

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

Институт архитектуры строительства, и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра «Энергетика»

Байдосов Мансур Жанибекович

Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их  
совершенствования

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

Институт архитектуры строительства, и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра «Энергетика»

Байдосов Мансур Жанибекович

Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их  
совершенствования

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

Институт архитектуры строительства, и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра «Энергетика»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

И.о. заведующего кафедрой  
доктор PhD, ассистент профессор

 Е.А.Сарсенбаев

« 21 » 05 2019 г.

### ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Анализ технического состояния силового электрооборудования и  
пути их совершенствования»

по специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Выполнил



Байдосов М. Ж.

Рецензент

к.т.н., зав. кафедрой «Электрические  
машины, и электропривод» АУЭС

 Калиева К.Ж.

(подпись)

« 21 » 05 2019 г.

Научный руководитель

к.т.н., сениор -лектор

 А.А.Жуматова

(подпись)

« 21 » 05 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

Институт архитектуры строительства, и энергетики им. Т.К. Басенова

Кафедра «Энергетика»

5B071800 – Электроэнергетика

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. заведующего кафедрой  
доктор PhD, ассистент профессор

 Е.А.Сарсенбаев

«28» 01 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Байдосов Мансур Жанибекович

Тема: Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования.

Утверждена приказом проректора университета №1210 - б от «30» 10 2018 г.

Срок сдачи законченной работы «6» мая 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 4,6 км. Завод работает в две смены.

Перечень подлежащих разработке вопросов:

- а) Расчет электрических нагрузок завода;
- б) Техничко-экономический расчет;
- в) Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования;
- г) Электробезопасность.

Перечень графического материала: Графический материал представить в виде презентации.

Рекомендуемая основная литература: 12 наименований.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Расчет электрических нагрузок завода	30.03.19г.	нет
Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования	15.04.19г.	нет
Электробезопасность	28.04.19г.	нет

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель и консультанты	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Жуматова А.А. к.т.н., сениор -лектор	11.05.19г.	
Специальная часть	Жуматова А.А. к.т.н., сениор -лектор	11.05.19г.	
Электробезопасность	Жуматова А.А. к.т.н., сениор -лектор	11.05.19г.	
Нормоконтролер	Балгаев Н.Е. доктор PhD	10.05.19г.	

Научный руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Жуматова А.А.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_

(подпись)

Байдосов М. Ж.

Дата « 3 » \_\_\_\_\_ 03 \_\_\_\_\_ 2019 г.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Байдосов Мансур Жанибекович

**Название:** Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования.doc

**Координатор:** Асель Жуматова

**Коэффициент подобия 1:** 48,7

**Коэффициент подобия 2:** 13,4

**Тревога:** 605

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

допустить к работе

20.05.192

Дата

Иль. Мухомова А. П.

Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия**

**заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Байдосов Мансур Жанибекович

**Название:** Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования.doc

**Координатор:** Асель Жуматова

**Коэффициент подобия 1:**48,7

**Коэффициент подобия 2:**13,4

**Тревога:**605

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

21.05.2016

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

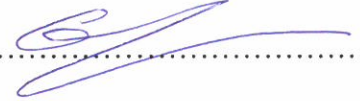
начальника структурного подразделения



Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

допустить к защите

27.05.23



Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу  
(наименование вида работы)

Байдосов Мансур

5B071800-Электроэнергетика

На тему: Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования

Выполнено:

- а) графическая часть на \_\_\_\_\_ листах  
б) пояснительная записка на \_\_\_\_\_ страницах

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена исследованию вопросов технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования.

Основная часть данной дипломной работы охватывает: технологический процесс производства и расчет осветительной нагрузки по цехам предприятия, а также определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ.

В технико-экономической части приведена сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения завода.

### Оценка работы

Дипломная работа выполнена на «отлично» (90%), в связи с чем считаю автора данной работы достойным академической степени «бакалавр» по специальности 5B071800-Электроэнергетика.

### Рецензент

АУЭС - на кафедре «Электрические машины  
и Электроприводов», к.т.н., доцент



Калиева К.Ж.

2019 г.

**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на Дипломную работу  
(наименование вида работы)

Байдосову Мансуру Жанибековичу

5B071800-Электроэнергетика

Тема: Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования.

В данной работе рассмотрены вопросы технологического процесса производства и расчет осветительной нагрузки по цехам предприятия, а также определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ.

Байдосов Мансур приступил к выполнению дипломной работы в соответствии с графиком.

За время дипломирования показал себя грамотным, хорошим специалистом, способным самостоятельно заниматься поиском необходимой литературы для решения поставленных задач, умеющим пользоваться справочной литературой, компьютерными технологиями.

Дипломная работа выполнена в полном объеме, состоит из пояснительной записки на 52 стр. машинописного текста.

Считаю, что дипломная работа Байдосов Мансур заслуживает оценку «отлично» (90%), а ее автор – присвоения степени «бакалавр».

**Научный руководитель**

к.т.н., сениор – лектор

кафедры «Энергетика»

Жуматова А.А.

«20» 05 2019 г

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс ағаш өңдеу зауытының электрмен жабдықтау жүйесіндегі желілерге қосылған жабдықтарға арналған асқын кернеу мәселелерін зерттеуге арналған. Осы мақсатқа жету үшін бірқатар тапсырмалар қабылданады: зауытқа сәйкес электр жүктемелерін анықтау, яғни. жарықтандыруды есептеу; кәсіпорында төмен вольтты электр жүктемелерін есептеу; қуат шығынын анықтау; 6 кВ шиналардағы реактивті қуаттылықты есептеу; қысқа тұйықталу токтарының есебі мен жабдықты таңдау. Электр қуаты 31,5 МВА, 115/37 / 6,3 кВ екі қуатты үш трансформаторлар орнатылған электр қуатын қосалқы станциясынан жеткізілуі мүмкін. Жүйелік қуаты 600 МВА, жүйе қуатына қатысты, 115 кВ жағында жүйе реакциясы, 0,2. Электр станциясынан зауытқа дейінгі қашықтық - 4,6 км. Зауыт екі ауысымда жұмыс істейді.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена исследованию проблем перенапряжения оборудования, подключенного к системе электроснабжения деревообрабатывающего завода. Для достижения этой цели будет решен ряд задач: определить электрические нагрузки в соответствии с установкой. расчет освещенности; расчет низковольтных электрических нагрузок на предприятии; Определение энергопотребления; Расчет реактивной мощности в шинах 6 кВ; Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования. Электростанции могут поставляться от электростанции мощностью 31,5 МВА, двух мощных трех трансформаторов напряжением 115/37 / 6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, мощность системы, 115 кВ, реакция системы, 0,2. Расстояние между заводом и заводом составляет 4,6 км. Завод работает в две смены.

## ANNOTATION

The thesis is devoted to the study of the overvoltage problems of equipment connected to the power supply system of a woodworking plant. To achieve this goal, a number of tasks will be solved: to determine the electrical loads in accordance with the installation. illumination calculation; calculation of low-voltage electrical loads in the enterprise; Determination of energy consumption; Calculation of reactive power in tires 6 kV; Calculation of short-circuit currents and the choice of equipment. The power plants can be supplied from a 31.5 MVA power station, two high-capacity three 115/37 / 6.3 kV transformers. System power 600 MVA, system power, 115 kV, system response, 0.2. The distance between the plant and the plant is 4.6 km. The plant operates in two shifts.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Технологический процесс производства	8
1.1	Исходные данные	8
2	Основная часть	10
2.1	Расчет осветительной нагрузки по цехам предприятия	10
2.2	Расчет электрических нагрузок	10
2.3	Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	17
2.4	Распределение $Q_{нбк}$ пропорционально реактивным нагрузкам ТП	19
2.5	Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	19
2.6	Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	23
3	Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания $U=10кВ$	37
4	Специальная часть	46
4.1	Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования	46
5	Электробезопасность	50
	Заключение	51
	Список использованной литературы	52

## ВВЕДЕНИЕ

Целью данной дипломной работы является анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования в системе электроснабжения деревообрабатывающего завода. Для достижения данной цели принимается ряд задач:

- определение электрических нагрузок по заводу, т.е. расчет освещения;
- расчет низковольтных электрических нагрузок по предприятию;
- определение потерь мощности;
- расчет компенсации реактивной мощности на шинах 6 кВ;
- расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования.

В данной дипломной работе рассмотрено электроснабжение деревообрабатывающего завода. Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 4,6 км. Завод работает в две смены.

На территории завода имеется: 8 цехов, биржа сырья, гараж, насосная, заводоуправление, столовая.

Особенностью данной дипломной работы является наличие синхронных двигателей, запитывающихся непосредственно от главной понизительной подстанции завода, напряжением 6 кВ., остальные электроприемники комбината имеют номинальное напряжение 380 В. Внешнее электроснабжения завода осуществляется воздушной линией на железобетонных опорах напряжением 110 кВ.

При проектировании электроснабжения деревообрабатывающего завода необходимо обеспечить высокую степень надежности и экономичности. В дипломной работе также представлены разделы экономики и безопасности жизнедеятельности. В экономической части рассчитывается срок окупаемости объекта и экономическая эффективность проекта. Раздел БЖД включает в себя такие вопросы как: анализ условий труда в цехе по обработке древесины, разработка аппарата очистки газов от древесной пыли и разработка вопросов электробезопасности в цехе по обработке древесины.

## **1 Технологический процесс производства**

Основной целью дипломной работы является анализ технического состояния энергетического оборудования и путей его совершенствования в системе электроснабжения деревообрабатывающего завода. Выбор новой схемы электроснабжения осуществляется путем сравнения двух новых версий схем электроснабжения этого предприятия. Выбор новой схемы передачи электроэнергии осуществляется путем сравнения двух вариантов схем электроснабжения предприятия.

1) В настоящее время такие качественные продукты не производятся в Казахстане, и иностранные партнеры имеют невыгодную цену для внутренних покупателей из-за доставки и таможенных платежей. Вся продукция нашей компании отвечает всем потребностям и потребностям отечественных потребителей, и мы считаем, что наша продукция будет пользоваться большим спросом, поскольку она намного дешевле, чем зарубежные партнеры, и, по крайней мере, такова. Планируемая цена с доходностью 10%: оконные рамы - 1500 тг / м<sup>2</sup>; измельчитель - 13500 тг / м<sup>3</sup>; экструдированные плиты - 800 тг / лист;

2) Цена: оконные рамы - 1365 тг / м<sup>2</sup>; плита - 12,270 тг / м<sup>3</sup>, сплюснутая плитка - 725 тг / лист.

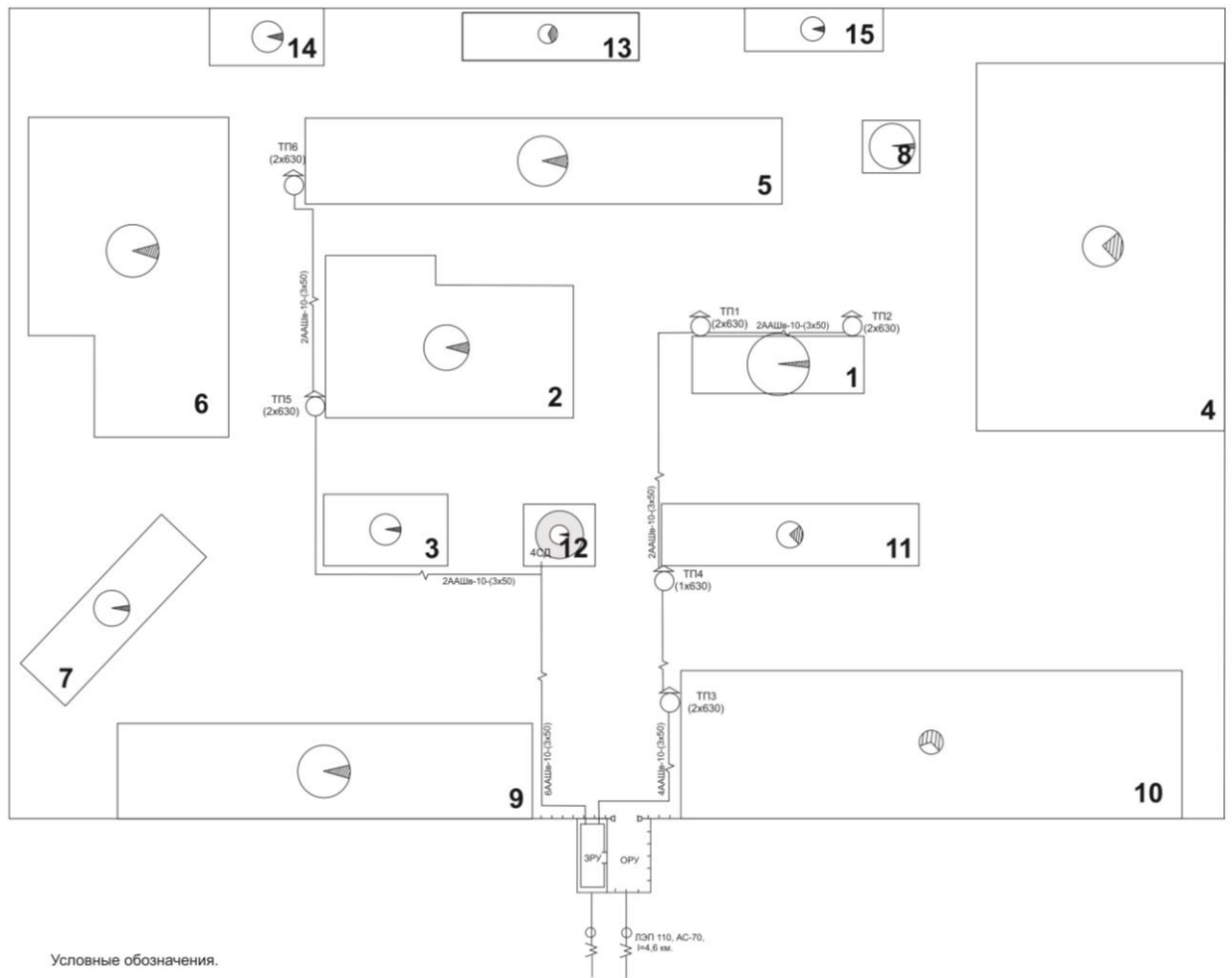
3) объем производства: оконные рамы - 25 000 м<sup>2</sup>; коврики в салон - 75 000 м<sup>3</sup>; печатная плитка - 150000 листов.

