снижению потребления реактивной мощности: естественная компенсация (естественный  $\cos\phi$ ) без применения специальных компенсирующих устройств (КУ); искусственная компенсация, называемая чаще просто компенсацией. Естественная компенсация реактивной мощности не требует больших материальных затрат и должна проводиться на предприятиях в первую очередь. К естественной компенсации относятся: упорядочение и автоматизация технологического процесса, ведущие к выравниванию графика нагрузки и улучшению энергетического режима оборудования (равномерное размещение нагрузок по фазам, смещение времени обеденных перерывов отдельных цехов и участков, перевод энергоёмких крупных ЭП на работу вне часов максимума энергосистемы и, наоборот, вывод в ремонт мощных ЭП в часы максимума в энергосистемы и т.п.); создание рациональной схемы электроснабжения за счёт уменьшения количества ступеней трансформации; замена трансформаторов и другого электрооборудования старых конструкций на новые, более совершенные с меньшими потерями на перемагничивание; замена малозагруженных трансформаторов и двигателей трансформаторами и двигателями меньшей мощности и их полная загрузка; применение СД вместо АД, когда это допустимо по условиям технологического процесса; ограничение продолжительности ХХ двигателя и сварочных трансформаторов, сокращение длительности и рассредоточение во время пуска крупных ЭП; улучшение качества ремонта электродвигателей, уменьшение переходных сопротивлений контактных соединений; отключение при малой нагрузке (например, в ночное время, в выходные и праздничные дни) части силовых трансформаторов.

### 5.3 Средства компенсации реактивной мощности

Основным источником реактивной мощности является синхронный генератор электростанций (Q3), но он не в полном объеме снабжает реактивной мощностью потребителей, так как это невыгодно, потому что при передаче в элементах системы электроснабжения возникают потери мощности и электроэнергии. Очевидно, что все параметры режима сети зависят от активной и реактивной мощности. Однако если для изменения активной

мощности требуется изменять технологический режим работы потребителей электроэнергии, то изменение реактивной мощности достигается более просто - с помощью компенсирующих устройств, самые распространенные из которых, используемые на промышленных предприятиях:

а) синхронных компенсатор - это специальные машины, служащие для компенсации реактивной мощности в большом количестве  $P_{y\partial CK}=11 \square 30$  кВт/Мвар

б) синхронные двигатели ( $P_{y\partial CD} = 9$ кВт/Мвар);

в) батареи конденсаторов - специальное устройство для компенсации реактивной мощности, батареи конденсаторов могут быть высоковольтные и низковольтные. ( $P_{y\partial BK} = 4,5$ кВт/Мвар),

#### 5.4 Конденсаторные батареи

Наибольшее распространение на промышленных предприятиях имеют конденсаторы (КБ)-крупные (в отличие от конденсаторов радиотехники) специальные устройства, предназначенные для выработки реактивной ёмкостной мощности. Конденсаторы изготавливают на напряжение 220, 380, 660, 6300 и 10500 В в однофазном и трёхфазном исполнении для внутренней и наружной установки. Они бывают масляные (КМ) и соволовые (КС). Диэлектрическая проницаемость совола примерно вдвое больше, чем масла. Однако отрицательная допустимая температура составляет - 10<sup>0</sup>С для соволовых конденсаторов, в то время как масляные могут работать при температуре -40<sup>0</sup>С. Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется их значительными преимуществами по сравнению с другими видами КУ: незначительные удельные потери активной мощности до 0,005 кВт/квар, отсутствие вращающихся частей, простота монтажа и эксплуатации, относительно невысокая стоимость, малая масса, отсутствие шума во время работы, возможность установки около отдельных групп ЭП и т.д.

Недостатки конденсаторных батарей: пожароопасность, наличие остаточного заряда, повышающего опасность при обслуживании; чувствительность к перенапряжениям и толчкам тока; возможность только ступенчатого, а не плавного регулирования мощности.

Конденсаторы, как правило, собираются в батареи (КБ) и выпускаются заводами электротехнической промышленности в виде комплектных компенсирующих устройств (ККУ). На (рисунке 5.1) изображён общий вид ККУ напряжением 380 В и мощностью 300 квар.

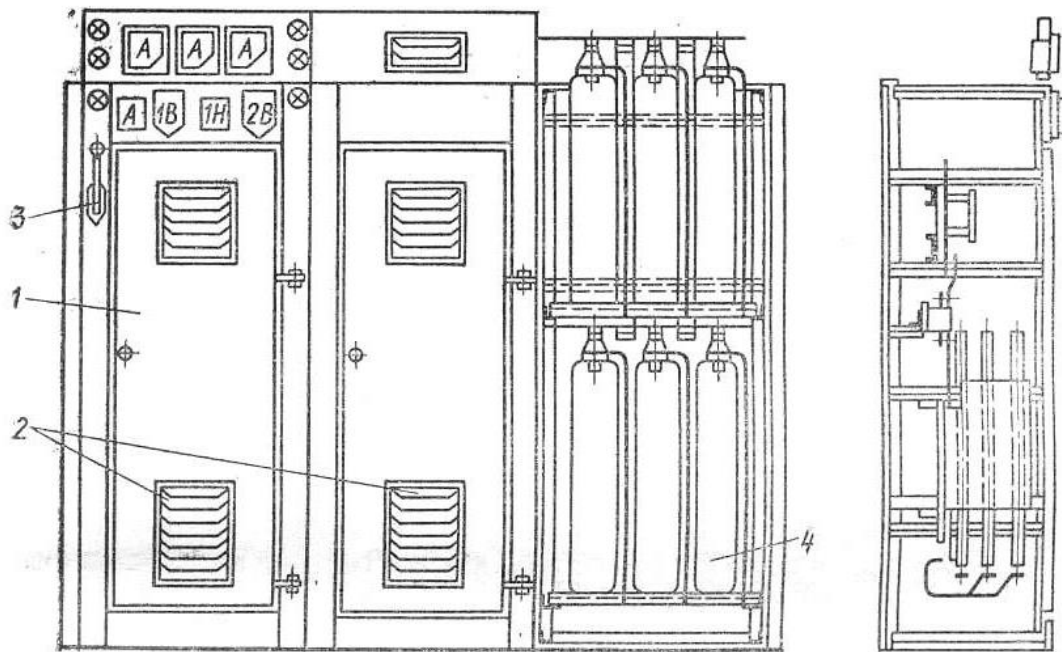


Рисунок 5.1 – Конструкция ККУ напряжением 380 В, мощностью 300 квар:  
 1- шкаф ввода; 2- шкаф конденсаторной батареи; 3- рубильник; 4- масляный конденсатор

Удельная стоимость конденсаторов высокого напряжения меньше удельной стоимости конденсаторов низкого напряжения, но конденсаторы низкого напряжения проще и надёжнее в эксплуатации. Комплектные конденсаторные установки имеют встроенное разрядное сопротивление  $R$  для снятия остаточного напряжения при отключении ККУ от сети. Иногда в качестве разрядного сопротивления применяют два однофазных трансформатора напряжения TV (рисунок 5.2, б)

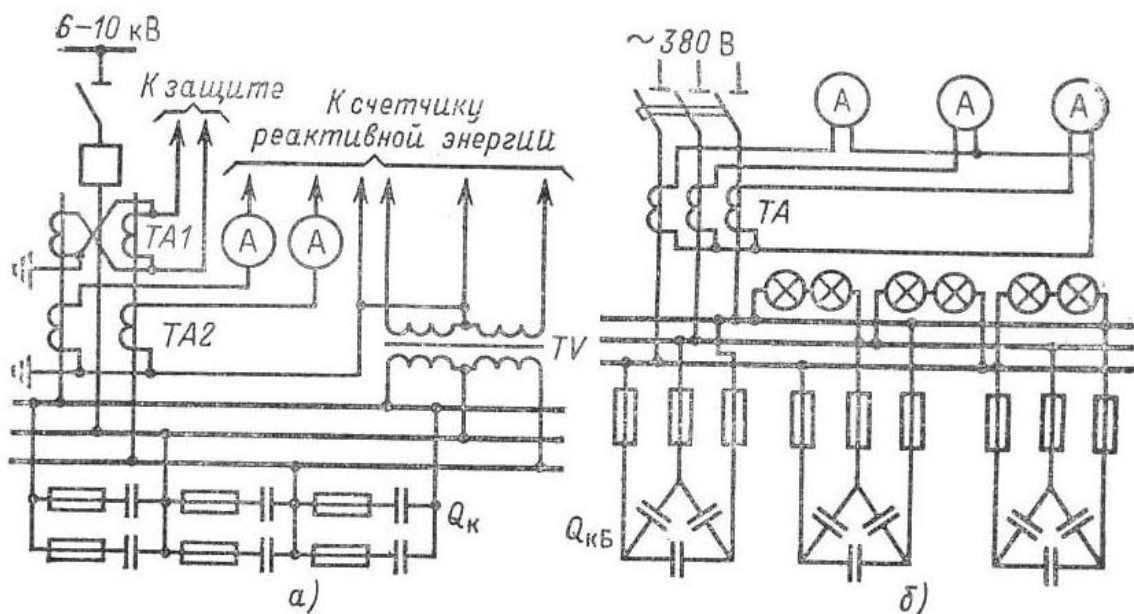


Рисунок 5.2 - Схема включения КУ на шинах 6-10 кВ (а) и в распределительной сети 0,38 кВ (б)

За счёт присоединения к сети КУ с мощностью  $Q_k$  уменьшаются потери мощности и напряжения. После компенсации потери мощности:

$$\Delta P = \frac{[P^2 + (Q - Q_k)^2]R}{U_{НОМ}^2} + \Delta P_{КУ}; \quad (5.5)$$

где  $\Delta P_{КУ}$  - потери мощности в компенсирующем устройстве, кВт.

