

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт архитектуры, строительства и энергетики им. Т. Басенова

Кафедра «Энергетика»

Максутов Ч.Б.

Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

специальность 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

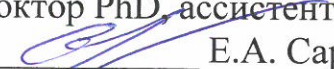
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт архитектуры, строительства и энергетики им. Т. Басенова

Кафедра «Энергетика»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

И.о. заведующего кафедрой  
доктор PhD, ассистент профессор

  
Е.А. Сарсенбаев  
" 20 " 05 2019 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: " Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В."

по специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Выполнил

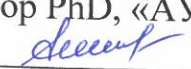
Максутов Ч.Б.

Рецензент

Научный руководитель

Доктор PhD, «АУЭС»

лектор

  
Н.К. Алмуратова  
" 20 " 05 2019 г.

  
Р.Ш. Абитаева  
" 20 " май 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт архитектуры, строительства и энергетики им. Т. 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 *Максutowу Чингису Баглановичу*

Тема: *Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В*

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

Срок сдачи законченного проекта «б» мая 2019 г.

Исходные данные к дипломному проекту: *Электрические нагрузки и генплан деревообрабатывающего комбината.*

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) расчет электрических нагрузок;

б) расчет компенсации реактивной мощности на шинах 0,4кВ;

в) сравнение вариантов внешнего электроснабжения;

г) выбор оборудования и расчет токов КЗ.

Перечень графического материала: представить в виде презентации..





Рекомендуемая основная литература: 9 наименований.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
1. Расчет электрических нагрузок и компенсации реактивной мощности на шинах 0,4кВ	29.01.2019	
2. Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	26.02.2019	
3. Выбор оборудования и расчет токов КЗ	22.04.2019	
4. Выбор силовых кабелей отходящих линий	09.05.2019	

**Подписи**

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

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. Степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Абитаева Р.Ш. лектор	20.05.2019	
Экономическое обоснование проекта	Абитаева Р.Ш. лектор	20.05.2019	
Электробезопасность	Абитаева Р.Ш. лектор	20.05.2019	
Нормоконтролер	Балгаев Н.Е. доктор PhD	20.05.2019	

Научный руководитель



Абитаева Р.Ш.

Задание принял к исполнению обучающийся



Максотов Ч.Б.

Дата

" 3 " 03 2019 г.



**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:** Максутов Чингис Багланович

**Название:** Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В.doc

**Координатор:** Ерлан Сарсенбаев

**Коэффициент подобия 1:**16,6

**Коэффициент подобия 2:**2,2

**Тревога:**97

**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:

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

.....  
20.05.2019

Дата

.....  


Подпись заведующего кафедрой /


начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

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

.....  
20.05.2014

Дата

.....  


Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## 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:** Максутов Чингис Багланович

**Название:** Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В.doc

**Координатор:** Ерлан Сарсенбаев

**Коэффициент подобия 1:**16,6

**Коэффициент подобия 2:**2,2

**Тревога:**97

**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:

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

20.05.2019

Дата



Подпись Научного руководителя



**РЕЦЕНЗИЯ**

**Дипломная работа**  
(наименование вида работы)

**Максутов Чингис Багланович**  
(Ф.И.О. обучающегося)

**5В071800-Электроэнергетика**  
(шифр и наименование специальности)

На тему: **Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В.**

Выполнено:

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

**ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ**

В основной части дипломной работы произведены: определение расчетных электрических нагрузок предприятия, расчеты по выбору оборудования.

В экономической части дипломной работы произведено сравнение трёх вариантов внешнего электроснабжения и сравнение трансформатора ТМН – 6300/110кВА с альтернативой ТДН – 10000/110/10к ВА. расчет оборудования компенсирующее реактивную мощность и дано обоснование на каждый из способов компенсации с учетом потерь активной и реактивной мощностей.

Однако хотелось бы увидеть в работе непосредственно больше способов расчета тока короткого замыкания на сетях с напряжением выше 1000 В.

**Оценка работы**

Дипломная работа выполнена на «хорошо» (85%), в связи с чем считаю автора данной работы достойным академической степени «бакалавр» по специальности 5В071800 – «электроэнергетика».

**Рецензент**

**Доктор PhD, доцент кафедры «Электрические машины и электропривод»**  
**Алматинского университета энергетики и связи**

(должность, ученое звание)

Н.Ж. Алмударова

« \_\_\_\_\_ 2019 г.



**ОТЗЫВ**  
**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На \_\_\_\_\_ Дипломную работу  
(наименование вида работы)  
Максимова Чингиса Баглановича  
(Ф.И.О. обучающегося)  
05В071800 – Электроэнергетика  
(номер и наименование специальности)

Тема: **Расчет электроснабжения завода и способы и особенности расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях напряжением выше 1000 В**

Максимов Чингис приступил к выполнению дипломной работы с отставанием от графика.