4) Планируется продажа товаров в магазине компании Stalker с 5 и 15% скидкой на продажи. Оптовый торговый склад на сумму более 250 тыс. Тенге. со скидкой 5%. Также предусматривается транспортировка товаров потребителям на территории республики. В этом случае в стоимость товара входит стоимость таможенных пошлин и транспортных услуг. Крупные отечественные производители оплачиваются в рассрочку.

### **1.1 Исходные данные**

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 4,6 км. Завод работает в две смены. Сведения об электрических нагрузках по цехам завода – таблица 1.1.

Генеральный план завода представлен на рисунке 1.1



**Рисунок 1.1 – Генеральный план предприятия**



**Таблица 1.1 - Электрические нагрузки деревообрабатывающего завода**

№ п/п	Наименование	Кол-во ЭП, п	Установленная мощность	
			Одного ЭП P <sub>н</sub> , кВт	Суммарная $\Sigma$ P <sub>н</sub> , кВт
1	2	3	4	5
1	Лесопильный цех	100	1-100	2500
2	Сушильный цех	50	10-80	950
3	Механический цех	41	1,5-22	328,2
4	Биржа сырья	30	10-40	700
5	Столярный цех №1	40	3-40	1200
6	Кузнечно-прессовый цех	50	1-50	1400
7	Мебельный цех	30	1-28	550
8	Насосная	8	40-100	560
9	Сборочный цех	60	1-20	1720
10	Цех прессовых плит	10	1-10	60
11	Материальный склад	8	1-10	50
12	Компрессорная: а) 0,4 кВ	8	10-20	100
	б) СД 10 кВ	4	720	2880
13	Заводоуправление	20	0,5-14	100
14	Столовая	30	1-40	320
15	Гараж	20	5-28	280

## 2 Основная часть

### 2.1 Расчет осветительной нагрузки по цехам предприятия

Расчет осветительной нагрузки при определении нагрузки деревообрабатывающего завода 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:

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

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

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

числовые значения которого принимаю по таблице 3.1

$\text{tg}\varphi_o$ -коэффициент реактивной мощности, определяется по  $\cos \varphi$  в таблице 3.3;  $P_{yo}$  – 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 фабрики, в  $\text{м}^2$  ;

$$F_{\text{террцехов}} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_{15}, \quad (2.4)$$

$$F_{\text{тер завода}} = A \times B, \text{ м}^2 \quad (2.5)$$

$$F_{\text{освещаем терр}} = F_{\text{тер завода}} - F_{\text{террцехов}}, \quad (2.6)$$

$\rho_o$ – удельная расчетная мощность в кВт на  $1\text{ м}^2$ . Эта величина зависит от рода помещения и выбирается согласно таблице 5-42. Все расчетные данные заносятся в таблицу 2.2 - Расчет осветительной нагрузки.

### 2.2 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам завода производим также методом упорядоченных диаграмм упрощенным способом. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 2.3. «Расчет силовых нагрузок по цехам завода напряжением 0,4 кВ».

**Таблица 2.1 - Расчет осветительной нагрузки**

№ по плану	Наименование производственного помещения	Размеры помещения, длина(м) × ширина(м)	Площадь помещения, м <sup>2</sup>	Удельная осветительная нагрузка, ρ <sub>о</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	Коэффициент спроса, Кс	Установленная мощность освещения, Р <sub>уо</sub> , кВт	Расчетная мощность осветительной нагрузки		cosφ / tgφ
							Р <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>ро</sub> , квар	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Лесопильный цех	52,5×12,5	656,3	0,016	0,8	10,5	8,4	4,2	0,9/0,5
2	Сушильный цех	35×50+45×40	3550	0,016	0,8	56,8	45,4	22,7	0,9/0,5
3	Механический цех	37,5×22,5	843,8	0,018	0,8	15,2	12,2	6,1	0,9/0,5
4	Биржа сырья	80×115	9200	0,015	0,8	138	110,4	55,2	0,9/0,5
5	Столярный цех №1	157,5×25	3937,5	0,016	0,8	63	50,4	25,2	0,9/0,5
6	Кузнечно-прессовый цех	62,567,5+40×32,5	5518	0,016	0,8	88,3	70,6	35,3	0,9/0,5
7	Мебельный цех	65×17,5	1137,5	0,015	0,8	17,1	13,7	6,8	0,9/0,5
8	Насосная	12,5×12,5	156,3	0,013	0,7	2	1,4	0,7	0,9/0,5
9	Сборочный цех	137,5×27,5	3781,3	0,015	0,8	56,7	45,4	22,7	0,9/0,5
10	Цех прессовых плит	165×45	7425	0,016	0,8	118,8	95	47,5	0,9/0,5
11	Материальный склад	82,5×20	1650	0,01	0,6	16,5	10	5	0,9/0,5
12	Компрессорная	20×20	400	0,013	0,7	5,2	3,6	1,8	0,9/0,5
13	Заводоуправление	60×12,5	750	0,02	0,9	15	13,6	6,8	0,9/0,5
14	Столовая	35×12,5	437,5	0,02	0,9	8,8	7,8	3,9	0,9/0,5
15	Гараж	42,5×7,5	318,8	0,013	0,7	4,1	3	1,5	0,9/0,5
	Территория	417,5×267,5	71919,5	0,002	1	143,8	143,8	71,9	0,9/0,5

**Таблица 2.2 - Расчет силовых нагрузок по цехам деревообрабатывающего завода, U = 0,4кВ**

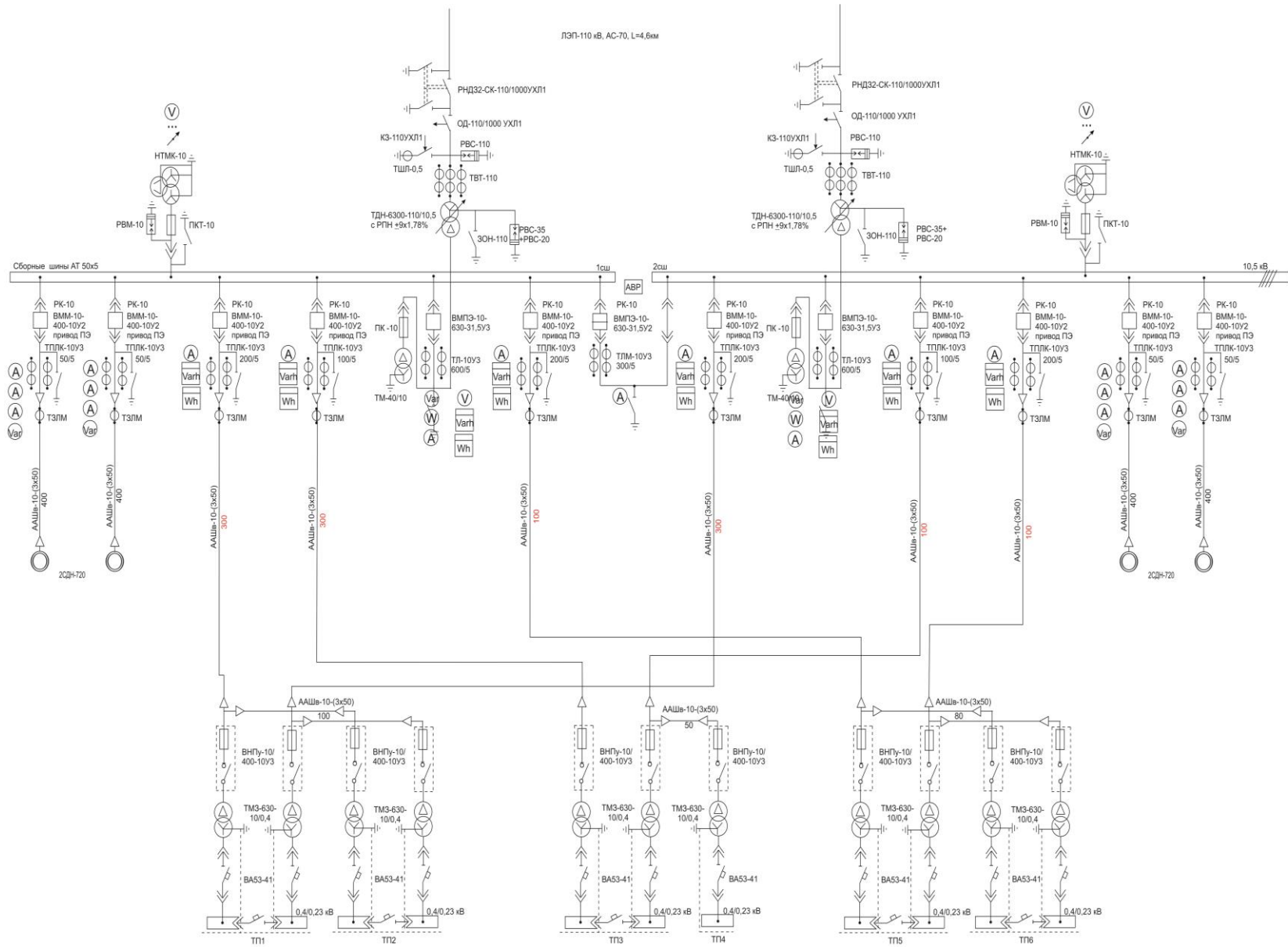
№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт		m	K <sub>и</sub>	cosφ/ tgφ	Средние нагрузки		n <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Расчетные нагрузки			I <sub>p</sub> , А
			P <sub>нmin</sub> ÷ P <sub>нmax</sub>	ΣP <sub>н</sub>				P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Нагрузки напряжением 0,4 кВ															
1	Лесопильный цех	100	1-100	2500	>3	0,3	0,8/0,75	750	562,5	50	1,16	870	562,5		
	а) силовая														
	б) осветительная														
	Итого											878,4	566,7	1045,3	1590,1
2	Сушильный цех	50	10-80	950	>3	0,35	0,8/0,75	332,5	249,4	24	1,26	419	249,4		
	а) силовая														
	б) осветительная														
	Итого											464,4	272,1	538,2	818,7
3	Механический цех	40	1,5-23	328,2	>3	0,4	0,75/0,88	131,2	115,5	14	1,46	191,5	115,5		
	а) силовая														
	б) осветительная														
	Итого											203,7	121,6	237,2	360,8
4	Биржа сырья	30	10-40	700	>3	0,3	1,16	210	243,6	30	1,24	260,4	243,6		
	а) силовая														
	б) осветительная														
	Итого											370,8	298,8	476,2	724,4
5	Столярный цех №1	40	3-40	1200	>3	0,35	1,02	420	428,4	40	1,17	491,4	428,4		
	а) силовая														
	б) осветительная														
	Итого											541,8	453,6	706,6	1074,9

продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	Кузнечно-прессовый цех														
	а) силовая	50	1-50	1400	>3	0,35	0,7/1,02	490	499,8	50	1,15	563,5	499,8		
	б) осветительная											70,6	35,3		
	итого											634,1	535,1	829,7	1262,2
7	Мебельный цех														
	а) силовая	30	1-28	550	>3	0,4	0,75/0,88	220	193,6	30	1,24	272,8	193,6		
	б) осветительная											13,7	6,8		
	итого											286,5	200,4	349,6	531,8
8	Насосная														
	а) силовая	8	40-100	560	>3	0,65	0,8/0,75	364	273	8	1,26	458,6	300,3		
	б) осветительная											1,4	0,7		
	итого											460,1	301	549,8	836,3
9	Сборочный цех														
	а) силовая	60	1-20	1720	>3	0,3	0,75/0,88	516	454,1	60	1,14	588,2	454,1		
	б) осветительная											45,4	22,7		
	итого											633,6	476,8	793	1206,2
10	Цех прессовых плит														
	а) силовая	10	1-10	60	>3	0,4	0,75/0,88	24	21,1	10	1,43	34,3	23,2		
	б) осветительная											95	47,5		
	итого											129,3	70,8	147,4	224,3
11	Материальный склад														
	а) силовая	8	1-10	50	>3	0,3	0,8/0,75	15	11,3	8	1,72	25,8	12,4		
	б) осветительная											10	5		
	итого											35,8	17,3	39,7	60,4

продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	Компрессорная														
	а) силовая	8	10-20	100	>3	0,65	0,8/0,75	65	48,8	8	1,26	81,9	53,6		
	б) осветительная											3,6	1,8		
	итого											85,5	55,4	101,9	155,1
13	Заводоуправление														
	а) силовая	20	14	100	>3	0,5	0,75/0,88	50	44	14	1,25	62,5	44,0		
	б) осветительная											13,5	6,8		
	итого											76	50,8	91,4	139
14	Столовая														
	а) силовая	30	40	320	>3	0,5	0,75/0,88	160	140,8	16	1,23	196,8	140,8		
	б) осветительная											7,9	3,9		
	итого											204,7	144,7	250,7	381,3
15	Гараж														
	а) силовая	20	28	280	>3	0,3	0,7/1,02	84	85,7	20	1,5	126	85,7		
	б) осветительная											3	1,5		
	итого											129	87,1	155,6	236,7
	Освещение территории											143,8	71,9		
	Итого на шинах 0,4 кВ											5161,9	3663,5	6329,8	9628,6



**Рисунок 2.1 – Однолинейная схема электроснабжения**

### 2.3 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ

Суммарная расчетная мощность НБК равна:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{НБК}1} + Q_{\text{НБК}2}, \text{ квар} \quad (2.7)$$

Суммарная мощность НБК распределяется между отдельными трансформаторами цеха пропорционально их расчетным нагрузкам.

1. Для каждой технологически концентрированной группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности минимальное их число, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, равно:

$$N_{\text{min T}} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \cdot S_{\text{HT}}} + \Delta N, \quad (2.8)$$

где  $\Delta N$  - добавка до ближайшего целого числа.

Завод относится ко второй категории потребителей, работает в две смены, следовательно,  $K_3 \text{ тр} = 0,8$ .

$$N_{\text{min T}} = \frac{5161,9}{0,8 \cdot 630} + 0,76 = 11 \text{ трансформаторов.}$$

Определим  $N_{\text{тэ}}$  - экономически оптимальное число трансформаторов:

$$N_{\text{тэ}} = N_{\text{min T}} + m, \quad (2.9)$$

где  $m$  - дополнительное число трансформаторов.

$z_{\text{п/ст}}^* = 0,5$ ;  $K_3 = 0,8$ ;  $\Delta N = 0,76$ ;  $N_{\text{min T}} = 11$ ; следовательно  $m = 0$

$N_{\text{тэ}} = 11 + 0 = 11$  трансформаторов.