Потери напряжения после компенсации, В,

$$\Delta P = \frac{[P^2 + (Q - Q_k)^2]R}{U_{НОМ}^2} + \Delta P_{КУ}; \quad (5.6)$$

В данном проекте для компенсации реактивной мощности используются низковольтные конденсаторные батареи. Это наиболее распространенный способ компенсации активной мощности в промышленных электросетях, для таких конденсаторов принят термин "конденсаторы для повышения коэффициента мощности" или просто "конденсатор". Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется значительными преимуществами по сравнению с другими существующими в промышленности способами компенсации реактивной мощности, а именно: более высоким к. п. д., иначе говоря малыми удельными потерями активной мощности, не превышающими 0,5% на 1 квар компенсирующего устройства (в синхронных компенсаторах эта величина составляет 10% номинальной мощности компенсатора, а в синхронных двигателях 7%), отсутствием вращающихся частей, простотой монтажа и эксплуатации, сравнительно невысокими капиталовложениями, широкой возможностью установки в любых точках электросети, отсутствием шума во время их работы, отсутствием необходимости в уходе и наблюдения за их работой и др.

### **5.5 Графики потребляемой реактивной мощности и компенсация ее конденсаторными установками**

При решении вопросов регулирования мощности компенсирующих устройств необходимо учитывать условия работы как внутризаводской системы электроснабжения, так и энергетической системы. Если в энергетической системе даже в ночное время наблюдается недостаток реактивной мощности, то целесообразна круглосуточная работа конденсаторных установок промышленных предприятий. Если же в ночное время в энергетической системе отсутствует дефицит реактивной мощности, то конденсаторные установки промышленных предприятий должны на это время полностью отключаться, так как их работа может недопустимо повысить напряжение в сети и причинить ущерб как электроприемникам, так и самим конденсаторам. Если в данном районе в периоды малых нагрузок необходимо обеспечить режим напряжения, а установленные в системе синхронные компенсаторы работают в индуктивном режиме, то работа конденсаторных установок на предприятиях в это время является

недопустимой.

Таким образом, энергетическая система должна устанавливать наиболее рациональное распределение реактивных нагрузок между синхронными компенсаторами энергетической системы и конденсаторными установками промышленных предприятий с учетом уровней напряжения в сети, а также экономической целесообразности. При изменении активных и реактивных нагрузок промышленных предприятий во многих случаях целесообразно изменять мощность конденсаторных установок. Постоянное включение конденсаторных установок при переменных режимах нагрузки ведет к отклонению от наивыгоднейшего режима компенсации реактивной мощности и колебаниям напряжения в сети.

Для поддержания наивыгоднейшего режима работы сети целесообразно либо иметь устройство, автоматически регулирующее мощность конденсаторной установки в зависимости от различных факторов, либо регулировать мощность конденсаторной установки с диспетчерского пункта. Нерегулируемые конденсаторные установки практически не всегда улучшают режим работы электрической сети, поскольку при этом получается почти одинаковое повышение напряжения при любых нагрузках, что может привести к недопустимому повышению напряжения в режимах малых нагрузок. Кроме того, в режимах малых нагрузок в части электрической сети могут появиться опережающие токи, которые приведут к увеличению потерь электроэнергии, т. е. к снижению экономичности работы электрической сети. При достаточно большой установленной мощности нерегулируемых конденсаторных установок опережающие токи в режимах малых нагрузок могут возникнуть даже в питающих сетях. Поэтому наиболее экономичный режим работы электрических сетей промышленных предприятий может быть достигнут применением автоматического регулирования мощности конденсаторных установок. Из анализа суточных графиков нагрузок промышленных предприятий выявляются следующие виды изменений реактивных мощностей, вызываемых технологическими процессами:

1 Медленные изменения среднего уровня суммарной нагрузки, обусловленные технологическими и другими причинами, определяющими суточный график нагрузки предприятий, ночной минимум летом, вечерний максимум зимой и др. В этих случаях изменения реактивных нагрузок должны регулироваться компенсирующими устройствами энергетической системы, либо автоматическим регулированием конденсаторных установок промышленных предприятий, либо взаимным сочетанием обоих этих мероприятий с учетом обеспечения максимальной экономичности электроснабжения предприятия.

2 Быстрые колебания нагрузки около среднего уровня, вызванные случайными включениями или отключениями потребителей, как, например, толчки нагрузки, связанные с работой мощных потребителей или другими технологическими причинами. Период таких колебаний нагрузок может составлять несколько минут. Ликвидация сравнительно быстрых колебаний и

набросов реактивных нагрузок, которые в некоторых случаях могут сопровождаться снижением напряжения и приводить к нарушению устойчивости электрической системы, целесообразно осуществлять форсированием возбуждения синхронных двигателей или синхронных компенсаторов, а также кратковременным форсированием мощности конденсаторных установок. Особое место в этом случае занимают статические устройства, позволяющие практически безынерционно регулировать генерируемую реактивную мощность. Имеется в виду применение реакторов с подмагничиванием и вентилей с искусственной коммутацией, устройства с параллельным включением емкости и регулируемой индуктивности. При наличии этих устройств электрическая система в целом может работать экономичнее, поскольку улучшаются условия ее статической устойчивости.

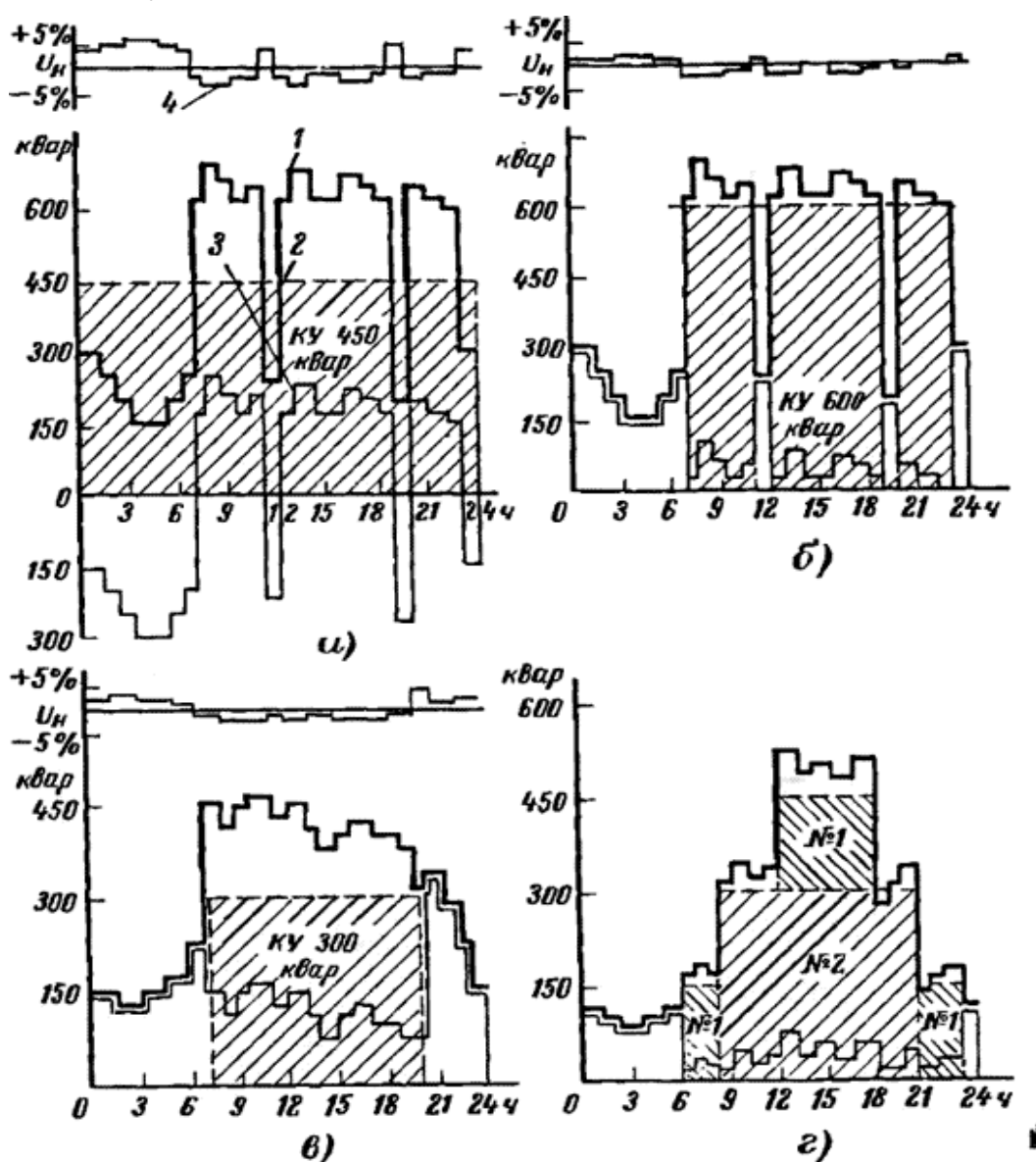


Рисунок 5.3 - Графики потребляемой реактивной мощности и компенсация ее конденсаторными установками