За время дипломирования показал себя специалистом, способным заниматься поиском необходимой литературы для решения поставленных задач, умеющим пользоваться справочной литературой, компьютерной техникой и INTERNET.

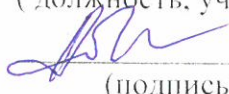
Дипломная работа выполнена в объеме, состоящей из пояснительной записки на \_\_\_\_\_ стр. машинописного текста.

Считаю, что дипломная работа Максимова Чингиса Баглановича заслуживает оценки «хорошо» (75%), а ее автор – присвоения степени «бакалавр».

**Научный руководитель**

лектор

( должность, уч. степень, звание)

 Абитайева Р.Ш.

(подпись)

«20» мая 2019 г.

## **АННОТАЦИЯ**

В дипломной работе выполнен расчет электроснабжения деревообрабатывающего завода. Определены расчетные электрические нагрузки, определено количество цеховых трансформаторов, а также определена компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ. Рационально выбрано оборудование и силовые кабели.

## **АҢДАТПА**

Дипломдық жұмыста электрмен жабдықтаушы ағаш өңдеу зауытын есептеу жүргізілді. Есептелген электрлік жүктемелер анықталды, дүкен трансформаторларының саны анықталды, 0,4 кВ шинада реактивті қуаттың компенсациясы анықталды. Шалғайдағы жабдық пен қуат кабельдері.

## **ABSTRACT**

In the thesis work, the calculation of the power supply of the woodworking plant. The calculated electrical loads were determined, the number of shop transformers was determined, and also the reactive power compensation on 0.4 kV buses was determined. Rationally selected equipment and power cables.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1 Требования к надёжности электроснабжения	9
2 Данные к работе	10
3 Определение расчетных электрических нагрузок	12
3.1 расчет осветительных нагрузок	12
3.2 Расчет электрических нагрузок деревообрабатывающего комбината	15
3.3 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	21
3.4 Компенсация реактивной мощности на шинах 0.4 кВ	22
3.5 Распределение $Q_{\text{нбк}}$ пропорционально нагрузкам ТП	24
3.6 Предварительное распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП	25
3.7 Уточненный расчет электрических нагрузок 0,4 кВ	26
3.8 Расчет высоковольтных нагрузок	28
3.9 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов	29
4 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	32
4.1 I вариант, 115кВ	32
4.2 II вариант, 37кВ	42
4.3 III вариант, 6,3кВ	49
5 Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания. $U > 1\text{Кв}$	55
5.1. Расчет токов короткого замыкания на шинах ГПП	55
5.2. Выбор оборудования на стороне 6,3 кВ	59
5.3. Выбор оборудования на отходящих линиях	60
6 Выбор силовых кабелей отходящих линий	65
7 Расчет тока КЗ альтернативным способом	68
8 Технико-экономический расчет	70
9 Электробезопасность	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	74

## **ВВЕДЕНИЕ**

Установки промышленных предприятий – это сложные системы, с повышенными к себе требованиями надежности, для осуществления которых требуется автоматизация работы отдельных элементов сетей. В этих условиях не маловажно, чтобы в проектах принимались решения, которые будут соответствовать требованиям электробезопасности, целесообразны по затратам на их сооружение и дальнейшей эксплуатации.

Работа содержит в себе: расчет электрических нагрузок, сравнение вариантов внешнего электроснабжения, выбор подходящего оборудования, расчет токов короткого замыкания, выбор силовых кабелей.

Важная задача энергетики – переход к рациональной организации. А также повсеместное, постепенное, качественное внедрение новых технологий и методов эксплуатации техники, для дальнейшего развития предпринимательства, промышленности страны.

Система электроснабжения завода создается для обеспечения питания завода, точнее питания различного рода электрических приемников.



## **1 Требования к надёжности электроснабжения**

Источником питания завода является подстанция, расположенная до 3,5 км от завода, неограниченной мощностью.

По обеспечению надёжности электроснабжения электроприемники делятся на три категории:

1. Электроприемники, при нарушении электроснабжения, которых, будут вызваны нарушения, которые повлекут за собой различного рода последствия: опасность для жизни людей, вред народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство составного технологического процесса.

2. Электроприемники, при перерыве электроснабжения, которых приводит к заметным недоотпускам продукции, к простоям рабочих, а также механизмов, находящихся под питанием из сети.

3. Все остальные электроприемники, не подходящие под определение 1-й и 2-й категорий.

## 2 Данные к работе

Данные к работе представлены в таблице 1 и в рисунке 1.