По выбранному числу трансформаторов определяем наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N m \cdot K_3 \cdot S_{\text{HT}})^2 - P_{p0,4}^2}$$

$$Q_1 = \sqrt{(11 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 5161,9^2} = 2022,5 \text{ квар}$$

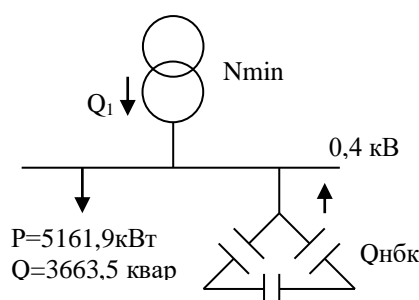


Рисунок 2.1 – Схема замещения

Из условия баланса реактивная мощность на шинах 0,4 кВ определим:

$$Q_{\text{НБК}1} = Q_{p0,4} - Q_1 = 3663,5 - 2022,5 = 1641 \text{ квар}$$

2. Определим дополнительную мощность НБК по условию снижения потерь в сети:



где  $\gamma$  - расчетный коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ ,  $\gamma=f(K_1; K_2)$

$K_1=16; K_2=2$ . При магистральном питании по кривым принимаем  $\gamma=0,6$

$Q_{нбк_2}=3663,5-2022,52-0,6 \times 11 \times 630 = -2517$  квар

Принимаем  $Q_{нбк_2}=0$ , то  $Q_{нбк} = Q_{нбк_1}=1641$  квар

Определим мощность  $Q_{нбк}$  тп, приходящую на каждый трансформатор:

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{Q_{нбк}}{N} = \frac{1641}{11} = 149 \approx 150 \text{ квар}$$

**Таблица 2.4 - Предварительное распределение низковольтных нагрузок по ЦТП**

№№ ТП Снт, $Q_{нбк}$ тп	№№ цехов	$P_{p 0,4}$ , кВт	$Q_{p 0,4}$ , квар	$S_{p0,4}$ , кВА	$K_3'$
1	2	3	4	5	6
ТП 1 (2×630) ТП 2 (2×630)	1	878,4	566,7		
	4	370,8	298,8		
	8	460,1	301		
	15	128,9	87,1		
	13	76	50,8		
$\Sigma S_H=2520$ кВА		1914,2	1304,4		
$Q_{нбк}=4 \times 150$ квар		—	-600		
<b>ИТОГО</b>		1914,2	704,4	2039,7	0,81
ТП 3 (2×630) ТП 4 (1×630)	3	203,7	121,6		
	7	286,5	200,4		
	9	633,6	476,8		
	10	129,4	70,8		
	12	85,5	55,4		
	11	35,7	17,3		
	освещ. терр.	143,8	71,9		
$\Sigma S_H=1890$ кВА		1417,7	953,6		
$Q_{нбк}=3 \times 150$ квар		—	-450		
<b>ИТОГО</b>		1417,7	503,6	1504,5	0,8
ТП 5 (2×630) ТП 6 (2×630)	5	541,8	453,6		
	2	464,4	272,1		
	6	634,1	535,1		
	14	204,7	144,7		
$\Sigma S_H=2520$ кВА		1845	1405,5		
$Q_{нбк}=4 \times 150$ квар		—	-600		
<b>ИТОГО</b>		1845	805,5	2013,2	0,8

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

$$\frac{Q_{p0,4}}{Q_{нбк}} = \frac{Q_{pтп}}{Q_{pнбктп}} \Rightarrow X = \frac{Q_{нбк} \times Q_{pтп1,2}}{Q_{p0,4}} \quad (2.10)$$

$$\text{ТП1, ТП2: } X1 = \frac{1641 \times 1304,4}{3663,5} = 584 \text{ квар,}$$

$$\text{ТП3, ТП4: } X2 = \frac{1641 \times 953,6}{3663,5} = 427 \text{ квар}$$

$$\text{ТП5, ТП6: } X3 = \frac{1641 \times 1405,5}{3663,5} = 629 \text{ квар}$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.5

**Таблица 2.5 - Уточненное распределение  $Q_{нбк}$  по ТП пропорционально  $Q_{расч}$ .**

№ ТП	$Q_{pтп}$ , квар	$Q_{pнбктп}$ , квар	$Q_{факт нбктп}$ , квар	$Q_{несктп}$ , квар
1	2	3	4	5
ТП1, ТП2	1304,4	584	$4 \times 150 = 600$	704,4
ТП3, ТП4	953,6	427	$3 \times 150 = 450$	503,6
ТП5, ТП6	1405,5	629	$4 \times 150 = 600$	805,5
ИТОГО	3654,5	1640	1650	2013,5

## 2.5 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

а) Определим потери мощности в цеховых трансформаторах:

Потери активной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot K_3^2 = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{нт} + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{нт} \cdot K_3^2$$

Выбираем трансформаторы ТМЗ-630-10/0,4

Паспортные данные:

$S_n = 630 \text{ кВА}$ ;  $I_x = 3,2\%$ ;  $U_k = 5,5\%$ ;  $\Delta P_{xx} = 2,3 \text{ кВт}$ ;  $\Delta P_{кз} = 8,5 \text{ кВт}$ .

ТП1, ТП2:  $K_3 = 0,81$ ;  $N = 4$ .

$\Delta P_T = 2,3 + 8,5 \times 0,81^2 = 7,8 \text{ кВт}$ ;  $\Sigma \Delta P_T = 4 \times 7,8 = 31,2 \text{ кВт}$

$\Delta Q_T = \frac{3,2}{100} \times 630 + \frac{5,5}{100} \times 630 \times 0,81^2 = 42,9 \text{ квар}$ ;  $\Sigma \Delta Q_T = 4 \times 42,9 = 171,6 \text{ квар}$ .

ТП3, ТП4:  $K_3 = 0,8$ ;  $N = 3$ .

$$\Delta P_T = 2,3 + 8,5 \times 0,8^2 = 7,7 \text{ кВт}; \quad \Sigma \Delta P_T = 3 \times 7,7 = 23,1 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = \frac{3,2}{100} \times 630 + \frac{5,5}{100} \times 630 \times 0,8^2 = 42,3 \text{ квар}; \quad \Sigma \Delta Q_T = 3 \times 42,3 = 126,9 \text{ квар.}$$

ТП5, ТП6:  $K_3 = 0,86$ ;  $N = 4$ .

$$\Delta P_T = 2,3 + 8,5 \times 0,76^2 = 7,7 \text{ кВт}; \quad \Sigma \Delta P_T = 4 \times 7,7 = 30,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = \frac{3,2}{100} \times 630 + \frac{5,5}{100} \times 630 \times 0,77^2 = 42,3 \text{ квар}; \quad \Sigma \Delta Q_T = 4 \times 42,3 = 169,2 \text{ квар.}$$

Суммарные потери мощности:

$$\sum_1^{11} \Delta P_{mp} = 31,2 + 23,1 + 30,8 = 85,1 \text{ кВт}$$

$$\sum_1^{11} \Delta Q_m = 171,6 + 126,9 + 169,2 = 467,7 \text{ квар}$$

б) Определим расчетную мощность синхронных двигателей (СД):

Расчетная активная мощность СД определяется по формуле:

$$P_{p \text{ сд}} = P_{н \text{ сд}} \cdot K_3 \cdot N$$

Расчетная реактивная мощность СД определяется по формуле:

$$Q_{p \text{ сд}} = P_{н \text{ сд}} \cdot K_3 \cdot N \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Исходные данные:  $P_{н \text{ сд}} = 720 \text{ кВт}$ ;  $\cos \varphi = 0,9$ ;  $N_{\text{сд}} = 4$ ;  $k_3 = \beta = 0,85$ .

Определим расчетные активные и реактивные мощности для СД:

$$P_{p \text{ сд}} = 720 \times 4 \times 0,85 = 2448 \text{ кВт};$$

$$Q_{p \text{ сд}} = 720 \times 4 \times 0,48 \times 0,85 = 1175 \text{ квар.}$$

в) Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов.

Составим уравнение баланса реактивной мощности на шинах 10 кВ:

$$Q_{\text{вбк}} = Q_{p 0,4} + \Sigma \Delta Q_{\text{тр}} + Q_{\text{рез}} - Q_{\Sigma} - Q_{\text{нбк}} - \Sigma Q_{\text{сд}}, \quad (2.11)$$

Резервная мощность:

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{\text{расч}} = 0,1 (Q_{p 0,4} + \Sigma \Delta Q_{\text{тр}}) = 0,1 (3663,5 + 467,7) = 413,1 \text{ квар}$$

Мощность от энергосистемы:

$$Q_{\Sigma} = 0,23 \cdot \Sigma P_p = 0,23 (P_{p 0,4} + \Sigma \Delta P_{\text{тр}} + P_{p \text{ сд}}) = 0,23 (5161,9 + 85,1 + 2448) = 1769,8 \text{ квар}$$

Из уравнения баланса реактивной мощности найдем  $Q_{\text{вбк}}$ :

$$Q_{\text{вбк}} = 3663,5 + 467,7 + 413,1 - 1769,8 - 1650 - 1175 = -50,5 \text{ квар}$$

Так как  $Q_{\text{вбк}} < 0$ , то выбирать высоковольтные батареи конденсаторов не нужно

**Таблица 2.6 - Расчет уточненной мощности по заводу**

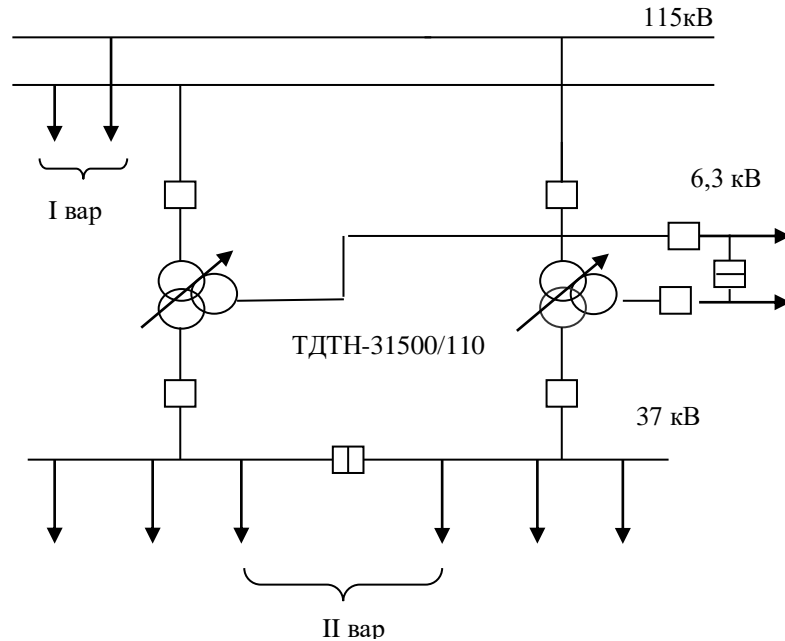
№№ТП, S <sub>ТП</sub> , Q <sub>БК ТП</sub>	№№ цеха	n	P <sub>n min</sub> -P <sub>n max</sub>	ΣP <sub>н</sub>	Ки	Средняя мощность		n <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Расчетные мощности			Кз
						P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП1, ТП2 (4×630 кВА)	1	100	1-100	2500		750	562,5						
	4	30	10-40	700		210	243,6						
	8	8	40-100	560		364	273						
	15	20	5-28	280		84	85,7						
	13	20	0,5-14	100		50	44						
Силовая:		178	1-100	4140	0,4	1458	1208,8	83	1,12	1633,0	1208,8		
Освещение:										136,6	68,3		
Q <sub>НБК</sub>											-600,0		
Итого										1769,6	677,1	1894,7	0,75
ТП3, ТП4 (3×630 кВА)	3	41	1,5-22	155,9		62,3	54,9						
	7	30	1-28	550		220	193,6						
	9	60	1-20	1720		516	454,1						
	10	10	1-10	60		24	21,1						
	12	8	10-20	100		65	48,8						
	11	8	1-10	50		15	11,3						
Силовая:		157	1-28	2635,9	0,3	902,3	783,8	157	1,1	992,5	783,8		
Освещение:										180	90,0		
Освещение территории										144	71,9		
Q <sub>НБК</sub>											-450		
Итого										1172,3	495,7	1272,8	0,7

продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП5, ТП6	2	50	10-80	950		332,5	249,4						
(4×630 кВА)	5	40	3-40	1200		420	428,4						
	6	50	1-50	1400		490	499,8						
	14	30	1-40	320		160	140,8						
Силовая:		170	80	3870	0,4	1402,5	1318,4	97	1,11	1556,8	1318,4		
Освещение:										174,3	87,2		
Q <sub>нБК</sub>											-600		
Итого										1731,1	805,6	1909,4	0,76
Итого на шинах 0,4 кВ										4673,0	1978,4		
ΣΔP <sub>T</sub> , ΣΔQ <sub>T</sub>										85,1	467,7		
Нагрузка 0,4 кВ, приведенная к шинам 10 кВ.										4758,1	2446,1		
Компрессорная	12	4	720	2880						2448	-1175		
Всего по заводу										7206,1	1271,1	7317,3	

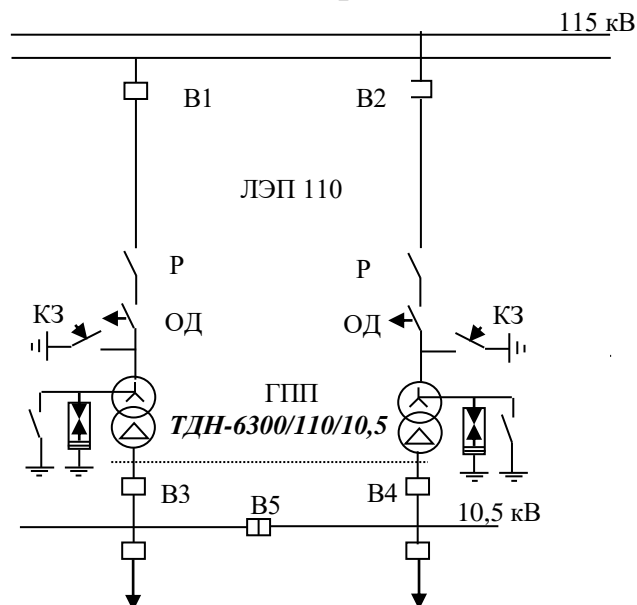
## 2.6 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 31,5 МВА, напряжением 115/37/6,3 кВ. Мощность системы 600 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 115 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,2.