а — регулирования нет, конденсаторы постоянно включены: б — одноступенчатое автоматическое регулирование по времени суток: е — одноступенчатое автоматическое регулирование по напряжению: г — многоступенчатое автоматическое регулирование по току нагрузки; 1 — потребляемая реактивная мощность; 2 — реактивная мощность, которую компенсирует конденсаторная установка; 3 — реактивная мощность после компенсации; 4 — напряжение после компенсации. Когда применена регулируемая конденсаторная установка, включаемая автоматически в зависимости от времени суток (рисунок 4), происходит более равномерная компенсация реактивной мощности, при этом уменьшаются колебания напряжения и оно приближается к номинальному. Регулируемая мощность конденсаторной установки определяется исходя из наилучшей компенсации суточного графика потребления реактивной мощности. Если для промышленного предприятия по условиям работы энергосистемы и из-за других мероприятий по регулированию напряжения необходимо уменьшить отклонение уровня напряжения в нормированных пределах, применяется регулируемая конденсаторная установка, управляемая автоматически в зависимости от напряжения сети (рис. 4, е). В этом случае для поддержания номинального напряжения конденсаторная установка должна автоматически включаться при увеличении нагрузки и понижении напряжения в сети ниже номинального и автоматически отключаться при повышении напряжения в сети выше номинального.

На подстанциях, питающих потребителей, нагрузка которых изменяется в течение суток, причем изменение нагрузки сопровождается соответствующим изменением реактивной мощности, автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок может быть осуществлено в зависимости от тока нагрузки. Так, при изменении подключаемых нагрузок в утренние часы (рис. 4, г) автоматически вначале включается конденсаторная установка № У мощностью 150 кВАр, по мере увеличения нагрузки включается конденсаторная установка № 2 мощностью 300 кВАр, а конденсаторная установка № 1 отключается, при дальнейшем росте подключаемых нагрузок при включенной конденсаторной установке № 2 включается и конденсаторная установка № 1. При снижении нагрузок цикл отключения автоматически происходит в обратном порядке.

Таким образом, применение регулируемых конденсаторных установок является средством получения дополнительной экономии от уменьшения потерь электроэнергии в электрических сетях при неравномерном графике реактивной нагрузки, а также средством регулирования уровня напряжения, увеличения пропускной способности электрических сетей и получения дополнительной мощности трансформаторов в связи с разгрузкой их от реактивной мощности.

#### 5.5.1 Автоматическое регулирование по напряжению

Одним из наиболее простых способов автоматического регулирования

конденсаторных установок по напряжению является использование реле минимального напряжения, действующего на включение и отключение конденсаторной установки, или двух реле напряжения — минимального и максимального, из которых одно включает, другое отключает КУ при отклонениях напряжения от заданного значения.

Для выполнения простейших устройств одноступенчатого регулирования по напряжению используется электромагнитное реле серии РН-50 с пределами регулирования напряжения, например, от 95 до 105 В (для схем с трансформатором напряжения). Недостатком реле РН-50 является низкий коэффициент возврата, но при последовательном включении с обмоткой реле добавочного резистора можно получить точность, достаточную для работы автоматики.

Применение дорогостоящих систем регулирования по напряжению для большинства КУ до 1000 В и выше небольшой мощности, устанавливаемых на промышленных предприятиях, экономически не оправдано. При использовании для регулирования напряжения на предприятиях силовых трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой и КУ с автоматическим регулированием по напряжению уставки напряжения в схемах регулирования должны быть такими, чтобы обеспечивалось минимальное количество переключений.

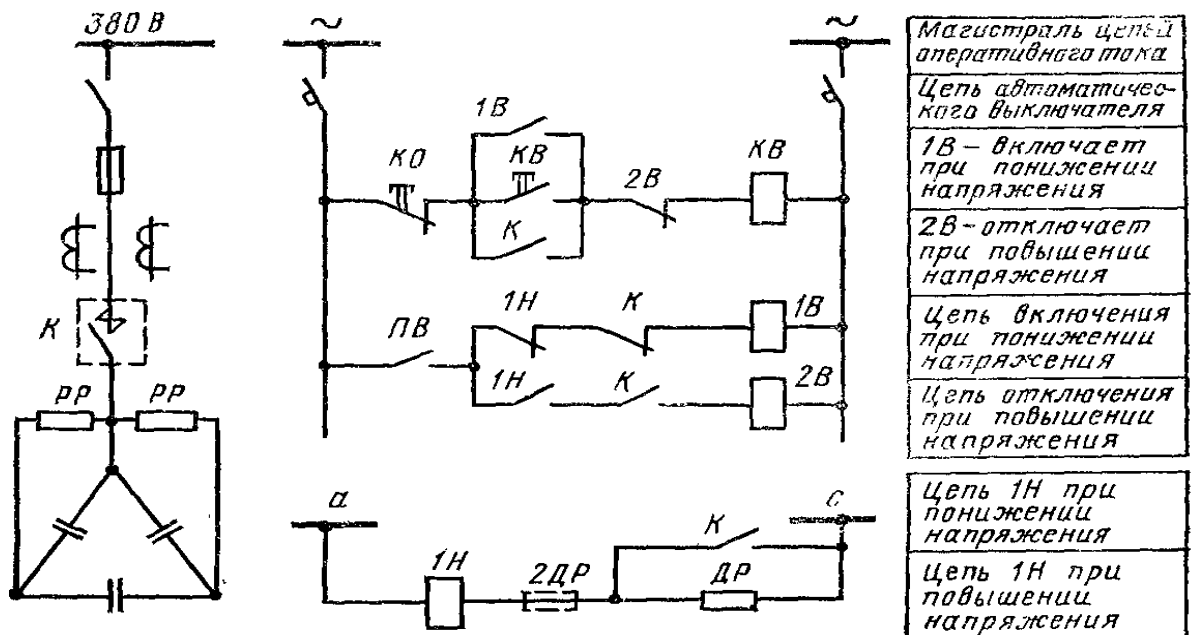


Рисунок 5.4- Схема одноступенчатого автоматического регулирования по напряжению с одним реле напряжения

На рисунке 5.4 приведена схема регулирования мощности конденсаторных установок по напряжению, где в качестве пускового органа принято одно реле минимального напряжения типа РН-54. Размыкающий контакт 1Н работает в цепи включения конденсаторных установок при понижении напряжения в сети. Замыкающий контакт 1Н работает в цепи отключения при повышении напряжения в сети. При уменьшении напряжения

в сети ниже заданного предела реле напряжения 1Н срабатывает и замыкает свой контакт 1Н в цепи обмотки реле времени 1В. Реле времени 1В с заданной выдержкой времени (не менее 2—3 мин) замыкает контакт 1В в цепи обмотки контактора и автоматически включает КУ в сеть. После включения конденсаторных установок напряжение в сети возрастает; для того чтобы КУ не отключалась, автоматически изменяется уставка срабатывания реле шунтированием последовательно включенного с обмоткой реле 1Н добавочного резистора ДР. Реле напряжения 1Н в этом случае может срабатывать, только если напряжение в сети возрастает выше увеличенной уставки срабатывания.

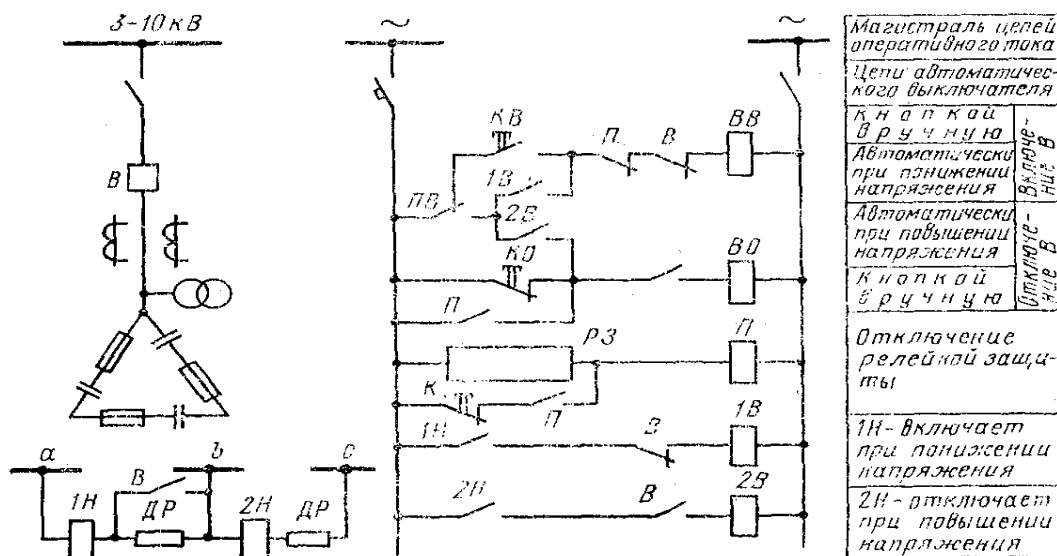


Рисунок 5.5 - Схема одноступенчатого автоматического регулирования по напряжению с двумя реле напряжения:

1Н — минимальное реле напряжения РН-54/160; 2Н — максимальное реле напряжения РН-53/200; ДР — добавочный резистор 1000 Ом; В ~ выключатель

При повышении напряжения выше заданного предела реле напряжения 1Н срабатывает и замыкает свой контакт Ш в цепи обмотки реле времени 2В. Реле времени 2В с выдержкой времени размыкает свой размыкающий контакт в цепи обмотки контактора и автоматически отключает КУ от сети. Для обеспечения выдержки времени, необходимой для отстройки от кратковременных понижений и повышений напряжения в сети, предусматривается пневматическое реле типа РВП-2, действующее с выдержкой времени 2—3 мин. Для более точного регулирования мощности конденсаторных установок используется схема с двумя реле напряжения (рисунок 6). Одно реле своим контактом включает КУ при понижении напряжения в сети, а другое отключает КУ при повышении напряжения. Для более точной настройки схемы автоматики в связи с низким коэффициентом возврата реле напряжения в цепь его обмотки последовательно включается добавочный резистор. Наладка схемы регулирования с двумя реле напряжения по сравнению со схемой с одним реле напряжения проще.

Нам того чтобы зарисовать график реактивной мощности нам необходимо знать:

$$\sum Q_p = Q_{p0,4} + \Delta Q_{тр} + Q_{рДСП} + \Delta Q_{трДСП} = 7460,31 + 668,7 + 3688 + 1000 = 12817 \text{ квар.}$$

$$Q_{рез} = 0,1 \times \sum Q_p = 0,1 \cdot 12817 = 1281,65 \text{ квар.}$$

$$Q_p = \frac{\sum Q_p}{2} + \frac{\sum Q_{рез}}{2} = \frac{12,817}{2} + \frac{1281,65}{2} = 7000.$$

## **6 Безопасность жизнедеятельности**

### **6.1 Анализ условий труда в механическом цехе**

На всех предприятиях создаются здоровые и безопасные условия труда, устанавливаются правовые основы регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками, а также создаются условия труда, соответствующие требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

На обслуживающий персонал механического цеха оказывают воздействие следующие факторы, такие как: температура, влажность, тепловое излучение, шум, запыленность, вибрация. Все эти факторы в свою очередь являются источниками опасности и вредных факторов. Нередко на рабочих местах не соблюдаются ПДК и ПДН, что в свою очередь ведет к травматизму.

Рассмотрим факторы, оказывающие определенное влияние на рабочий персонал.

Освещение в механическом цехе имеет место, локализованное освещение которое предусмотрено при выполнении на участках цеха различных по характеру работ или при наличии затеняющего оборудования. Во время работы в цехе применяются светильники общего освещения с лампами накаливания на напряжение до 36В. На ремонтных площадках располагают светильники на высоте не менее 2,5 м над рабочими местами.

Микроклимат на рабочих механического цеха оказывают влияние следующие параметры: температура воздуха в помещении, °С; относительная влажность воздуха, %; подвижность воздуха, м/с; тепловое излучение, Вт/м<sup>2</sup>. Эти параметры отдельно и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Меры защиты от теплового излучения, которые имеют особое значение в цехе, можно разделить на следующий четыре группы: устраняющие источник тепловыделений; защищающие от теплового излучения; облегчающие теплоотдачу тела человека и меры индивидуальной защиты.

Борьба с неблагоприятным влиянием производственного микроклимата осуществляется с использованием технологических (замена старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, автоматизация и механизация процессов, дистанционное управление), санитарно-технических (средства локализации тепловыделений и теплоизоляции) и медико-профилактических мероприятий.

Эффективными средствами снижения тепловыделений являются: покрытие нагреваемых поверхностей теплоизоляционными материалами; герметизация оборудования; применение отражательных, теплопоглощающих и теплоотводящих экранов; устройство вентиляционных систем; использование индивидуальных средств защиты.

Вредные вещества в воздухе рабочей зоны - защита от вредных веществ

осуществляется мероприятиями, которые в ряде случаев следует применять комплексно. Основные из них: автоматизация и механизация процессов, сопровождающихся выделением вредных веществ; совершенствование технологических процессов и их рационализация (замена вредных веществ безвредными, отказ от применения пылящих материалов, переход с твердого топлива на газообразное и пр.); совершенствование конструкций оборудования, при которых исключаются или резко уменьшаются вредные выделения в окружающую среду, что возможно, например, при герметизации; применение газопылеулавливающего оборудования.

В дополнения к общим защитным средствам применяются индивидуальные средства защиты. При работе с ядовитыми и загрязненными веществами пользуются спецодеждой – комбинезонами, халатами, фартуками и пр; для защиты от щелочей и кислот – резиновой обувью и перчатками. Для защиты кожи рук, лица, шеи применяют защитные пасты: антитоксические, маслоустойчивые, водоустойчивые. Глаза от возможных ожогов и раздражений защищают очками с герметичной оправой, масками и шлемами. Дыхательные органы защищают фильтрующими и изолирующими приборами (респираторы, противогазы).

Производственный шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления: снижается острота зрения, слуха, повышается кровяное давление, понижается внимание. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем.

Основные мероприятия по борьбе с шумом – это технические мероприятия, которые проводятся по трем главным направлениям: устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике; ослабление шума на путях передачи; непосредственная защита работающих в цехе.

Наиболее эффективным средством снижения шума является замена шумных технологических операций на малошумные или полностью бесшумные. Однако этот метод борьбы с шумом в котельном цехе не всегда возможен, поэтому большое значение имеет снижение его в источнике. Снижение шума в источнике достигается путем совершенствования конструкции или схемы той части оборудования, которая производит шум, использования в конструкции материалов с пониженными акустическими свойствами, оборудования на источнике шума дополнительного звукоизолирующего устройства или ограждения, расположенного по возможности ближе к источнику.

Создаваемые технологическим оборудованием шумы могут возникают при различных процессах: механических (соударения, вибрации, трение), аэродинамических (нестационарные процессы в газах, при истечении сжатого воздуха или газа, при горении жидкого или распыленного топлива в форсунках и др.), гидродинамических (истечение жидкости) и электромагнитных (переменные магнитные поля в электрооборудовании).

Значительный эффект снижения шума от оборудования дает применение акустических экранов, отгораживающих шумный механизм от рабочего места или зоны обслуживания машины.

Применение звукопоглощающих облицовок для отделки потолка и стен шумных помещений приводит к изменению спектра шума в сторону более низких частот, что даже при относительно небольшом снижении уровня значительно улучшает условия труда.

Учитывая, что с помощью технических средств не всегда возможно решить проблему снижения уровня шума в цехе, большое внимание уделяется применению средств индивидуальной защиты (наушники, вкладыши).

## **6.2 Разработка технических решений по обеспечению нормативов охраны труда**

### **6.2.1 Выбор мероприятий по снижению шума в механическом цехе**

В механическом цехе станки издают шум, которые оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно – сосудистой и нервной систем. Поэтому в дипломном проекте уделяется большое внимание выбору мероприятий по снижению шума. Это включает в себя расчет требуемого снижения шума, а также выбор защитных конструкций. Создаваемые технологическим оборудованием шумы могут возникать при различных процессах: механических (соударения, вибрации, трение), аэродинамических, гидродинамических и электромагнитных (переменные магнитные поля в электрооборудовании).

Одним из методов уменьшения шума на объектах энергетического производства является снижение или ослабление шума в его источниках. Строительные нормы и правила предусматривают защиту от шума строительными – акустическими методами. При этом для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

а) звукоизоляция ограждающих конструкций; уплотнение по периметру притворов окон, ворот, дверей; звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями; устройство звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления; укрытия; кожухи;

б) звукопоглощающие конструкции и экраны;

в) глушители шума, звукопоглощающие облицовки в газоздушных трактах вентиляционных систем с механическим побуждением и систем кондиционирования воздуха, а также газодинамических установок.

Согласно СНиП 11-12-77 требуемую изоляцию воздушного шума в дБ ограждающей конструкцией следует определять:

а) при проникновении шума из одного помещения в другое по формуле:

$$R_{тр} = L_{ш} - 10 \lg B_{и} + 10 \lg S_i - L_{доп} + 10 \lg n, \quad (6.1)$$

где  $L_{ш}$  – октавный уровень звукового давления в не защищаемом от шума помещении,  $m^2$ ;

$V_{и}$  – постоянная защищаемого от шума помещения,  $m^2$ ;

$L_{доп}$  – допустимый октавный уровень звукового давления;  $n$  – общее количество ограждающих конструкций, через которые проникает шум;

б) при проникновении шума из помещений на прилегающую территорию по формуле:

$$R_{тр} = L_{ш} + 10 \lg S_i - 15 \lg r_i - L_{доп} + 10 \lg n - 11, \quad (6.2)$$

где  $S_i$  – площадь рассматриваемой ограждающей конструкции, через которую проникает шум,  $m^2$ ;

$r_i$  – расстояние от ограждающей конструкции или ее элемента до расчетной точки, м;

в) при проникновении шума с прилегающей территории в помещение по формуле

$$R_{тр} = L_{нар} + 10 \lg S_i - 10 \lg V_{и} - L_{доп} + 10 \lg n + 6, \quad (6.3)$$

где  $L_{нар}$  – суммарный октавный уровень звукового давления в дБ от всех источников шума в 2 м от рассматриваемой ограждающей конструкции.