I вар: 115кВ  
 II вар: 37кВ  
 III вар: 6,3 кВ

**Рисунок 2.1 - Схема подстанции энергосистемы  
 I вариант**



**Рисунок 2.2 - Первый вариант**

1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S_{p_{тр\ гпп}} = \sqrt{Pp^2 + Qэ^2} = \sqrt{7206,1^2 + 1769,8^2} = 7420,2 \text{ кВА}$$

$$\text{Принимаем трансформаторы } 2 \times 6300 \text{ кВА: } Kз = \frac{S_{p_{гпп}}}{2 \cdot S_{нтр}} = \frac{7420,2}{2 \cdot 6300} = 0,6$$

ТМН-6300/110

$S_{н\ тр} = 6300 \text{ кВА; } Kз = 0,6$

Паспортные данные трансформаторов:  $S_{н} = 6,3 \text{ кВА; } U_{вн} = 110 \text{ кВ; } U_{нн} = 11 \text{ кВ; } \Delta P_{хх} = 16,5 \text{ кВт; } \Delta P_{кз} = 45 \text{ кВт; } U_{кз} = 10,5\%; I_{хх} = 1\%$ .

Рассчитаем потери мощности в этих трансформаторах:

$$\Delta P_{тр\ гпп} = 2(\Delta P_{хх} + \Delta P_{кз} \cdot Kз^2) = 2(16,5 + 45 \times 0,6^2) = 65,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр\ гпп} = 2\left(\frac{I_{хх}}{100} \times S_{нтр} + \frac{U_{кз}}{100} \times S_{н} \times Kз^2\right) = 2\left(\frac{1}{100} \times 6300 + \frac{10,5}{100} \times 6300 \times 0,6^2\right) = 602 \text{ квар}$$

Найдем потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

Число часов включения  $T_{вкл} = 4000 \text{ ч}$  и число часов использования максимума активной нагрузки  $T_{м} = 4000 \text{ ч}$

$$\Delta W_{тр\ гпп} = 2(\Delta P_{хх} \times T_{вкл} + \Delta P_{кз} \times \tau \times Kз^2),$$

$$\text{где } \tau = \left(0,124 + \frac{T_{м}}{10000}\right)^2 \times 8760 = 2405 \text{ ч - время максимальных потерь}$$

$$\Delta W_{тр\ гпп} = 2(16,5 \times 4000 + 45 \times 2405 \times 0,6^2) = 209922 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

2) Выберем сечение ЛЭП-110 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{лэп} = \sqrt{(Pp + \Delta P_{тр\ гпп})^2 + Qэ^2} = \sqrt{(7206,1 + 65,4)^2 + 1769,8^2} = 7483,7 \text{ кВА}$$

$$\text{Расчетный ток одной линии: } I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{н}} = \frac{7483,7}{2\sqrt{3} \cdot 115} = 18,5 \text{ А}$$

$$\text{Аварийный ток: } I_{ав} = 2 \times I_p = 2 \times 18,5 = 37 \text{ А}$$

а) Определим сечение по экономической плотности тока:

$$Fэ = I_p / Jэ = 18,5 / 1,1 = 17 \text{ мм}^2, \text{ где } Jэ = 1,1 \text{ А/мм}^2 \text{ (А1, } T_{м} = 4000 \text{ ч)}$$

Выбираем провод сечением  $25 \text{ мм}^2$

б) По условию потерь на корону для ВЛ-110 кВ сечение должно быть не менее  $70 \text{ мм}^2$ .

Принимаем провод АС-70 с  $I_{доп} = 265 \text{ А}$

в) Проверим провод по рабочему току:  $I_{доп} \text{ пров} \geq I_p \quad (265 \text{ А} > 18,5 \text{ А})$

г) Проверим провод по аварийному режиму:  $I_{доп\ ав} \geq I_{ав}, \quad (344,5 \text{ А} > 37 \text{ А})$ , где  $I_{доп\ ав} = 1,3 \times I_{доп} = 1,3 \times 265 = 344,5 \text{ А}$

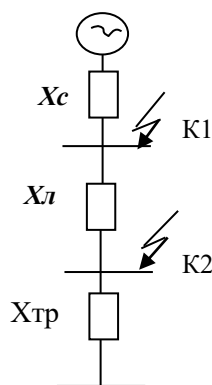
Определим потери электроэнергии в ЛЭП-110 кВ:

$$\Delta W_{лэп} = 2(3I_p^2 \times R \times 10^{-3} \times \tau) = 2 \times 3 \times 18,5^2 \times 2,21 \times 10^{-3} \times 2405 = 10420 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$R = r_0 \times l = 0,48 \times 4,6 = 2,21 \text{ Ом,}$$

Для выбора оборудования рассчитаем ток короткого замыкания.

Составим схему замещения:



**Рисунок 2.3 – Схема замещения**

$$S_{\bar{6}}=100 \text{ МВА}$$

$$U_{\bar{6}}=115 \text{ кВ,}$$

$$X_c=0,2 \text{ о.е.}$$

$$I_{\bar{6}}=\frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3}U_{\bar{6}}}=\frac{100}{\sqrt{3}\cdot 115}=0,5 \text{ кА}$$

Сопротивление ЛЭП:

$$X_{л\bar{6}}=X_0 \times l \times S_{\bar{6}}/U_{\text{ср}}^2=0,34 \times 4,6 \times 100/115^2=0,01 \text{ о.е.}$$

$$\text{Действующее значение тока кз в точке К1: } I_{k1}=\frac{I_{\bar{6}}}{X_c}=0,5/0,2=2,5 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток кз: } i_{уд1}=\sqrt{2} K_{уд} \times I_{k1}=\sqrt{2} \times 1,8 \times 2,5=6,4 \text{ кА}$$

$$\text{Мощность кз в точке К1: } S_{k1}=\sqrt{3} U_{\bar{6}} \times I_{k1}=\sqrt{3} \times 115 \times 2,5=497 \text{ МВА}$$

Действующее значение тока кз в точке К2:

$$I_{k2}=\frac{I_{\bar{6}}}{X_c + X_{л\bar{6}}}=0,5/(0,2+0,01)=2,4 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток кз: } i_{уд2}=\sqrt{2} K_{уд} \times I_{k2}=\sqrt{2} \times 1,8 \times 2,4=6,1 \text{ кА}$$

$$\text{Мощность кз в точке К2: } S_{k2}=\sqrt{3} U_{\bar{6}} \times I_{k2}=\sqrt{3} \times 115 \times 2,4=477 \text{ МВА}$$

3) Выберем выключатели В1,В2:

**Таблица 2.7 - Выбираем выключатели типа МКП-110-630-20У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
U <sub>н</sub> =110 кВ	U <sub>р</sub> =110 кВ	U <sub>н</sub> ≥ U <sub>р</sub>
I <sub>н</sub> =630А	I <sub>ав</sub> =37,6 А	I <sub>н</sub> ≥ I <sub>ав</sub>
I <sub>откл</sub> =20 кА	I <sub>к1</sub> =2,5 кА	I <sub>откл</sub> ≥ I <sub>к1</sub>
I <sub>дин</sub> =52 кА	i <sub>уд1</sub> =6,4 кА	I <sub>дин</sub> ≥ i <sub>уд1</sub>

4) Выберем разъединители 110 кВ:



**Таблица 2.8 - Выбираем разъединители типа РНД32-СК-110/1000 У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_N=110$ кВ $I_N=1000$ А Искв.ампл.=80 кА $I_{пред.терм.ст.}=31,5$ кА	$U_p=110$ кВ $I_{ав}=37,6$ А $i_{уд2}=6,1$ кА $I_{к2}=2,4$ кА	$U_N \geq U_p$ $I_N \geq I_{ав}$ Искв.ампл. $\geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст} \geq I_{к2}$

5) Выберем отделители 110 кВ:

**Таблица 2.9 - Выбираем отделители типа ОД-110/1000 УХЛ1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_N=110$ кВ $I_N=1000$ А Искв.ампл.=80 кА $I_{пред.терм.ст.}=31,5$ кА	$U_p=110$ кВ $I_{ав}=37,6$ А $i_{уд2}=6,1$ кА $I_{к2}=2,4$ кА	$U_N \geq U_p$ $I_N \geq I_{ав}$ Искв.ампл. $\geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст} \geq I_{к2}$

б) Выберем короткозамыкатели 110 кВ:

**Таблица 2.10 - Выбираем короткозамыкатели типа КЗ-110УХЛ1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_N=110$ кВ Искв.ампл.=51 кА $I_{пред.терм.ст.}=20$ кА	$U_p=110$ кВ $i_{уд2}=6,1$ кА $I_{к2}=2,4$ кА	$U_N \geq U_p$ Искв.ампл. $\geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст} \geq I_{к2}$

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

1) Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр\ гпп}=2 \times 36,8=73,6 \text{ тыс. у.е.}$$

2) Затраты на ЛЭП-110 кВ:

$$K_{лэп110}=1 \times K_{лэп}=4,6 \times 13,5=62,1 \text{ тыс.у.е.}$$

3) Затраты на выключатели В1,В2:

$$K_{В1,В2}=2 \times 16,24=32,48 \text{ тыс.у.е.}$$

4) Затраты на разъединители, отделители, короткозамыкатели и 3 разрядника РВС:

$$K_{ввод}=2 \times 4,76=9,52 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$\Sigma K_I = K_{тр\ гпп} + K_{лэп110} + K_{В1,В2} + K_{ввод} = 73,6 + 62,1 + 32,48 + 9,52 = 177,7$$

тыс.у.е.

Суммарные издержки рассчитываются по формуле:  $\Sigma И_I = И_а + И_{пот} + И_э$ , у.е.

Амортизационные отчисления  $И_а$ :  $И_а = E_a \cdot K$

Для ВЛ-110 кВ на железобетонных опорах  $E_a=0,028$

Для распрестройств и подстанций  $E_a=0,063$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$I_a \text{ обор.} = E_a \text{ обор.} \times \Sigma K_{\text{обор.}} = E_a \text{ обор.} \times (K_{\text{тр}} + K_{\text{в}} + K_{\text{ввод}}) = 0,063 \times 115,6 = 7,28$

тыс.у.е.

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$I_a \text{ лэп} = E_a \text{ лэп} \times K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 62,1 = 1,73$  тыс.у.е.

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$I_{\text{экс.обор.}} = E_{\text{экс.обор.}} \times \Sigma K_{\text{обор.}} = 0,03 \times 115,6 = 3,46$  тыс.у.е.

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$I_{\text{экс.лэп}} = E_{\text{экс.лэп}} \times K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 62,1 = 1,73$  тыс.у.е.

Стоимость потерь электроэнергии  $C_0 = 0,03$  у.е./кВт ч

Определим издержки на потери электроэнергии:

$I_{\text{пот}} = C_0 (\Delta W_{\text{тр гпп}} + \Delta W_{\text{лэп}_{110}}) = 0,03 (209922 + 10420) = 6,61$  тыс. у.е.

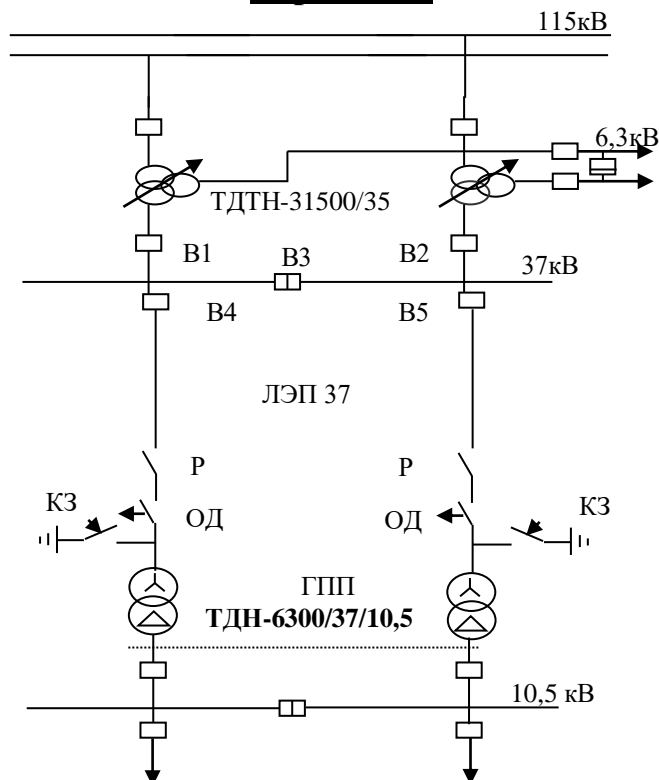
Определим суммарные издержки:

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости, определяются по выражению:  $Z_I = E \cdot K_I + I_I$ ,

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

$Z_I = 0,12 \times 177,7 + 20,81 = 41,13$  тыс.у.е.

### Вариант II



**Рисунок 2.4 – Второй вариант**

Приведенные суммарные затраты определяются по выражению:  $Z_{II} = E \cdot K_{II} + I_{II}$

Суммарные затраты:

$$K_{II} = K_{тр} \text{ гпп} + K_{лэп37} + K_{В4,В5} + K_p + K_{од} + K_{кз} + \gamma_1 \cdot K_{тр \text{ эн. сист.}} + \gamma_2 \cdot K_{В1,В2} + \gamma_3 \cdot K_{В3}$$

Суммарные издержки:  $I_{II} = I_a + I_{эксп} + I_{пот}$

1) Выберем трансформаторы ГПП:

Выбираем два трансформатора типа ТМН-6300/35

$S_H \text{ тр} = 6300 \text{ кВА}$ ;  $K_3 = 0,64$

Паспортные данные трансформаторов:  $S_H = 6300 \text{ кВА}$ ;  $U_{ВН} = 35 \text{ кВ}$ ;  $U_{НН} = 11 \text{ кВ}$ ;  $\Delta P_{ХХ} = 10,4 \text{ кВт}$ ;  $\Delta P_{КЗ} = 56,5 \text{ кВт}$ ;  $U_{КЗ} = 7,5\%$ ;  $I_{ХХ} = 0,9\%$ .

Рассчитаем потери мощности в этих трансформаторах:

$$\Delta P_{тр \text{ гпп}} = 2(\Delta P_{ХХ} + \Delta P_{КЗ} \times K_3^2) = 2(10,4 + 56,5 \times 0,6^2) = 61,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр \text{ гпп}} = 2\left(\frac{I_{ХХ}}{100} \times S_{НТ} + \frac{U_{КЗ}}{100} \times S_H \times K_3^2\right) = 2\left(\frac{0,9}{100} \times 6300 + \frac{7,5}{100} \times 6300 \times 0,6^2\right) = 453,6$$

квар

Найдем потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{тр \text{ гпп}} = 2(\Delta P_{ХХ} \times T_{вкл} + \Delta P_{КЗ} \times \tau \times K_3^2), \text{ где } \tau = 2405 \text{ ч}$$

$$\Delta W_{тр \text{ гпп}} = 2(10,4 \times 4000 + 56,5 \times 2405 \times 0,6^2) = 191035 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

2) Выберем сечение ЛЭП-35 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{лэп} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{тр \text{ гпп}})^2 + Q_э^2} = \sqrt{(7206,1 + 61,5)^2 + 1769,8^2} = 7479,9 \text{ кВА}$$

$$\text{Расчетный ток одной линии: } I_p = \frac{S_{лэп}}{2\sqrt{3}U_H} = \frac{7479,9}{2\sqrt{3} \cdot 37} = 61,7 \text{ А}$$

$$\text{Аварийный ток: } I_{ав} = 2 \times I_p = 2 \times 61,7 = 123,4 \text{ А}$$

а) Определим сечение по экономической плотности тока:

$$F_э = I_p / J_э = 61,7 / 1,1 = 56 \text{ мм}^2, \text{ где } J_э = 1,1 \text{ А/мм}^2$$

Выбираем провод сечением  $70 \text{ мм}^2$  ( $I_{доп} = 265 \text{ А}$ )

б) По условию потерь на корону для ВЛ-35 кВ сечение должно быть не менее  $70 \text{ мм}^2$ .

Принимаем провод АС-70 с  $I_{доп} = 265 \text{ А}$

в) Проверим провод по пропускной способности:  $I_{доп \text{ пров}} \geq I_p$   
( $265 \text{ А} > 61,7 \text{ А}$ )

г) Проверим провод по аварийному режиму:  $I_{доп \text{ ав}} \geq I_{ав}$ ,

$$\text{где } I_{доп \text{ ав}} = 1,3 \times I_{доп} = 1,3 \times 265 = 344,5 \text{ А}, (344,5 \text{ А} > 123,4 \text{ А})$$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП-35 кВ:

$$\Delta W_{лэп} = 2(3I_p^2 \times R \times 10^{-3} \times \tau) = 2 \times 3 \times 61,7^2 \times 2,21 \times 10^{-3} \times 2405 = 122402 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$R = r_0 \times l = 0,48 \times 4,6 = 2,21 \text{ Ом.}$$

3) Выберем трансформаторы энергосистемы:

Выбираем два трансформатора типа ТДТН-31500/110/37/6,3

Паспортные данные трансформаторов:

$S_H = 31500 \text{ кВА}$

$U_{ВН} = 115 \text{ кВ}$        $\Delta P_{ХХ} = 63 \text{ кВт}$        $U_{КВ-Н} = 17\%$ ;

$U_{СН} = 38,5 \text{ кВ}$        $\Delta P_{КЗ} = 230 \text{ кВт}$        $U_{КС-Н} = 6\%$ ;

$U_{НН} = 11 \text{ кВ}$        $U_{КВ-С} = 10,5\%$ ;

Найдем  $\gamma_1$ -коэффициент долевого участия проектируемого завода в мощности трансформаторов энергосистемы:  $\gamma_1 = \frac{S_{лэп_{35}}}{2 * S_{номтр}} = \frac{7479,9}{2 \times 31500} = 0,25$

4) Выбираем выключатели, разъединители, отделители, короткозамыкатели на напряжение 35 кВ:

Для выбора оборудования рассчитаем ток кз:

Составим схему замещения:

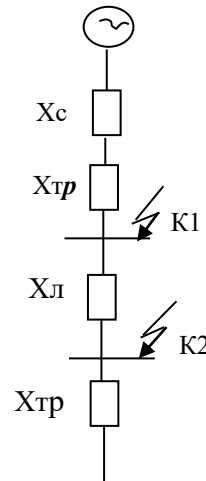


Рисунок 2.5 – Схема замещения

$$S_б = 100 \text{ МВА}$$

$$U_б = 37 \text{ кВ,}$$

$$X_c = 0,2 \text{ о.е.}$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} = 1,5 \text{ кА}$$

$$X_{лэп} = X_о \times l \times S_б / U_{ср}^2 = 0,32 \times 4,6 \times 100 / 37^2 = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$X_{тр \text{ сист}} = U_{в-с} \times S_б / 100 \times S_{н \text{ тр}} = 10,5 \times 100 / 100 \times 31,5 = 0,33 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем действующее значение тока кз в точке K1:

$$I_{к1} = \frac{I_б}{X_c + X_{тр}} = \frac{1,5}{0,2 + 0,33} = 2,8 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток кз: } i_{уд1} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{к1} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 2,8 = 7,1 \text{ кА}$$

$$\text{Мощность кз в точке K1: } S_{к1} = \sqrt{3} U_б \times I_{к1} = \sqrt{3} \times 37 \times 2,8 = 179 \text{ МВА}$$

Действующее значение тока кз в точке K2:

$$I_{к2} = \frac{I_б}{X_c + X_{тр} + X_{лэп}} = \frac{1,5}{0,2 + 0,33 + 0,11} = 2,3 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток кз: } i_{уд2} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{к2} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 2,3 = 5,9 \text{ кА}$$

$$\text{Мощность кз в точке K2: } S_{к2} = \sqrt{3} U_б \times I_{к2} = \sqrt{3} \times 37 \times 2,3 = 147 \text{ МВА}$$

Выключатели В1, В2 выбираем по аварийному току трансформаторов системы.

Найдем ток, проходящий через выключатели В1 и В2:

$$I_{авВ1,В2} = \frac{S_{автр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2 \cdot 15,75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37} = 492 \text{ А}$$

**Таблица 2.11 - Выбираем выключатели В1,В2 типа МКП-35-630-10 У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
U <sub>H</sub> =35 кВ I <sub>H</sub> =630А I <sub>откл</sub> =10 кА I <sub>дин</sub> =20 кА	U <sub>p</sub> =35 кВ I <sub>автр сист</sub> =492А I <sub>к1</sub> =2,8 кА i <sub>уд1</sub> = 7,1 кА	U <sub>H</sub> ≥U <sub>p</sub> I <sub>H</sub> ≥ I <sub>автр сист</sub> I <sub>откл</sub> ≥ I <sub>к1</sub> I <sub>дин</sub> ≥ i <sub>уд1</sub>

Секционный выключатель В3 выбираем по току в 2 раза меньше аварийного.

Найдем ток, проходящий через выключатель В3:  $I_{В3} = \frac{I_{ав}}{2} = \frac{492}{2} = 246 \text{ А}$

**Таблица 2.12 - Выбираем выключатель типа МКП-35-630-10 У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
U <sub>H</sub> =35 кВ I <sub>H</sub> =630А I <sub>откл</sub> =10 кА I <sub>дин</sub> =20 кА	U <sub>p</sub> =35 кВ I <sub>автр сист</sub> =246 А I <sub>к1</sub> =2,8 кА i <sub>уд1</sub> = 7,1 кА	U <sub>H</sub> ≥U <sub>p</sub> I <sub>H</sub> ≥ I <sub>автр сист</sub> I <sub>откл</sub> ≥ I <sub>к1</sub> I <sub>дин</sub> ≥ i <sub>уд1</sub>

Коэффициенты долевого участия:

$$\gamma_{2В1,В2} = \frac{I_{авзав}}{I_{номвыкл}} = \frac{118,8}{630} = 0,3; \quad \gamma_{3В3} = \frac{I_{pзав}}{I_{номв3}} = \frac{59,4}{630} = 0,2$$

Выключатели В4,В5 выбираем по аварийному току завода, I<sub>ав зав</sub>=371 А

**Таблица 2.13 - Выбираем выключатели типа МКП-35-630**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
U <sub>H</sub> =35 кВ I <sub>H</sub> =630А I <sub>откл</sub> =10 кА I <sub>дин</sub> =20 кА	U <sub>p</sub> =35 кВ I <sub>авзав</sub> =118,8 А I <sub>к1</sub> =2,8 кА i <sub>уд1</sub> = 7,1 кА	U <sub>H</sub> ≥U <sub>p</sub> I <sub>H</sub> ≥ I <sub>авзав</sub> I <sub>откл</sub> ≥ I <sub>к1</sub> I <sub>дин</sub> ≥ i <sub>уд1</sub>

**Таблица 2.14 - Выбираем разъединители типа РНДЗ-2-35/1000У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
U <sub>H</sub> =35 кВ I <sub>H</sub> =1000А I <sub>скв.ампл.</sub> =63 кА I <sub>пред.терм. ст.</sub> =25 кА	U <sub>p</sub> =35 кВ I <sub>ав</sub> =118,8 А i <sub>уд2</sub> =5,9 кА I <sub>к2</sub> =2,3 кА	U <sub>H</sub> ≥U <sub>p</sub> I <sub>H</sub> ≥ I <sub>ав</sub> I <sub>скв.ампл.</sub> ≥ i <sub>уд2</sub> I <sub>пред.терм. ст.</sub> ≥ I <sub>к2</sub>

**Таблица 2.15 - Выбираем отделители типа ОДЗ-35/630-У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=35$ кВ $I_H=630$ А Искв.ампл.=80 кА $I_{пред.терм.ст.}=12,5$ кА	$U_p=35$ кВ $I_{ав}=118,8$ А $i_{уд2}=5,9$ кА $I_{к2}=2,3$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{ав}$ $Искв.ампл. \geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст.} \geq I_{к2}$

**Таблица 2.16 - Выбираем короткозамыкатели типа КЗ-35-УХЛ1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_H=35$ кВ Искв.ампл.=51 кА $I_{пред.терм.ст.}=12,5$ кА	$U_p=35$ кВ $i_{уд2}=5,9$ кА $I_{к2}=2,3$ кА	$U_H \geq U_p$ $Искв.ампл. \geq i_{уд2}$ $I_{пред.терм.ст.} \geq I_{к2}$

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

1) Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр гпп}=2 \times 21=42 \text{ тыс. у.е.}$$

2) Затраты на ЛЭП-35 кВ:

$$K_{лэп35}=1 \times K_{лэп}=4,6 \times 12,4=57,04 \text{ тыс.у.е.}$$

3) Затраты на выключатели В4, В5:

$$K_{В4,В5}=2 \times 5,54=11,08 \text{ тыс.у.е.}$$

4) Затраты на разъединители, отделители, короткозамыкатели и 3 разрядника РВС:

$$K_{ввод}=2 \times 5,18=10,36 \text{ тыс.у.е.}$$

5) Затраты на трансформаторы системы:

$$K_{тр сист}=\gamma_1 \times 2 \times K_{тр}=0,25 \times 2 \times 107,2=53,6 \text{ тыс.у.е.}$$

6) Затраты на выключатели В1, В2:

$$K_{В1,В2}=\gamma_2 \times 2 \times K_{В1,В2}=0,3 \times 2 \times 5,54=3,32 \text{ тыс.у.е.}$$

7) Затраты на выключатель В3:

$$K_{В3}=\gamma_3 \times K_{В3}=0,2 \times 5,54=1,11 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$\Sigma K_{II} = K_{тр гпп} + K_{лэп35} + K_{В4,В5} + K_{ввода} + K_{тр сист} + K_{В1,В2} + K_{В3} = 42 + 57,04 + 11,08 + 10,36 + 53,6 + 3,32 + 1,11 = 178,51 \text{ тыс.у.е.}$$

Суммарные издержки рассчитываются по формуле:  $\Sigma И_{II} = И_{а} + И_{пот} + И_{э}$ , у.е.

Амортизационные отчисления  $И_{а}$ :  $И_{а} = E_{а} \cdot K$

Для ВЛ-35 кВ на железобетонных опорах  $E_{а}=0,028$

Для распреустройств и подстанций  $E_{а}=0,063$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$И_{а обор.} = E_{а обор.} \times \Sigma K_{обор.} = 0,063 \times 121,47 = 6,88 \text{ тыс.у.е.}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$I_{\text{а лэп}} = E_{\text{а лэп}} \times K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 57,04 = 1,6 \text{ тыс. у. е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экспл. обор.}} = E_{\text{экспл. обор.}} \times \Sigma K_{\text{обор.}} = 0,03 \times 121,47 = 3,28 \text{ тыс. у. е.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экспл. лэп}} = E_{\text{экспл. лэп}} \cdot K_{\text{лэп}} = 0,028 \times 57,04 = 1,6 \text{ тыс. у. е.}$$

Стоимость потерь электроэнергии  $C_0 = 0,03 \text{ у. е./кВт} \cdot \text{ч}$

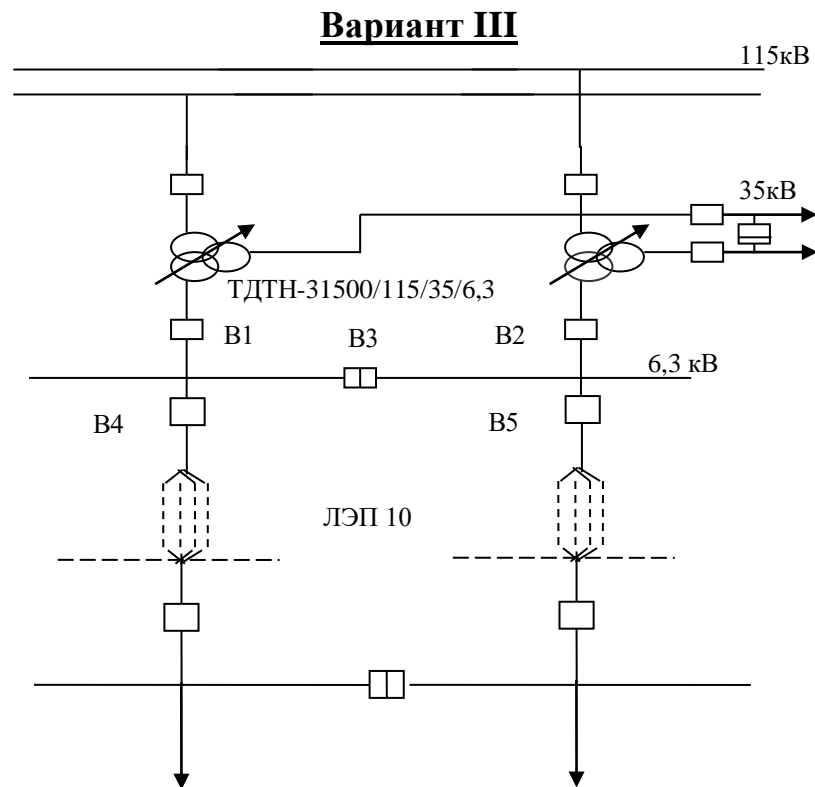
Определим суммарные издержки:

$$\Sigma I_{\text{п}} = I_{\text{а обор.}} + I_{\text{экспл. обор.}} + I_{\text{а лэп}} + I_{\text{экспл. лэп}} + I_{\text{пот}} = 6,88 + 1,6 + 3,28 + 1,6 + 9,1 = 22,46 \text{ тыс. у. е.}$$

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости, определяются по выражению:  $Z_{\text{п}} = E \cdot K_{\text{п}} + I_{\text{п}}$ ,

где  $E = 0,12$  - нормативный коэф-т эффективности капиталовложений

$$Z_{\text{п}} = 0,12 \times 178,51 + 22,46 = 42,42 \text{ тыс. у. е.}$$



**Рисунок 2.6 – Третий вариант**

Приведенные суммарные затраты определяются по выражению:  $Z_{\text{п}} = E \cdot K_{\text{п}} + I_{\text{п}}$

Суммарные затраты:  $K_{\text{п}} = K_{\text{лэп6}} + K_{\text{В4, В5}} + \gamma_1 \cdot K_{\text{тр эн. сист.}} + \gamma_2 \cdot K_{\text{В1, В2}} + \gamma_3 \cdot K_{\text{В3}}$

Суммарные издержки:  $I_{\text{п}} = I_{\text{а}} + I_{\text{экспл}} + I_{\text{пот}}$

Выбираем электрооборудование по III варианту.