В механическом цехе необходимо запроектировать стену, с окном и дверью и перекрытие кабины дежурного в механическом цехе, имеющей размеры  $18 \times 10 \times 5$  м. Площадь глухой стены  $S_1 = 50 \text{ м}^2$ , и площадь перекрытия кабины наблюдения  $S_2 = 80 \text{ м}^2$ . Площадь двери  $2 \times S_3 = 12 \text{ м}^2$ , окна –  $S_4 = 4 \text{ м}^2$ . Суммарный уровень звуковой мощности  $L_{р.сум}$ , излучаемой всеми станками приведен в таблице 6.1

Таблица 6.1 - Суммарный уровень звуковой мощности

| Средне-геометрическая частота, Гц | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-----------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| $L_{р.сум}$ , дБ                  | 85 | 88  | 90  | 94  | 97   | 95   | 96   | 98   |

Требуемую звукоизолирующую способность каждого элемента ограждения определяем по формуле (6.30). Выбрав тип помещения, определяем постоянную помещения  $V_{1000}$ . С небольшим количеством людей

(механическом цехе):  $V_{1000} = \frac{V}{10} = \frac{18 \times 10 \times 5}{10} = 90$ . Результаты расчета сводим в

таблицу 6.2



Таблица 6. 2 – Результаты акустического расчета

| Величина\Частоты         | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $L_{ш}$                  | 85   | 88   | 90   | 94   | 97   | 95   | 96   | 98   |
| $L_{доп}$                | 83   | 74   | 68   | 63   | 60   | 57   | 55   | 54   |
| $B_{1000}$               | 90   |      |      |      |      |      |      |      |
| $\mu$                    | 0,65 | 0,62 | 0,64 | 0,75 | 1    | 1,5  | 2,4  | 4,2  |
| $B = \mu \cdot B_{1000}$ | 58,5 | 55,8 | 57,6 | 67,5 | 90   | 135  | 216  | 378  |
| $10lg n$                 | 6    |      |      |      |      |      |      |      |
| $10lg B$                 | 18   | 17   | 18   | 18   | 20   | 21   | 23   | 26   |
| $10lg S_1$               | 17   |      |      |      |      |      |      |      |
| $10lg S_2$               | 18   |      |      |      |      |      |      |      |
| $10lg S_3$               | 10   |      |      |      |      |      |      |      |
| $10lg S_4$               | 6    |      |      |      |      |      |      |      |
| $R_{тр1}$                | 7    | 20   | 27   | 36   | 40   | 40   | 41   | 41   |
| $R_{тр2}$                | 8    | 21   | 28   | 37   | 41   | 41   | 42   | 42   |
| $R_{тр3}$                | 0    | 13   | 20   | 29   | 33   | 33   | 34   | 34   |
| $R_{тр4}$                | -4   | 9    | 16   | 25   | 29   | 29   | 30   | 30   |

Пример расчёта для частоты 250 Гц :

$$B_{1000} = \frac{V}{10} = \frac{18 \cdot 10 \cdot 5}{10} = 90;$$

$\mu = 0,64$  для частоты 63 Гц;

$$B = B_{1000} \cdot \mu = 90 \cdot 0,64 = 57,6;$$

$$L_{дон} = 68.$$

$$10 \cdot \lg n = 10 \cdot \lg 4 = 6;$$

$$10 \cdot \lg B = 10 \cdot \lg 57,6 = 18;$$

$$10 \cdot \lg S_1 = 10 \cdot \lg 50 = 17;$$

$$10 \cdot \lg S_2 = 10 \cdot \lg 80 = 18;$$

$$10 \cdot \lg S_3 = 10 \cdot \lg 12 = 10;$$

$$10 \cdot \lg S_4 = 10 \cdot \lg 4 = 6.$$

$$R_{mp1} = 90 - 18 + 17 - 68 + 6 = 27 \text{ дБ}$$

$$R_{mp2} = 90 - 17 + 18 - 68 + 6 = 28 \text{ дБ}$$

$$R_{mp3} = 90 - 17 + 10 - 68 + 6 = 20 \text{ дБ}$$

$$R_{mp4} = 90 - 17 + 6 - 68 + 6 = 16 \text{ дБ}$$

Узнав величину требуемой изоляции воздушного шума в дБ ограждающей конструкции, можно произвести выбор конструкций.

Таблица 6.3- Конструкции, обеспечивающие требуемую звукоизоляцию

| Конструкция                              | Звукоизолирующая способность (дБ) на<br>среднегеометрической частоте, Гц |     |     |     |      |      |      |      |
|--|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|  | 63   | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Стеклопластик<br>толщиной 10<br>мм       | 17   | 21  | 25  | 28  | 31   | 31   | 34   | 38   |
| Фанерная дверь<br>толщиной 8 мм          | 12   | 16  | 20  | 24  | 27   | 27   | 27   | 32   |
| Стены и<br>перекрытия из<br>железобетона | 34   | 40  | 40  | 44  | 50   | 55   | 60   | 60   |

Таким образом, в помещении должны быть установлены стены и перекрытия из железобетона, фанерная дверь толщиной 8 мм и стеклопластик толщиной 10 мм. В ходе акустического расчёта были рассчитаны параметры кабины наблюдения в качестве меры защиты персонала от действия шума.

Для уменьшения прохождения шума в изолируемое помещение могут также быть использованы следующие строительно-акустические мероприятия: а) применение необходимых материалов и конструкций при проектировании перекрытий стен, перегородок, дверей, окон, кабин наблюдений, щитов управления и т.д. б) применение плавающего пола для виброизоляции турбоагрегатов. в) применение звукоизолирующих и

вибродемпфирующих покрытий на поверхности трубопроводов.г) правильная планировка и застройка селитебной территории.

### 6.3 Расчет зануления электрооборудования механического цеха

Основной мерой защиты от поражения электрическим током в сетях напряжением до 1000 В является зануление, для того чтобы обеспечить безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. Цель зануления – быстро отключить электроустановку от сети при замыкании одной (или двух) фазы на корпус.

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.

Принципиальная схема зануления приведена на рисунке 6.1. 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  $R_0$ .

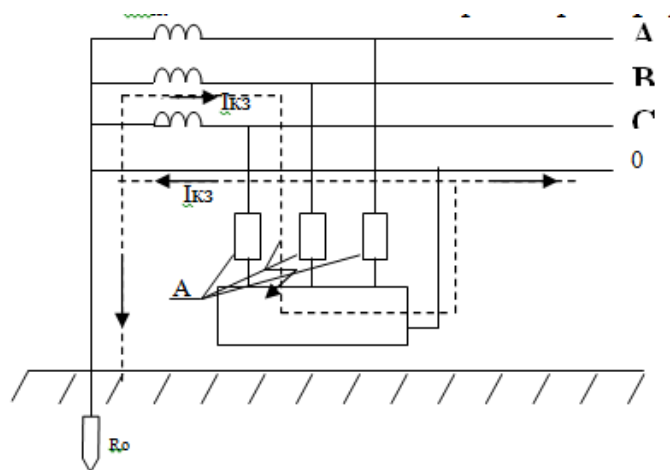


Рисунок 6.1-Принципиальная схема сети переменного тока с занулением

A- аппарат защиты (предохранитель или автоматический выключатель);  
R<sub>0</sub>- заземление нейтрали.

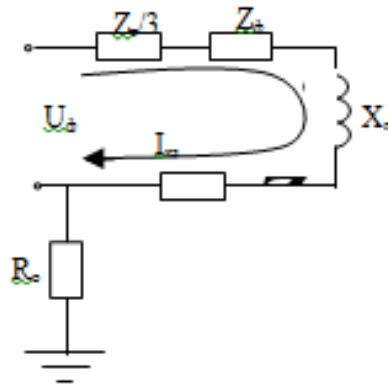


Рисунок 6.2 - Полная расчетная схема соединения зануления

Поскольку  $R_0$  и  $R_n$ , 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.