1) Выберем сечение ЛЭП-6 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП:

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{P_p^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{7206,1^2 + 1769,8^2} = 7420,2 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_{лэп}}{2\sqrt{3}U_H} = \frac{7420,2}{2\sqrt{3} \cdot 6,3} = 340 \text{ А}; I_{ав} = 2 \times I_p = 2 \times 340 = 680 \text{ А}$$

Выбираем сечение проводов ЛЭП 6 кВ:

а) Определим сечение по экономической плотности тока:

$$F_{э} = I_p / J_{э} = 340 / 1,1 = 309 \text{ мм}^2, \text{ где } J_{э} = 1,1 \text{ А/мм}^2 \text{ (А1, } T_M = 4000 \text{ ч)}$$

Так как для ЛЭП 6 кВ максимальное сечение 120 мм<sup>2</sup>, то принимаем  $F = 3 \times 120 = 360 \text{ мм}^2 > 309 \text{ мм}^2$

Принимаем провод типа ЗАС-120

б) Проверим провод по пропускной способности:  $I_{доп} \text{ пров} \geq I_p$   
( $3 \times 380 \text{ А} > 340 \text{ А}$ )

в) Проверим провод по аварийному режиму:  $I_{доп} \text{ ав} \geq I_{ав}$ ,

$$\text{где } I_{доп} \text{ ав} = 1,3 \times I_{доп} = 1,3 \times 1140 = 1482 \text{ А} > 680 \text{ А}$$

Определим потери электроэнергии в ЛЭП-10 кВ:

$$\Delta W_{лэп} = 2(3I_p^2 \times R \times 10^{-3} \times \tau) = 2 \times 3 \times 340^2 \times 0,41 \times 10^{-3} \times 2405 = 783924 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$R = r_0 \times l = 0,27 \times 4,6/3 = 0,41 \text{ Ом.}$$

4) Выбираем выключатели на напряжение 6 кВ:

Составим схему замещения:

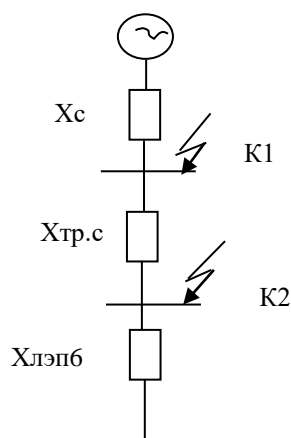


Рисунок 2.7 – Схема замещения

$$S_б = 100 \text{ МВА}$$

$$U_б = 6,3 \text{ кВ,}$$

$$X_c = 0,2 \text{ о.е.}$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} = 9,1 \text{ кА}$$

$$X_{лэп10} = \frac{x_0/3 \times L \times S_б}{10 \times U_{нсп}^2} = \frac{0,32/3 \times 4,6 \times 100}{10 \times 6,3^2} = 0,12;$$

$$X_{тр.с} = \frac{U_{нн} \times S_б}{2 \times 100 \times S_{н.тр.с.}} = \frac{17,5 \times 100}{2 \times 100 \times 31,5} = 0,27 \text{ о.е.};$$



Рассчитаем действующее значение тока кз в точке К1:

$$I_{k1} = \frac{I_b}{X_c + X_{mp}} = \frac{9,1}{0,2 + 0,27} = 19,3 \text{ кА}$$

Ударный ток кз:  $i_{уд1} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{k1} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 19,3 = 49 \text{ кА}$

Мощность кз в точке К1:  $S_{k1} = \sqrt{3} U_b \times I_{k1} = \sqrt{3} \times 6,3 \times 19,3 = 210 \text{ МВА}$

Действующее значение тока кз в точке К2:

$$I_{k2} = \frac{I_b}{X_c + X_{mp} + X_{лэн}} = \frac{9,1}{0,2 + 0,27 + 0,12} = 15,4 \text{ кА}$$

Ударный ток кз:  $i_{уд2} = \sqrt{2} K_{уд} \times I_{k2} = \sqrt{2} \times 1,8 \times 15,4 = 39 \text{ кА}$

Мощность кз в точке К2:  $S_{k2} = \sqrt{3} U_b \times I_{k2} = \sqrt{3} \times 6,3 \times 15,4 = 167 \text{ МВА}$

Выключатели В1, В2 выбираем по аварийному току трансформаторов системы.

Найдем ток, проходящий через выключатели В1 и В2:

$$I_{авВ1,В2} = \frac{S_{автр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 15,75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2890 \text{ А}$$

**Таблица 2.17 - Выбираем выключатели В1, В2 типа ВМПЭ-6-3200-31,5 У3**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n = 6 \text{ кВ}$ $I_n = 3200 \text{ А}$ $I_{откл} = 31,5 \text{ кА}$	$U_p = 6 \text{ кВ}$ $I_{автр сист} = 2890 \text{ А}$ $I_{k1} = 19,3 \text{ кА}$	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{автр сист}$ $I_{откл} \geq I_{k1}$

Секционный выключатель В3 выбираем по току в 2 раза меньше аварийного.

Найдем ток, проходящий через выключатель В3:  $I_{В3} = \frac{I_{ав}}{2} = \frac{2890}{2} = 1445 \text{ А}$

**Таблица 2.18 - Выбираем выключатель типа ВМПЭ-6-1600-31,5 У3**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n = 6 \text{ кВ}$ $I_n = 1600 \text{ А}$ $I_{откл} = 31,5 \text{ кА}$	$U_p = 6 \text{ кВ}$ $I_{автр сист} = 1445 \text{ А}$ $I_{k1} = 19,3 \text{ кА}$	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{автр сист}$ $I_{откл} \geq I_{k1}$

Выключатели В4, В5 выбираем по аварийному току завода:  $I_{ав зав} = 680 \text{ А}$

**Таблица 2.19 - Выбираем выключатель типа ВМПЭ-6-1000-31,5 У3**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
-------------------	------------------	----------------

Продолжение таблицы 2.19

$U_H=6 \text{ кВ}$ $I_H=1000 \text{ А}$ $I_{откл}=31,5 \text{ кА}$	$U_p=6 \text{ кВ}$ $I_{автр сист}=680 \text{ А}$ $I_{к1}=19,3 \text{ кА}$	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{автр сист}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$
--	---	--

Определим капитальные затраты на выбранное оборудование:

1) Затраты на ЛЭП-6 кВ:

$$K_{ЛЭП35} = N \times I \times K_{ЛЭП} = 2 \times 3 \times 4,6 \times 2,2 = 59,4 \text{ тыс. у.е.}$$

2) Затраты на выключатели В4, В5:

$$K_{В4, В5} = 2 \times 2,45 = 4,9 \text{ тыс. у.е.}$$

3) Затраты на трансформаторы системы:

$$K_{тр сист} = \gamma_1 \times 2 \times K_{тр} = 0,2 \times 2 \times 107,2 = 42,88 \text{ тыс. у.е.}$$

4) Затраты на выключатели В1, В2:

$$K_{В1, В2} = \gamma_2 \times 2 \times K_{В1, В2} = 0,21 \times 2 \times 5,3 = 2,23 \text{ тыс. у.е.}$$

5) Затраты на выключатель В3:

$$K_{В3} = \gamma_3 \times K_{В3} = 0,21 \times 2,45 = 0,51 \text{ тыс. у.е.}$$

Суммарные затраты:

$$\Sigma K_{II} = K_{ЛЭП10} + K_{В4, В5} + K_{тр сист} + K_{В1, В2} + K_{В3} = 59,4 + 4,9 + 42,88 + 2,23 + 0,51 = 109,92 \text{ тыс. у.е.}$$

Суммарные издержки рассчитываются по формуле:  $\Sigma I_{II} = I_a + I_{пот} + I_{э}$ ,  
у.е.

Амортизационные отчисления:  $I_a = E_a \times K$

Для ВЛ-10 кВ на железобетонных опорах  $E_a = 0,028$

Для распределительных устройств и подстанций  $E_a = 0,063$

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$I_a \text{ обор.} = E_a \text{ обор.} \times \Sigma K_{обор.} = 0,063 \times 50,52 = 3,18 \text{ тыс. у.е.}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$I_a \text{ лэп} = E_a \text{ лэп} \times K_{лэп} = 0,028 \times 59,4 = 1,66 \text{ тыс. у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{эспл.обор.} = E_{эспл.обор.} \times \Sigma K_{обор.} = 0,03 \times 50,54 = 1,52 \text{ тыс. у.е.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{эспл.лэп} = E_{эспл.лэп} \times K_{лэп} = 0,0028 \times 59,4 = 1,66 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость потерь электроэнергии  $C_0 = 0,03 \text{ у.е./кВт ч}$

Определим издержки на потери электроэнергии:

$$I_{пот} = C_0 \Delta W_{лэп6} = 0,03 \times 783924 = 23,51 \text{ тыс. у.е.}$$

Определим суммарные издержки:

$$\Sigma I_{II} = I_a \text{ обор.} + I_{эспл.обор.} + I_a \text{ лэп} + I_{эспл.лэп} + I_{пот} = 3,18 + 1,66 + 1,52 + 1,66 + 23,51 = 31,53 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные затраты, являющиеся мерой стоимости, определяются по выражению:  $Z_{III} = E \times K_{III} + I_{III}$ ,

где  $E = 0,12$  - нормативный коэф-т эффективности капиталовложений

$$Z_{III} = 0,12 \times 109,92 + 31,53 = 44,72 \text{ тыс. у.е.}$$

**Таблица 2.20 – Сравнение вариантов электроснабжения**

Варианты	U <sub>н</sub> , кВ	K <sub>Σ</sub> , тыс.у.е.	I <sub>Σ</sub> , тыс.у.е.	З <sub>Σ</sub> , тыс.у.е.
I	115	177,7	20,81	41,13
II	37	166,3	22,46	42,42
III	10,5	109,9	31,53	44,72

Вывод: проходит I вариант, так как он имеет минимальные издержки на потери.

### 3 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания U=10кВ

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

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

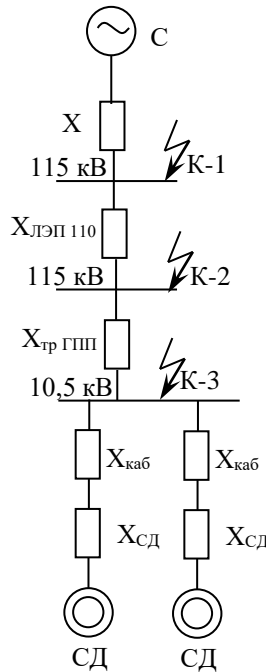


Рисунок 3.1 – Схема замещения

$$S_6=100 \text{ МВА};$$

$$x_c = 0,2;$$

$$U_6=10,5 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10,5} = 5,5 \text{ кА};$$

$$X_{лэп} = X_0 \times l \times S_6 / U_{cp}^2 = 0,34 \times 4,6 \times 100 / 115^2 = 0,01 \text{ о.е.}$$

$$X_{тр \text{ гпп}} = U_B \times S_6 / 100 \times S_H \text{ тр} = 10,5 \times 100 / 100 \times 6,3 = 1,68 \text{ о.е.}$$

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

$$I'_{к-3} = \frac{I_6}{x_c + X_{лэп} + X_{тр.ГПП}} = \frac{5,5}{0,2 + 0,01 + 1,68} = 2,9 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток от СД:

Исходные данные:  $P_{н \text{ СД}} = 720$  кВт;  $\cos \varphi = 0,9$ ;  $N_{СД} = 4$ ;  $k_3 = 0,85$ .

$$S_{\text{нсд}} = \frac{P_{\text{нсд}}}{\cos\varphi} = \frac{720}{0,9} = 800 \text{ кВА}; \quad I_{\text{сд}} = \frac{S_{\text{нсд}} \times K_3}{\sqrt{3} \times U} = \frac{800 \times 0,85}{\sqrt{3} \times 10,5} = 37,4 \text{ А};$$

Выбираем кабель к СД:

а) по экономической плотности тока:  $F_3 = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{37,4}{1,4} = 26,7 \text{ мм}^2$ .

б) по минимальному сечению:  $F_{\text{мин}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \times 2,9 \times \sqrt{0,6} = 26,9 \text{ мм}^2$ .

Принимаем кабель маркой ААШв-10-(3×50),  $I_{\text{доп}} = 140 > 37,4 \text{ А}$ .

Данные кабеля:  $r_0 = 0,35 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,06 \text{ Ом/км}$ .

$$x_{\text{каб.кСД}} = \frac{x_0 \times L \times S_6}{2 \times U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,06 \times 0,03 \times 100}{2 \times 10,5^2} = 0,07 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{сд}} = \frac{x_d'' \times S_6}{\sum S_{\text{нсд}}} = \frac{0,2 \times 100}{2 \times 0,8} = 12,5 \text{ о.е.}$$

Тогда ток от двигателей будет равен:  $I_{\text{кзСД}} = \frac{E_{\text{сд}} \times I_6}{x_{\text{экв}}} = \frac{1,048 \times 5,5}{0,07 + 12,5} = 0,4 \text{ кА}$ .

Где  $E_{\text{сд}} = E_n'' \times U_n / U_6 = 1,1 \times 10 / 10,5 = 1,048$

Суммарный ток КЗ в точке К-3 на шинах 10 кВ с учетом подпитки от двигателей будет равен:  $\sum I_{\text{кз}} = I'_{\text{к-3}} + \sum I_{\text{кзСД}} = 2,9 + 0,4 = 3,3 \text{ кА}$ .