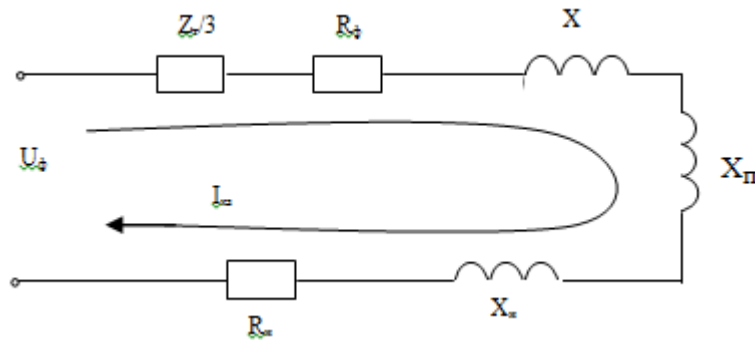


Рисунок 6.3- Упрощенная схема зануления

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

$$I_{кз} = U_{\phi} / (Z_M / 3 + Z_{\phi} + Z_n + jX_n) \quad (6.4)$$

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

$Z_T$  – комплекс полного сопротивления обмоток трехфазного источника тока (трансформатора), Ом

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

$Z_n = R_n + jX_n$  – комплекс полного сопротивления нулевого защитного проводника, Ом

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

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

$X_n$  – внешнее индуктивное сопротивление контура (петли) фазный проводник- нулевой защитный проводник (петля – фаза – нуль), Ом

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

С учетом последнего:

$$I_{кз} = U_{\phi} / ( Z_{\text{м}} / 3 + Z_{\text{п}} ) \quad (6.5)$$

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  $Z_{\text{т}} / 3$  и  $Z_{\text{п}}$  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:

$$Z_{\text{п}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{н}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{н}} + X_{\text{п}})^2}, \text{ Ом} \quad (6.6)$$

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

$$K \cdot I_{\text{н}} \leq U_{\phi} / ( Z_{\text{т}}/3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{н}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{н}} + X_{\text{п}})^2} ) \quad (6.7)$$

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  $I_{\text{н}}$  до 100 А,  $K = 1,4$ , а для автоматов с  $I_{\text{н}} > 100$  А,  $K = 1,25$ .

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

Расчет зануления

Исходные данные:

напряжение сети – 0,38 кВ;

мощность – 1000 кВА;

мощность наиболее удаленного электроприемника ( станок)  $P = 2,2$  кВт;

ток нагрузки Щита Распределительного (ЩРВ)  $I_{\text{н}}=144,4$ А

$L_1=135$ м;  $L_2=100$ м

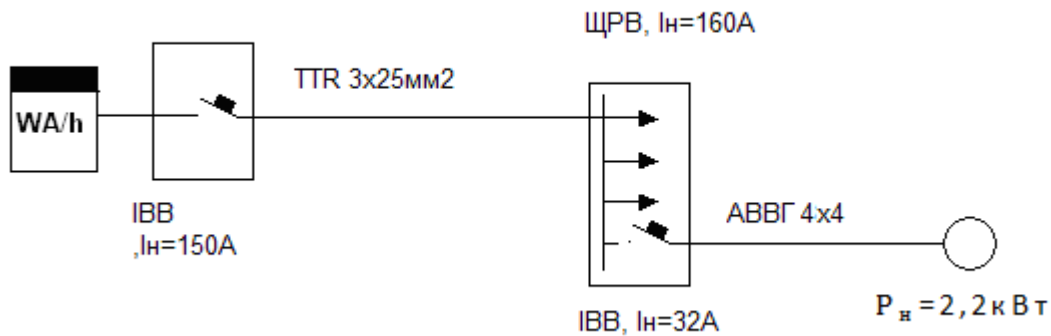


Рисунок 6.4 - Схема замещения

Определение токов нагрузки и выбор аппаратов защиты:

Номинальный ток станка:

$$I_H = \frac{P}{U_H \times \cos\varphi} = \frac{2,2}{0,38 \times 0,9} = 6,5 \text{ A}$$

Принимаем  $I_{H_{\text{авт. выкл.}}} = 10 \text{ A}$ ;  $I_{H_{\text{авт.}}} = 10 \text{ A}$ . ( $> I_{p_{\text{ТЭН}}} = 6,5 \text{ A}$ )

Определение активных и индуктивных сопротивлений элементов цепи:

а) сопротивление фазных ( $R_{\phi}$ ) и нулевого защитного проводника ( $R_{H1}$ ) определяется по формуле:

$$R = \rho \cdot l / S, \quad (6.8)$$

где  $S$ - сечение проводника,  $\text{мм}^2$ ;

Выбираем кабель АСБ 3x50, т.к. номинальный ток протекаемый от вводного автомата до ЩРВ  $I_H = 144,4 \text{ A}$

$l$ - длина проводника, м;

$\rho$ - удельное сопротивление проводника, равное для алюминия  $0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

$$R_{\phi 1} = 0,028 \cdot 135 / 50 = 0,075 \text{ Ом};$$

$$R_{H1} = 0,028 \cdot 100 / 50 = 0,056 \text{ Ом}$$

$$R_{\phi 2} = 0,028 \cdot 135 / 4 = 0,95 \text{ Ом};$$

$$R_{H2} = 0,028 \cdot 100 / 4 = 0,7 \text{ Ом}$$

б) внутреннее индуктивное и активное сопротивление стальной полосы сечением  $50 \times 4 = 200 \text{ мм}$

$$I_k' = 3 \cdot I_{H_{\text{авт.}}} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ A}; S = 50 \times 4 = 200 \text{ мм}^2$$

$$\text{Плотность тока } j = I_k' / S = 30 / 200 = 0,15 \text{ A/мм}^2;$$

Определение полного сопротивления петли фаза-ноль производится по формуле: сопротивление трансформатора для группы соединения Д/У<sub>0</sub> – 11  $Z_T = 0,027 \text{ Ом}$ .

$$Z_{П1}=0,133, \text{ Ом}$$

$$Z_{П2}=1,65, \text{ Ом}$$

Определение  $I_{кз}$  производится как:

$$I_{кз1} = \frac{220}{\frac{0,027}{3} + 0,133} = 1549,3 \text{ А}$$

$$I_{кз2} = \frac{220}{\frac{0,027}{3} + 1,65} = 132,6 \text{ А}$$

Определение кратности тока:

$$\frac{I_{кк2}}{I_{на}} = \frac{132,6}{32} = 4,5$$

$$\frac{I_{кз1}}{I_{авт}} = \frac{1549,3}{150} = 10,3$$

условие  $I_{кз} \geq I_{ном} K$ , где  $K_{авт}=1,25$ ; выполняется ( $4,5 > 1,25$ ;  $10,3 > 1,25$ )

Определение времени срабатывания аппарата защиты: автомата-принимается из справочника. В данном случае при токе КЗ 132,6 А время отключения аппарата защиты равно 0,14 секунд.

Потенциал корпуса поврежденного оборудования:

$$U_{к1} = I_{кз1} \cdot Z_{Н1} = 1549,3 \cdot 0,056 = 86,76 \text{ В,}$$

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).

$$U_{к2} = I_{кз2} \cdot Z_{Н2} = 132,6 \cdot 0,7 = 92,82 \text{ В}$$

Ток, проходящий через тело человека, равен:

$$I_{h1} = \frac{U_{к1}}{R_h} = \frac{86,76}{1000} = 86,76 \text{ мА,}$$

$$I_{h2} = \frac{U_{к2}}{R_h} = \frac{92,82}{1000} = 92,82 \text{ мА.}$$

Такие величины тока являются допустимыми при времени воздействия соответственно 36мА и  $t=1$  с, т.е. время срабатывания автоматического выключателя не превышает допустимых величин.

## **7 Технико-экономическое обоснование эффективности схемы внешнего электроснабжения завода электросталей**

### **7.1 Общие исходные условия**

Целью разработки данного проекта является экономическая оценка выбранной схемы внешнего электроснабжения завода электросталей.

Предприятие расположено в городе Алматы.

Цель экономических расчетов – это экономическое обоснование выбранного варианта схемы, параметров электрической сети и ее элементов.

Таким образом основной задачей расчёта являются определение экономической эффективности проекта, включающей в себя расчет инвестиционной приемлемости проекта, рентабельности инвестиций, норму прибыли, а также срока окупаемости данного проекта.

### **7.2 Продукция завода и сфера ее применения**

Станки зубофрезерные и зубодолбежные используются для обработки сложных деталей :для изготовления зубчатых колес, шлицев, канавок, пазов, полостей различной конфигурации в деталях из токопроводящих и других материалов, деталей вырубных и гибочных штампов, пресс-форм, для производства фасонных профилей и резцов. Такие станки могут работать с цветными металлами, черными металлами, металлокерамическими сплавами, токопроводящими металлами и так далее. Зубонарезные и зубодолбежные станки могут быть вырезными электроэрозионными, долбежными с механическим или гидравлическим приводом, зубофрезерными полуавтоматами и так далее.

Нарезание и накатка резьбы. Хотя нарезание и накатку резьбы могут осуществлять фрезеровальные, токарные, универсальные и другие аппараты, существуют специализированные станки для нарезания и накатки резьбы. К ним относятся резьбонакатные станки, резьбонакатные автоматы и полуавтоматы, холодновысадочные аппараты, фальцепрокатные станки, и так далее. Нарезание и накатка резьбы может осуществляться на разные виды материалов, аппараты для этих операция различаются по скорости работы, видам материалов, другим сопутствующим функциям, особенностям установки (напольные и настольные станки), размеру деталей, на которые может нарезаться и накатываться резьба.

Сверлильные станки существуют в большом количестве разновидностей: сверлильно-фрезерные станки, расточные станки, центральные станки, радиально-сверлильные станки, вертикально-сверлильные станки, а также сверлильные станки с ЧПУ. Основной функцией таких станков является высверливание отверстий, выемок, элементов деталей. В зависимости от сферы применения станки могут отличаться по материалу, которые они сверлят, скорости работы, особенностям установки (настольные и напольные, на магните), функциям и другим характеристикам. К



сверлильным станкам также относятся центральные станки, которые предназначены для высверливания отверстий в специфических условиях - в торцах деталей.

На токарных станках изготавливаются и обрабатываются детали цилиндрической, конической и других форм. Токарные станки также могут осуществлять сверление и нарезание резьбы. Токарные станки могут быть различных видов: токарные автоматы, токарно-винторезные станки, токарно-револьверные станки, токарные станки с ЧПУ, токарно-карусельные станки, настольные и напольные токарные станки, станки по дереву и металлу. В зависимости от сферы применения станки могут отличаться по материалу, которые они сверлят, скорости работы, особенностям установки (настольные и напольные), функциям и другим характеристикам.

Станки фрезерные по металлу предназначены для фрезеровки, помимо этого они могут выполнять функции растачивания, сверления, зенкерования. Фрезерные станки могут быть вертикально-фрезерными и консольно-вертикально фрезерными, консольно-фрезерными, горизонтально-фрезерными, настольными горизонтально-фрезерными, а также универсальными.

### **7.3 Сведения о ЛЭП и подстанции**

Подстанция принадлежит ОАО «завода электросталей». Завод электросталей является одним из самых важных звеньев промышленности, данный завод будет выпускать продукцию для многих отраслей.

Подстанция рассчитана на напряжении 110 кВ. Питание осуществляется через ЛЭП 110 кВ от подстанции энергосистемы. Подстанция является двухтрансформаторной, с мощностью трансформаторов по 16 МВ·А каждый.

### **7.4 Расчет капиталовложения проекта**

Для финансово-экономической оценки проекта необходимо произвести расчет экономической эффективности вложенных средств и срока окупаемости, рассчитать дисконтированную сумму капитальных вложений.

Капитальные вложения в проектирование включают в себя несколько составляющих: стоимость оборудования, монтажных работ и транспортных услуг. Кроме того учитываются затраты на строительство здания, сооружения и т.д. Общая сумма капитальных вложений ( $\Sigma K$ ) рассчитывается по формуле:

$$\Sigma K = K_o + K_c + K_m + K_{пр}, \quad (7.1)$$

где  $K_o$  – капитальные вложения на приобретение оборудования, 53% от  $\Sigma K$ ;

$K_c$  – капитальные вложения на строительные работы, 30 % от  $\Sigma K$ ;

$K_m$  – капитальные вложения на монтажные и пуско-наладочные работы, 11% от  $\Sigma K$ ;

$K_{пр}$  – капитальные вложения на прочие расходы, 6% от  $\Sigma K$ .

Капиталовложения на приобретение оборудования для строительства завода электросталей составят около 216,040 млн. тенге

Капиталовложения в завод электросталей определяются по приведенным в выпускной работе укрупненным показателям стоимости суммированием следующих составляющих:

- трансформаторы ГПП;
- элегазовые выключатели;
- линии электропередачи;
- разъединители и ОПН.

Расчетная стоимость ячеек РУ должна учитывать стоимость выключателей, разъединителей, трансформаторов тока и напряжения, ОПН, аппаратуры управления, сигнализации, РЗ и А, контрольных кабелей, ошиновки, строительных конструкций и фундаментов, а также соответствующих строительно-монтажных работ. Также дополнительно учитываются затраты на оборудование высокочастотной связи для линейных ячеек.

Расчетная стоимость трансформаторов должна включать затраты на ошиновку, шинопроводы, грозозащиту, заземление, контрольные кабели, РЗ, строительные конструкции и строительно-монтажные работы.

Показатели постоянной части затрат по подстанции учитывают полную расчетную стоимость подготовки и благоустройства территории, общеподстанционного пункта управления, устройств расхода на собственные нужды, аккумуляторной батареи, компрессорной, подъездных и внутриплощадочных дорог, средств связи и телемеханики, маслохозяйства, водопровода, канализации, наружного освещения и прочих общеподстанционных элементов.

Суммарные капитальные вложения на приобретение оборудования подстанции согласно формуле 6.1 составят:

$$\Sigma K = (652,4 + 369,3 + 135,4 + 73,9) * 175,5 = 216,040 \text{ млн. тенге.}$$

Переведем данную сумму из долларов в тенге по курсу Национального Банка РК на 05/05/2014 (1 доллар=175,5 тенге).

### **7.5 Расчет экономической эффективности вложенных средств**

Годовой объем передаваемой электроэнергии ГПП завода электросталей составляет около 76,5 млн. кВтч. Объем передаваемой энергии определяется из расчета мощности по заводу и планируемого количества часов использования максимума загрузки в зависимости от сменности работы завода, которое составляет 4000 часов.

Для расчета срока окупаемости возводимой подстанции рассмотрим два способа получения прибыли:

А) оказание услуг по передаче электроэнергии (транзит через подстанцию);

Б) получение лицензии на покупку электроэнергии с целью ее перепродажи через торговые системы энергорынка (гарантирующий поставщик – «ТОО Сарбаз»).

#### 7.5.1 Оказание услуг по передаче электроэнергии

Создаем ТОО «Сарбаз». Сфера деятельности:

а) Оказание услуг по передаче и гарантированной поставке электроэнергии заводу электросталей.

б) Покупка электроэнергии с целью её перепродажи по торговой системе на рынке электроэнергии.

ТОО «Сарбаз» заключает договор с заводом электросталей на услуги по передаче электроэнергии через ЛЭП-110 кВ

Для определения получаемой прибыли с данного вида деятельности необходимо рассчитать тариф на транзит через подстанции.

Для ПС основная составляющая издержек – амортизация, затраты который примем равной 45%. Найдя амортизацию, найдем и остальные издержки, равные 55%, к которым относятся:

- материалы на 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, ГСМ);

- энергия на хозяйственные нужды (обогрев помещений, монтерских пунктов, освещение всех зданий, помещений предприятия, ремонтных баз);

- энергия на компенсацию технических потерь;

- расходы на оплату труда (складываются из оплаты труда производственного и административного персонала);

- износ основных средств;

- ремонт (капитальные, текущие ремонты и техобслуживание оборудования, нуждающегося в данном виде ремонта согласно графику);

- командировочные расходы (командировочные расходы для административного и производственного персонала);

- канцелярские расходы;

- охрана труда (любая компания нуждается в спецодежде, обуви и комплектах, необходимых по требованиям охраны труда);

- поверка приборов (необходима поверка рабочих и исходных эталонов);

- страхование от несчастных случаев (страхование в РК обязательно – выбирается только вид страхования);

- типографские расходы (эта статья складывается из закупки бланков различной отчетности и повседневного пользования (журналов, карточек, ведомостей, актов, инструкций, правил, заявок));

- подготовка кадров (складывается из сумм договоров тех организаций, куда на повышение квалификации ездят работники компании);

- расходы на экологию (эта статья содержит расходы, связанные с выбросами в атмосферу вредных веществ от использования ГСМ транспортом компании, с загрязнением среды твердо-бытовыми отходами и т.д.);
- услуги связи (абонентская плата за телефон, оплата междугородних и международных переговоров, оплата высокочастотной связи);
- расходы на коммунальные услуги (стоимость холодной воды и канализации, вывоз мусора, тепловая энергия);
- налоговые платежи;
- расходные материалы для вычислительной и оргтехники (сюда включается закупка картриджей, барабанов, тонеров, запчастей);
- услуги банка (комиссионные за проведение зарплат, командировочных, операций с расчетными счетами и т.д. в размере установленного процента с сумм оборота);
- услуги почтамта (за пересылку корреспонденции, писем, деловой переписки и др. почтамт согласно договору выставляет счет).

Расчет эксплуатационных издержек

Нормы амортизации примем равными 3%, тогда амортизация ПС составит:

$$\sum I_{ам} = H_0 * \sum K = 179\,110,5 * 0,03 = 5373,3 \text{ тыс. тенге};$$

Тогда другие затраты составят:

$$\sum I_{др} = 5373,3 * 55/45 = 6567,4 \text{ тыс. тенге};$$

Полные затраты составят:

$$\sum I = \sum I_{ам} + \sum I_{др} = 5373,3 + 6567,4 = 11\,940,7 \text{ тыс. тенге.}$$

Тогда полная себестоимость составит:

$$S = \frac{\sum I}{W_{год}} = \frac{11940,7 \cdot 10^3}{76500 \cdot 10^3} = 0,16, \text{ тенге/кВт}\cdot\text{ч};$$

Итоговый тариф за транзит электроэнергии через подстанцию с учетом доходности 10% вычисляется по формуле:

$$C_{ПС} = (S_{ПС} + 0,1S_{ПС}) = 1,1S_{ПС} = 0,16 \cdot 1,1 = 0,176, \text{ тенге/кВт}\cdot\text{ч}.$$

Определим годовую прибыль за транзит через подстанцию за вычетом подоходного налога, который составляет 20%:

$$\sum \Pi_{пр} = W_{год} * 0,1S_{ПС} * 0,8 = 76500 * 0,016 * 0,8 = 979000 \text{ тыс. тенге};$$

С данной годовой прибылью срок окупаемости вложенных инвестиций составит более 100 лет, что является экономически нецелесообразно. Поэтому переходим к рассмотрению второго вида деятельности по получению прибыли.