Ударный ток в точке К-3:  $i_{\text{уд3}} = K_{\text{уд}} \times \sqrt{2} \times \sum I_{\text{кз}} = 1,8 \times \sqrt{2} \times 3,3 = 8,4 \text{ кА}$ .

Выбор оборудования.

1. Выбор выключателей.

• Выбор вводных и секционных выключателей:

$$S_{\text{р.}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{рГПП}})^2 + Q_3^2} = \sqrt{(7206,1 + 65,4)^2 + 1769,8^2} = 7483,7 \text{ кВА};$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{7483,7}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 411,8 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа ВМПЭ-10-630-31,5 У3.

Секционный выключатель  $I_{\text{р}} = \frac{I_{\text{ав}}}{2} = 411,8 / 2 = 205,9 \text{ А}$

**Таблица 3.1 - Принимаем выключатель типа ВМПЭ-10-630-31,5 У2**

	Вводные выключатели		Секционный выключатель	
	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_n$ , кВ	10	10	10	10
$I_n$ , А	411,8	630	205,9	630
$I_{\text{отк}}$ , кА	3,3	31,5	3,3	31,5

Выбор выключателей отходящих линий:

1. Магистраль ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{(1769,6 + 31,2)^2 + (677,1 + 171,6)^2} = 1990,7 \text{ кВА}; \quad I_{\text{ав}} = \frac{1990,7}{\sqrt{3} \times 10,5} = 109,6 \text{ А};$$

**Таблица 3.2 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2**

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H=10$ кВ	$U=10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав}=109,6$ А
$I_{откл}=10$ кА	$I_{кз}=3,3$ кА
$I_{скв}=52$ кА	$I_{уд}=8,4$ кА
$I^2 \times t=(10)^2 \times 4=400$ кА <sup>2</sup> × с	$B=(3,3)^2 \times 0,12=1,3$ кА <sup>2</sup> × с
Привод встроенный электромагнитный	

2. Магистраль ГПП-ТП3-ТП4:

$$S_p = \sqrt{(1172,3 + 23,1)^2 + (495,7 + 126,9)^2} = 1347,8 \text{ кВА}; I_{ав} = \frac{1347,8}{\sqrt{3} \times 10,5} = 74,2 \text{ А};$$

**Таблица 3.3 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2**

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H=10$ кВ	$U=10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав}=74,2$ А
$I_{откл}=10$ кА	$I_{кз}=3,3$ кА
$I_{скв}=52$ кА	$I_{уд}=8,4$ кА
$I^2 \times t=(10)^2 \times 4=400$ кА <sup>2</sup> × с	$B=(3,3)^2 \times 0,12=1,3$ кА <sup>2</sup> × с
Привод встроенный электромагнитный	

3. Магистраль ГПП-ТП5-ТП6:

$$S_p = \sqrt{(1731,1 + 30,8)^2 + (805,6 + 169,2)^2} = 2013,5 \text{ кВА};$$

$$I_{ав} = \frac{2013,5}{\sqrt{3} \times 10,5} = 110,8 \text{ А};$$

**Таблица 3.3 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2**

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H=10$ кВ	$U=10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав}=110,8$ А
$I_{откл}=10$ кА	$I_{кз}=3,3$ кА
$I_{скв}=52$ кА	$I_{уд}=8,4$ кА
$I^2 \times t=(10)^2 \times 4=400$ кА <sup>2</sup> × с	$B=(3,3)^2 \times 0,12=1,3$ кА <sup>2</sup> × с
Привод встроенный электромагнитный	

4. Выключатель к СД:  $S_{нсд}=800$  кВА;  $I_{сд}= 37,4$  А

**Таблица 3.4 - Выбираем выключатель типа ВММ-10-400-10У2**

Паспортные данные	Расчетные данные
$U_H=10$ кВ	$U=10$ кВ
$I_H = 400$ А	$I_{ав}=37,4$ А
$I_{откл}=10$ кА	$I_{кз}=3,3$ кА
$I_{скв}=52$ кА	$I_{уд}=8,4$ кА
$I^2 \times t=(10)^2 \times 4=400$ кА <sup>2</sup> × с	$B=(3,3)^2 \times 0,12=1,3$ кА <sup>2</sup> × с
Привод встроенный электромагнитный	

Выбор трансформаторов тока.

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

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

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

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

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

по термической стойкости:  $K_{тс} = \frac{I_{об} \times \sqrt{t}}{I_{номТТ} \times t_{нт}}$ ;

по конструкции и классу точности.

**Таблица 3.5 - Выбор трансформаторов тока на вводе:  $I_{ав}=411,8$  А**

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-395	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

**Таблица 3.6 - Прием трансформатор тока ТЛ-10 У3:  $I_H=600$  А;  $S_H=20$  ВА**

Расчетные величины	По каталогу
$U_H=10$ кВ	$U_H=10$ кВ
$I_{ав}=411,8$ А	$I_H=600$ А
$i_{уд}=8,4$ кА	$I_{дин}=81$ кА
$S_{2\ p}=10,4$ ВА	$S_{2\ н}=20$ ВА

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

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

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

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{н}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

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

$I_2$  – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

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

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,44} = 0,42 \text{ мм}^2; \quad \text{принимает провод АКР ТВ; } F=2,5 \text{ мм}^2;$$

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом}; \quad S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,416 \times 5^2 = 10,4 \text{ ВА};$$

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

**Таблица 3.7 - Выбираем трансформатор тока на секционном выключателе шин ГПП:  $I_p=205,9 \text{ А}$ ; ТЛМ-10-У3:  $I_n=300 \text{ А}$**

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
Амперметр	Э-380	0,5	0,5	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	0,5
Varh	СРУ-И689	2,5	2,5	0,5
Итого		5,5	0,5	0,5

**Таблица 3.7.1 – Паспортные данные**

Расчетные величины	По каталогу
$U_n=10 \text{ кВ}$	$U_n=10 \text{ кВ}$
$I_{ав}=205,9 \text{ А}$	$I_n=300 \text{ А}$
$i_{уд}=8,4 \text{ кА}$	$I_{дин}=81 \text{ кА}$
$S_{2р}=9,4 \text{ ВА}$	$S_{2н}=10 \text{ ВА}$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{н-ка}} = \frac{S_{2\text{нтт}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{допр}} = r_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2; \quad \text{принимает провод АКР ТВ; } F=2,5 \text{ мм}^2;$$

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом}; \quad S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,376 \times 5^2 = 9,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,22 + 0,056 + 0,1 = 0,376 \text{ Ом}.$$



**Таблица 3.8 - Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП1-ТП2):  
I<sub>ав</sub>=109,6А;**

Расчетные величины	По каталогу
U <sub>н</sub> =10 кВ	U <sub>н</sub> =10 кВ
I <sub>ав</sub> =109,6 А	I <sub>н</sub> =200 А
i <sub>уд</sub> =8,4 кА	I <sub>дин</sub> =74,5 кА
S <sub>2р</sub> =9,4 ВА	S <sub>2н</sub> =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I<sub>н</sub>=200 А; S<sub>н</sub>=10ВА

**Таблица 3.9 - Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП3-ТП4): I<sub>ав</sub>=74,2 А;**

Расчетные величины	По каталогу
U <sub>н</sub> =10 кВ	U <sub>н</sub> =10 кВ
I <sub>ав</sub> =74,2 А	I <sub>н</sub> =100 А
i <sub>уд</sub> =8,4 кА	I <sub>дин</sub> =74,5 кА
S <sub>2р</sub> =9,4 ВА	S <sub>2н</sub> =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I<sub>н</sub>=100 А; S<sub>н</sub>=10ВА

**Таблица 3.10 - Трансформатор тока на линии ГПП-(ТП5-ТП6):  
I<sub>ав</sub>=110,8 А;**

Расчетные величины	По каталогу
U <sub>н</sub> =10 кВ	U <sub>н</sub> =10 кВ
I <sub>ав</sub> =110,8 А	I <sub>н</sub> =200 А
i <sub>уд</sub> =8,4 кА	I <sub>дин</sub> =74,5 кА
S <sub>2р</sub> =9,4 ВА	S <sub>2н</sub> =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I<sub>н</sub>=200 А; S<sub>н</sub>=10ВА

**Таблица 3.11 - Трансформатор тока к СД: I<sub>р</sub>=37,4А;**

Расчетные величины	По каталогу
U <sub>н</sub> =10 кВ	U <sub>н</sub> =10 кВ
I <sub>ав</sub> =37,4 А	I <sub>н</sub> =50 А
i <sub>уд</sub> =8,4 кА	I <sub>дин</sub> =74,5 кА
S <sub>2р</sub> =9,4 ВА	S <sub>2н</sub> =10 ВА

примем трансформатор тока ТПЛК-10 У3: I<sub>н</sub>=50 А; S<sub>н</sub>=10ВА

3. Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

1. по напряжению установки: U<sub>ном</sub> ≥ U<sub>уст</sub>;
2. по вторичной нагрузке: S<sub>ном2</sub> ≥ S<sub>2расч</sub>;
3. по классу точности
4. по конструкции и схеме соединения

**Таблица 3.12 - Выбор трансформаторов напряжения**

Прибор	Тип	$S_{об-ки}$ , ВА	Число об-к	$\cos\varphi$	Число приборов	$P_{общ}$ , Вт	$Q_{\Sigma}$ , вар
V	Э-335	2	2	1	2	4	-
W	Д-335	1,5	2	1	1	3	-
Var	И-335	1,5	2	1	1	3	-
Wh	СА3-И681	3 Вт	2	0,38	7	42	102
Varh	СР4-И689	3 вар	2	0,38	7	42	102
Итого						84	204

Расчетная вторичная нагрузка:  $S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{84^2 + 204^2} = 220,6 \text{ ВА}$ .

**Таблица 3.13 - Принимаем ТН типа НТМК -10-66-У3**

$U_{HT}=10 \text{ кВ}$	$U_{HT}=10 \text{ кВ}$
$S_{H2}=500 \text{ кВА}$	$S_{p2}=220,6 \text{ ВА}$
Схема соединения обмоток $Y^0/Y^0/\angle_1-0$	

#### 4. Выбор силовых кабелей отходящих линий

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

1. по экономической плотности тока:  $F_3 = \frac{I_p}{\gamma_3}$ ;
2. по минимальному сечению  $F_{min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_p}$ ;
3. по условию нагрева рабочим током  $I_{доп \text{ каб}} \geq I_p$ ;
4. по аварийному режиму  $I_{доп \text{ ав}} \geq I_{ав}$ ;

Выбираем кабель ГПП-ТП1-ТП2:

а) по экономической плотности тока:  $F_3 = I_p / j_{эк} = 54,8 / 1,4 = 39,1 \text{ мм}^2$ .

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3×50);

б) проверим выбранный кабель по термической стойкости к  $I_{кз}$ , найдем минимальное сечение кабеля по  $I_{кз}$ :  $F_{min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_{привед}} = 12 \times 3,3 \times \sqrt{0,6} = 30,6 \text{ мм}^2$ ;

принимаем окончательно кабель ААШВ-10-(3×50);

в) проверка по аварийному току:  $I_{доп \text{ ав}} = 1,3 \times 140 = 182 \text{ А} > 109,6 \text{ А}$ .

Условия выполняются, тогда окончательно принимаем кабель марки ААШВ-10-(3×50)

Все расчетные данные выбора остальных кабелей занесены в таблицу

#### 3.14 -Кабельный журнал

#### 5. 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-50×5;  $I_{\text{доп}}=665$  А (одна полоса на фазу),  $i_{\text{уд}}=8,4$  кА

а)  $I_{\text{доп}}=665\text{А} \geq I_{\text{ав}}=411,8$  А;

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

$$F_{\text{мин}} = \alpha \times I_{\text{кз}} \times \sqrt{t_{\text{привед}}} = 12 \times 3,3 \times \sqrt{1} = 39,6 \text{ мм}^2 < 250 \text{ мм}^2 (50 \times 5 = 250 \text{ мм}^2);$$

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

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a} = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times 8,4^2 \times 50}{100} = 6,1 \text{ кгс};$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \times L}{10 \times W} = \frac{6,1 \times 50}{10 \times 3,34} = 9,1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < 650 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

$$W = 0,167 \times b \times h^2 = 0,167 \times 0,8 \times 5^2 = 3,34 \text{ см}^3$$

Где  $L=50$  см-расстояние между изоляторами;

$b=0,8$  см-толщина одной полосы;

$h=5$  см-ширина (высота) шины.

Из условия видно, что шины динамически устойчивы.

#### 6. 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:  $F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$ .

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.

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times 8,4^2 \times 50}{100} = 6,1 \text{ кгс}.$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-500У1,  $F_{\text{разруш}}=500$  кгс.

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

Условие выполняется.

**Таблица 3.14 - Кабельный журнал**

Наименование участка	S <sub>p</sub> , кВА	Кол-во кабелей в траншее	Нагрузка		По экономической плотности тока, мм <sup>2</sup>		По допустимой нагрузке, мм <sup>2</sup>		По току короткого замыкания, мм <sup>2</sup>		Выбранный кабель	I <sub>доп</sub> , А
			I <sub>p</sub> , А	I <sub>ав</sub> , А	j <sub>э</sub>	F <sub>э</sub>	K <sub>п</sub>	F <sub>доп</sub>	I <sub>к</sub> , А	S		
ГПП-(ТП1+ТП2)	1990,7	2	54,8	109,6	1,4	39,1	0,9	25	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ГПП-(ТП3+ТП4)	1347,8	2	37,1	74,2	1,4	26,5	0,9	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ГПП-(ТП5+ТП6)	2013,5	2	55,4	110,8	1,4	39,5	0,9	25	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ТП1-ТП2	995,35	2	27,4	54,8	1,4	19,5	0,9	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ТП3-ТП4	449,2	1	24,7	-	1,4	17,6	1	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ТП5-ТП6	1006,75	2	27,7	55,4	1,4	19,7	0,9	16	3,3	35	ААШВ-10-(3×50)	140
ГПП-СД	800	4	37,4	-	1,4	26,7	0,85	16	3,3	35	4 ААШВ-10-(3×50)	140

## 4 Специальная часть

### 4.1 Анализ технического состояния силового электрооборудования и пути их совершенствования

Диагностика электрооборудования. Оценка технического состояния подстанционного оборудования Ленинградский уч-к Новгородской СПБ электросетьсервиса. Испытания согласно «Объемов и норм...» проверяют соответствие отдельных характеристик электрооборудования минимально допустимым критериям. При этом целенаправленного поиска дефектов (собственно диагностирования) не производится

Диагностика – это основная цель определить текущее техническое состояние. На основании этого уже производится оценка необходимого объема ремонтов, целесообразность проведения ремонтов, очередность и сроки испытаний, остаточный ресурс электрооборудования.

Эффект. Использование диагностического обследования позволяет сократить количество ремонтов, вести обоснованную политику замены устаревшего электрооборудования на новое, снизить аварийность по причинам внезапного выхода из строя технических объектов.

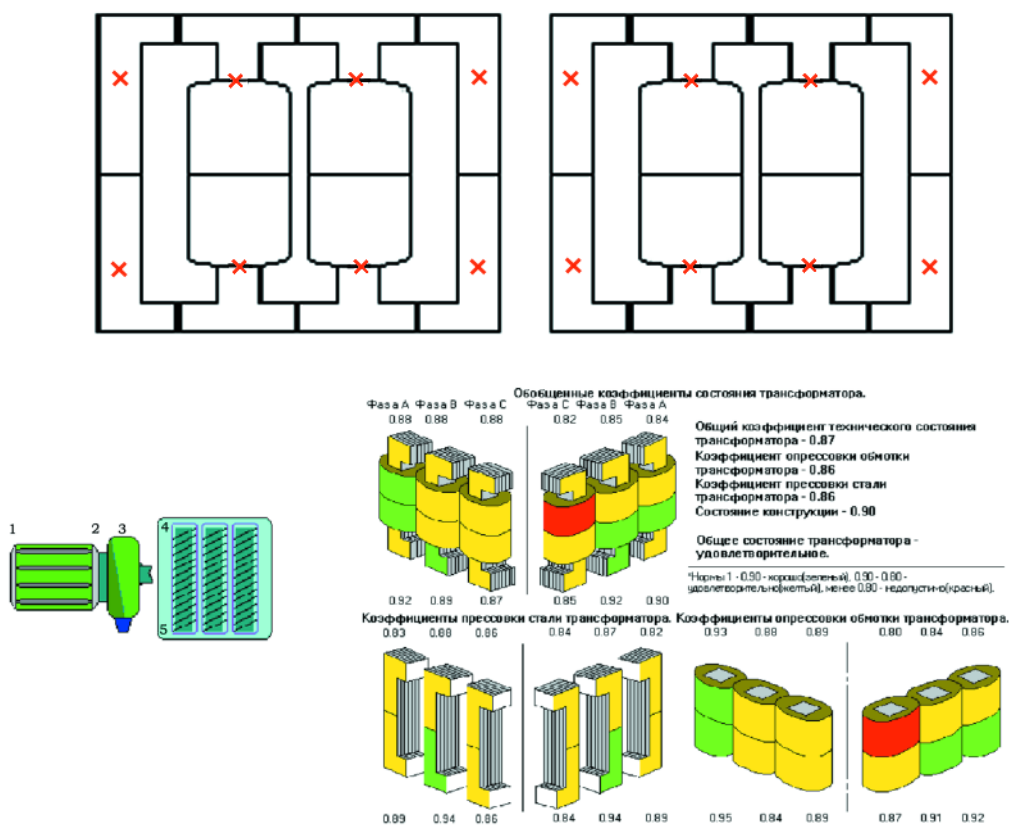
Необходимость. Оценка технического состояния имеет особенно высокую эффективность в следующих случаях: Приемка объекта на баланс (более точная оценка стоимости объекта); Страхование объектов (снижение страховой премии за счет снижения рисков повреждения); Отсутствие возможности по значительному перевооружению подстанций (поддержание старых объектов в работоспособном состоянии); Определение последствий при ненормированном воздействии (получил ли объект повреждения вследствие сторонних причин – КЗ, молния и т.п.).

Методы Оценка текущего состояния электрооборудования производится по целому ряду испытаний, измерений и анализов. Можно выделить несколько этапов: 1. Анализ конструкции объекта, аварийности такого типа оборудования, типовых дефектов; 2. Анализ жизни объекта на основе данных о воздействиях, ремонтах, результатов измерений и испытаний в эксплуатации; 3. Проведение испытаний и измерений на объекте; 4. Выдача заключения о текущем техническом состоянии с указанием предполагаемых дефектов, сроками и объемами ремонтов, рекомендациями по поддержанию объекта в исправном техническом состоянии.

Подходы При оценке технического состояния можно выделить два подхода: Комплексное обследование объекта – проведение полного цикла испытаний и измерений, высокая точность при высокой цене и трудоемкости. Пригодна для относительно небольшого количества объектов. Ранжирование – «быстрая» оценка ТС, позволяет выстроить приоритеты для последующих обследований по комплексному обследованию. Пригодна для большого количества объектов, невысокая цена при относительно невысокой точности оценки («хорошо», «удовлетворительно», «плохо»).

Ранжирование производится без отключения объекта по результатам анализов трансформаторного масла, вибрационному обследованию трансформатора, акустическому контролю ЧР, термографическому обследованию, анализу конструкции и жизни трансформатора. Другими словами, за относительно короткое время можно провести предварительную оценку состояния большого количества объектов и определить, какие из них необходимо обследовать более подробно.

Комплексное обследование КО включает в себя следующие виды испытаний и измерений: стандартные испытания согласно «Объемов и норм...», анализ трансформаторного масла (бак, бак РПН, вводы), оценка работы РПН (косвенная или прямая), измерение частичных разрядов, оценка деформаций обмоток методом НВИ, вибрационное обследование трансформатора и двигателей маслососов системы охлаждения, термографическое обследование трансформатора, измерение абсорбционных характеристик изоляции и т.д.

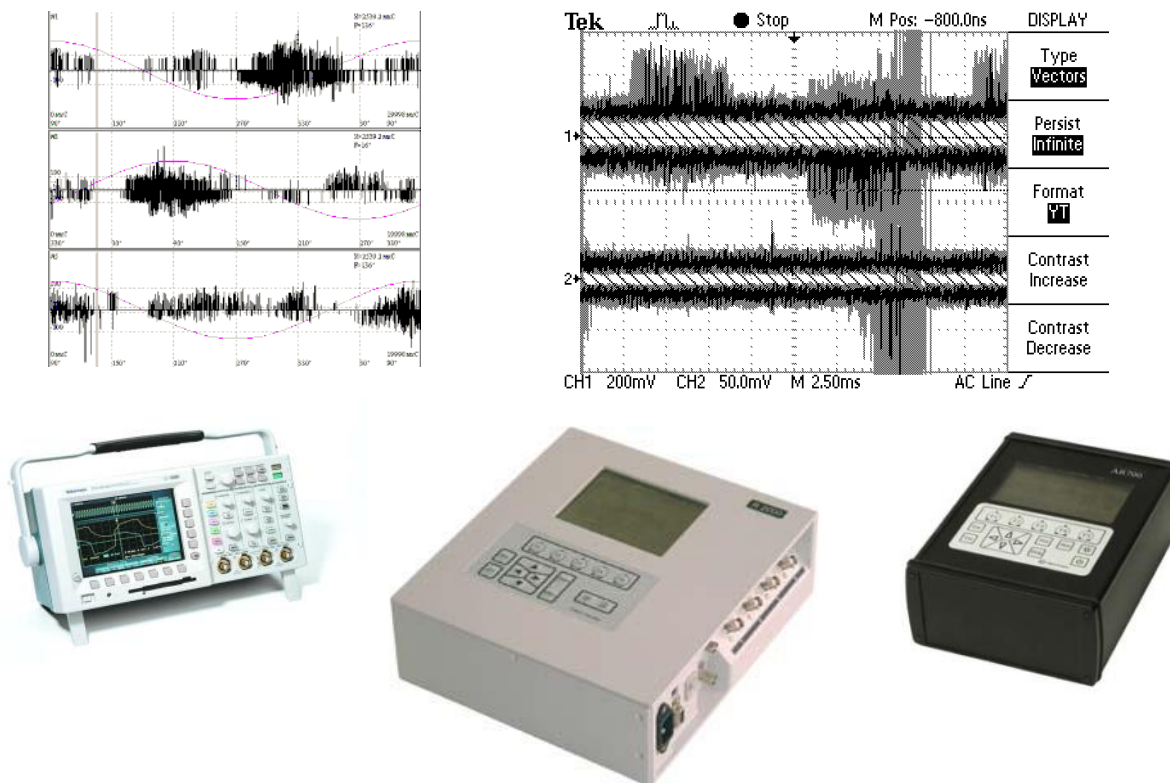


**Рисунок 4.1 - Механическое состояние активной части: вибродиагностика**

Анализы трансформаторного масла определение концентраций газов; определение фурановых соединений; определение концентрации антиокислительной присадки ИОНОЛ, общего газосодержания, растворенной и связанной воды; измерение показателя мутности масла вводов; измерение влагосодержания масла; оценка влагосодержания твердой изоляции; определение механических примесей количественно; определение класса

чистоты жидкостей; определение пробивного напряжения и кислотного числа масла; определение тангенса угла диэлектрических потерь масла; определение степени полимеризации твердой изоляции.

Механическое состояние активной части - метод НВИ Проверка механических свойств активной части Оценка деформаций обмоток методом НВИ Распрессовка обмоток и сердечника Метод НВИ: интерпретация результатов с помощью стандартного программного обеспечения Принцип Реализация



**Рисунок 4.2 - Оценка состояния изоляции**

Определение, локализация источника ЧР под рабочим напряжением. Методы: Электрический способ (осциллографы, регистратор «R2100»). Локация очагов ЧР акустическим способом. Интерпретация результатов, используя экспертные методики НСПБ. Основное преимущество: регистрация дефектов под рабочим напряжением на самой ранней стадии развития.

Вибродиагностика: интерпретация результатов с помощью специального программного обеспечения Основное преимущество оборудование находится под рабочим напряжением Принцип Реализация Механическое состояние активной части: вибродиагностика

Изоляция: частичные разряды Оценка состояния изоляции: Определение, локализация источника ЧР под рабочим напряжением Методы: Электрический способ (осциллографы, регистратор «R2100») Локация очагов ЧР акустическим способом Интерпретация результатов, используя экспертные методики НСПБ Основное преимущество: Регистрация дефектов под рабочим напряжением на самой ранней стадии развития

Трансформатор: термография локальные перегревы дефектных участков  
недостаточный уровень масла во вводах дефекты системы охлаждения



**Рисунок 4.2 – Термография на локальные перегревы дефектных участков**

Методы оценки текущего состояния электрооборудования производится по целому ряду испытаний, измерений и анализов. Можно выделить несколько этапов: 1. Анализ конструкции объекта, аварийности такого типа оборудования, типовых дефектов; 2. Анализ жизни объекта на основе данных о воздействиях, ремонтах, результатов измерений и испытаний в эксплуатации; 3. Проведение испытаний и измерений на объекте; 4. Выдача заключения о текущем техническом состоянии с указанием предполагаемых дефектов, сроками и объемами ремонтов, рекомендациями по поддержанию объекта в исправном техническом состоянии.



## 5 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой совокупность организационных, технических, медицинских и административных мер, направленных на повышение надежности электроустановок и сетей для устранения возникновения опасных электрических ударов путем анализа и исследования воздействия электрического тока на организмы человека в аварийных электрических установках и электрических сетях.

Есть три правила:

- 1) печатная плата - КТ;
- 2) РЕУ - ЕРСР;
- 3) ПТЭ - ДР.

В зависимости от типа электроустановок, режимов номинального напряжения, необходимо принять защитные меры. Следующие технические меры предосторожности должны выполняться в электроустановках:

- использование напряжения;
- распределение дивидендов;
- защита от высокого напряжения, связанного с передачей низкого напряжения;
- контроль и тестирование подвески;
- Компенсация замыкания на землю токопроводов;
- защита от случайного контакта с полупроводниковыми частями;
- защитное заземление;
- сложение и нулевое включение;
- отключение безопасности;
- Использование защиты от поражения электрическим током.

Регулируется РЕЕ, РСЕ и РСВ.

В нашем случае мы рассматриваем три защитные меры. Они перечислены ниже: Добавление защиты на землю, развертывание в области охраны труда, обнуление, обнуление и защитное разделение заключаются в следующем.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основной целью дипломной работы является анализ технического состояния энергетического оборудования и путей его совершенствования в системе электроснабжения деревообрабатывающего завода. Выбор новой схемы электроснабжения осуществляется путем сравнения двух новых версий схем электроснабжения этого предприятия.

В результате согласования двух вариантов цепей электропитания необходимо принять второй вариант линии электропередачи 10 кВ для реконструкции существующей цепочки электропитания.

Технико-экономическая подстанция 110/10 кВт, строительство смежных сетей и сроки подстанции, включая дисконтирование. Создание этого сертификата для электроснабжения деревообрабатывающего завода обеспечит надежную надежную мощность завода, все выбранное оборудование соответствует всем современным и современным стандартам. Диплом соответствует диплому и экологическим нормам.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Справочник по проектированию электроснабжения/Под. ред. Барыбина Ю.Г.- М.: Энергоатомиздат,1990.- с.123-129.
- 2 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.Т.1. Электроснабжение/Под.ред. Федорова А.А.- М.,1986.- с.162-187.
- 3 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию.Т.2. Электрооборудование /Под.ред. Федорова А.А. М.1986. - стр.144.
- 4 Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/Под.ред. Барыбина Ю.Г. - М.: Энергоатомиздат,1990., с 238-245.
- 5 Основы электроснабжения промышленных предприятий/3-е издание/ А.А. Федоров, В.В.Каменева.- М.:Энергия,1979.- с. 219-230.
- 6 Справочник электрика промышленных предприятий/под общ.ред. А.А Федорова, П.В.Кузнецова. - М.: Государственное энергетическое издательство, 1954.- с.99-108.
- 7 Электрические сети и системы/ В.И. Идельчик.-М: Энергоатомиздат, 1989., с.496-533.
- 8 Надежность электроснабжения промышленных предприятий/ Е.А.Конюхова, Э.А. Киреева - М.: ТНФ «Энергопрогресс», «Энергетик»,2001., стр 42.
- 9 Расчет и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях/ Ю.С. Железко.- М.: изд. «НЦ ЭНАС», 2004., с.88-99.
- 10 Охрана труда/ под ред. К.З.Ушакова.- М.: Недра, 1986, стр.129.
- 11 Охрана труда в машиностроении/2-изд./под ред.Е.Я.Юдина, С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1983., с.164-78.
- 12 Экономика электротехнического производства/ Под ред. В.Е.Астафьева.- М.: Высшая школа, 1989., стр 79.