7.5.2 Получение лицензии на покупку электроэнергии с целью ее перепродажи через торговые системы энергорынка

По данным на апрель 2014 года тариф на электроэнергию в Алматинской области составляет 12,34 тенге за кВт/ч. Рассмотрим механизм ценообразования на подстанции и его составляющие:

- покупка электроэнергии (4 тенге кВт/ч);
- тариф КЕГОК (0,94 тенге кВт/ч);
- тариф РЭК (3,2 тенге кВт/ч);
- собственный тариф ТОО «Сарбаз» (0,176 тенге кВт/ч).

Тогда исходная себестоимость электроэнергии на подстанции составит 8,32 тенге кВт/ч. При продаже потребителям электроэнергии по цене 9,2 тенге кВт/ч, ТОО получает прибыль в размере 0,88 тенге кВт/ч.

За вычетом подоходного налога годовая прибыль от данного вида деятельности составит:

$$\sum \Pi_{кп} = W_{год} * 0,88 * 0,8 = 76500 * 0,88 * 0,8 = 53\ 856 \text{ тыс. тенге};$$

Суммарная прибыль предприятия от обоих видов деятельности составит:

$$\sum \Pi = \sum \Pi_{кп} + \sum \Pi_{пр} = 0,979 + 53856 = 53\ 857 \text{ тыс. тенге.}$$

Определим срок окупаемости инвестиций от перечисленных видов деятельности.

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

Срок окупаемости инвестиций в текущих стоимостях (окупаемость в терминах текущих стоимостей, дисконтированный период окупаемости капиталовложений).

Общая формула для расчета окупаемости в терминах текущих стоимостей:

$$\text{ТокТС} = n, \text{ при котором } \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} > I_0 \quad (7.2)$$
$$CF = \sum \Pi_p + I_{ам}$$

где Ток ТС - срок окупаемости инвестиций в текущих стоимостях;

n - число периодов;

CFt - приток денежных средств в период t;

r - барьерная ставка (коэффициент дисконтирования);

Io - величина исходных инвестиций в нулевой период.

Видоизменяя понятие окупаемости, мы можем получить два дополнительных инструмента анализа инвестиций. Так, показатель окупаемость в терминах текущих стоимостей (его будем кратко называть ТС-окупаемостью, также используемый при определении количества временных периодов, требуемых для возмещения инвестиционных расходов, принимает в расчет временную стоимость денег. В то время как при вычислении окупаемости просто суммируются ежегодные денежные поступления для определения того года, в котором они превзойдут первоначальные расходы денежных средств, при вычислении ТС-окупаемости суммируются дисконтированные денежные поступления.

ТС-окупаемость - это показатель, оценивающий характерное время инвестиции, а именно определяющих, как быстро инвестиционные расходы будут возмещены доходами. Дисконтированный период окупаемости позволяет дать грубую оценку ликвидности проекта и приблизительно оценить риск. И наконец, ТС-индекс является более надежным, чем внутренний коэффициент окупаемости (IRR), показателем в случаях, когда необходим сравнительный анализ целесообразности инвестиций.

Произведем расчет.

Размер инвестиций: 179 110,5 тыс. тенге.

Доходы от инвестиций

в первом году – 53 857 тыс. тенге;

во втором году (+3%) – 55 472,7 тыс. тенге;

в третьем году(+6%) – 57 088,4 тыс. тенге;

в четвертом году(+8%) – 58 165,6 тыс. тенге;

в пятом году(+10%) – 59 242,7 тыс. тенге.

Размер барьерной ставки: 11%.

Пересчитаем денежные потоки в вид текущих стоимостей:

$$PV1 = 53875 / (1 + 0,11) = 48 519,8 \text{ тыс. тенге};$$

$$PV2 = 55472,7 / (1 + 0,11)^2 = 45 022,9 \text{ тыс. тенге};$$

$$PV3 = 57088,4 / (1 + 0,11)^3 = 41742,5 \text{ тыс. тенге};$$

$$PV4 = 58165,6 / (1 + 0,11)^4 = 38315,5 \text{ тыс. тенге};$$

$$PV5 = 59242,7 / (1 + 0,11)^5 = 35157,7 \text{ тыс. тенге}.$$

Определим период по истечении которого инвестиция окупается.

$$PV_{\Sigma} = 48519,8 + 45022,9 + 41742,5 + 38315,5 + 35157,7 = 208758,4 \text{ тыс. тенге}.$$

Сумма дисконтированных доходов за 4,2 года составляет 208 758,4 тенге, что больше начальных инвестиций, это значит, что возмещение первоначальных расходов произойдет раньше 5 лет.

Если предположить что приток денежных средств поступает равномерно в течении всего периода (по умолчанию предполагается что денежные средства поступают в конце периода), то можно вычислить остаток от пятого года.

$$\text{Остаток} = (1 - (208\,758,4 - 179\,110,5) / 35157,7) = 0,16 \text{ года.}$$

Период окупаемости в текущих стоимостях равен 4,2 годам (точнее 4,16 года).

Технико-экономическое обоснование выбора схемы электроснабжения завода электросталей показало, что необходимые суммарные капиталовложения, составляющие 179 110,5тыс. тенге, с учетом дисконтированной стоимости, окупятся за 4,16 года, т.е. проект целесообразен и экономически эффективен. Оптимальный период окупаемости был достигнут при использовании данных методов получения прибыли.

## Заключение

В данной дипломной работе было спроектировано электроснабжение завода электросталей.

Во втором разделе дипломной работы были рассчитаны электрические нагрузки для завода по методу коэффициентов использования и максимума.

В третьем разделе был проведен технико-экономический расчет вариантов электроснабжения завода электросталей. Так как отклонение приведенных суммарных затрат между тремя вариантами электроснабжения существует, то мы выбрали I вариант с  $U=110\text{kV}$ , взамен другим схемам по условию дешевизны и надежности.

В четвертом разделе был проведен расчет токов короткого замыкания и выбор защитной и измерительной аппаратуры на напряжение выше  $1\text{kV}$ .

После была рассмотрена специальная часть ,где был произведен расчет автоматического регулирования высоковольтных компенсирующих устройств реактивной мощности. Для компенсации реактивной мощности использованы высоковольтные конденсаторные батареи. Суммарная реактивная мощность по заводу составляло около  $7000$  квар ,а суммарная мощность конденсаторных батарей  $4500$  квар, очевидно что большая часть реактивной мощности компенсируется. Для наглядности был зарисован график, где данные цифры приведены в графическом виде. Для наилучшего эффекта компенсации использовалось схема одноступенчатого автоматического регулирования по напряжению с двумя реле напряжения.

Следующим пунктом данной работы является безопасности жизнедеятельности, в данном разделе рассмотрены:

Анализ условий труда в механическом цехе, где мы рассмотрели все факторы влияющие на рабочий персонал и окружающую среду.

Выбор мероприятий по снижению шума в механическом цехе.

В механическом цехе станки издают шум, которые оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека. сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно – сосудистой и нервной систем. Поэтому в дипломном проекте уделяется большое внимание выбору мероприятий по снижению шума.

Расчет зануления электрооборудования механического цеха.

Основной мерой защиты от поражения электрическим током в сетях напряжением до  $1000$  В является зануление, для того чтобы обеспечить безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. Цель зануления – быстро отключить электроустановку от сети при замыкании одной (или двух) фазы на корпус.

В конце дипломной работы рассмотрели технико-экономическое обоснование эффективности схемы внешнего электроснабжения завода электросталей. Технико-экономическое обоснование выбора схемы электроснабжения завода электросталей показало, что необходимые



суммарные капиталовложения, составляющие 179 110,5 тыс. тенге, с учетом дисконтированной стоимости, окупятся за 4,16 года, т.е. проект целесообразен и экономически эффективен.

Таким образом в дипломном проекте выполнена детальная разработка системы электроснабжения завода. Спроектирована система электроснабжения завода электросталей, позволяющая наиболее рационально использовать имеющиеся производственные и электроэнергетические мощности.

## Список литературы

1. Технический каталог Alageum electric , Кентауский трансформаторный завод/2012.
2. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учебное пособие. –М.: ФОРУМ ИНФРА-м, 2006.-480с.
3. Ю.Г. Барыбин, Л.Е. Федоров. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 465с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений/ Б. И. Кудрин.-М.: Интернет Инжиниринг,2005.-672с.
5. Киреева Э.А. Справочные материалы по электрооборудованию(цеховые электрические сети, электрические сети жилых и общественных зданий),2004.
6. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей / Под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовера - М.: Энергия, 1974. - 696с.
- 7.<http://www.abb.ru/product/db0003db002618/009a2181fba232dc1257623002700f6.aspx>
8. Защита от производственного шума А.Н.Кудрин. - Ульяновск: УлГТУ, 2001 .-32 с.
9. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
10. Л.Д.Рожкова, В.С.Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. 3-е издание, переработанное и дополненное; – М: Энергоатомиздат, 2007-648с.
11. Чунихин А. А. Электрические аппараты (общий курс). Учебник для энергетических и электротехнических институтов и факультетов. Изд. 2-е,
12. Экономический анализ: Учебник для вузов / Под редакцией Гиляровой, Л.Т. – М: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 527с.
13. Адамчук В.В. Экономика труда: Учебник. – М.: ЗАО Финстатинформ, 2002. – 431с.