**Таблица 1 – Данные по электрическим нагрузкам комбината**

№№ по плану	Наименование	Кол-во ЭП, п	Установленная мощность, кВт	
			Одного ЭП, P <sub>н</sub>	∑ P <sub>н</sub>
1	2	3	4	5
1	Лесопильный завод	80	1-125	2500
2	Сушильный цех	50	10-80	950
3	Биржа сырья	30	10-40	700
4	Цех оконных рам и дверей	100	1-40	1100
5	Цех половых досок	50	1-80	900
6	Столярный цех №1	50	1-70	1000
7	Столярный цех №2	60	1-50	1100
8	Мебельный цех	30	1-30	450
9	Цех прессованных плит	60	1-40	1700
10	Материальный склад	10	1-20	100
11	Компрессорная			
	а) 0.4 кВ	8	10-30	150
	б) СД 6 кВ	4	800	3200
12	Механические мастерские	50	1-30	900
13	Административный корпус, столовая	50	1-40	340
14	Котельная	40	1-80	480
15	Автогараж	30	1-20	150

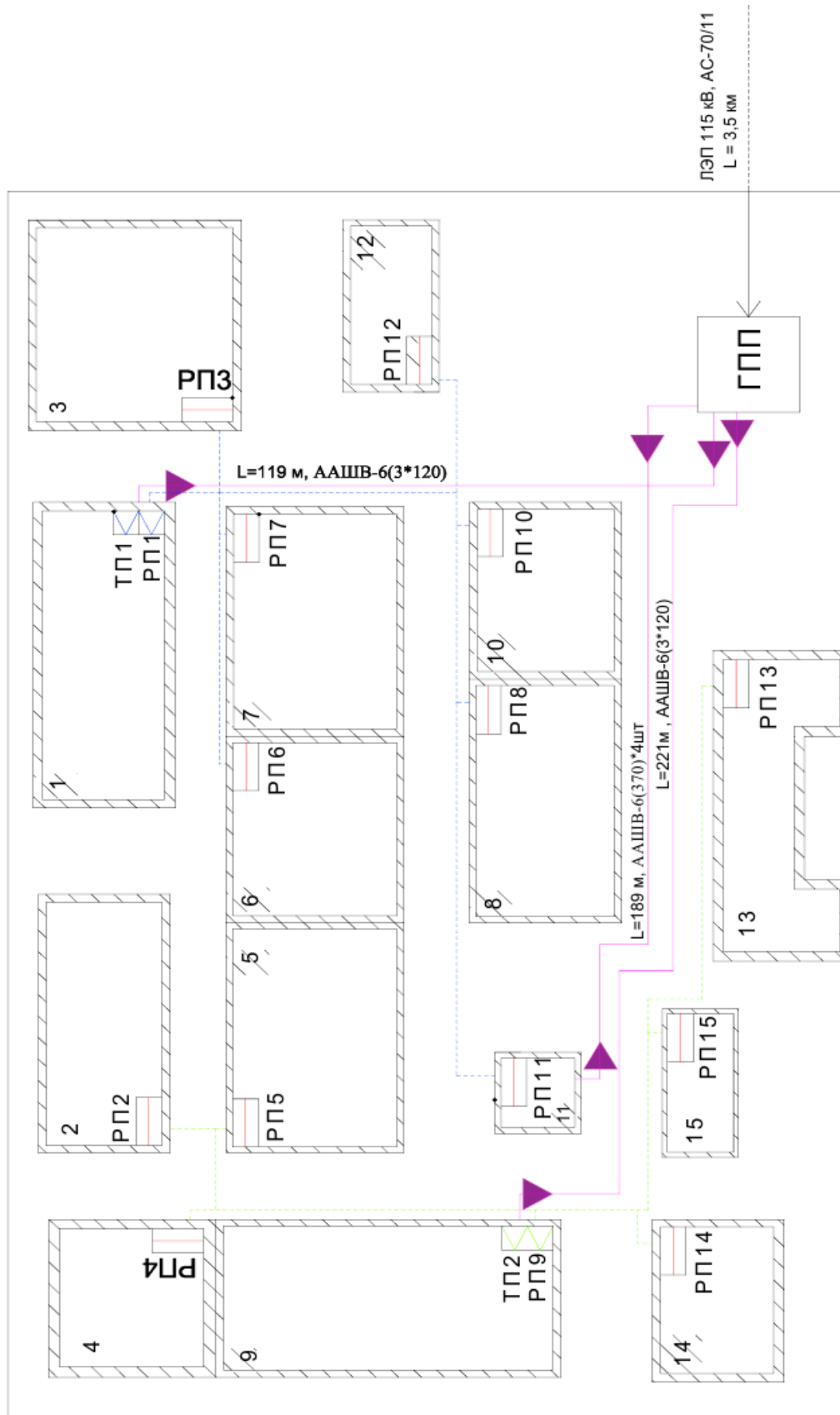


Рисунок 1-Генплан завода

### 3 Расчет электрических нагрузок

#### 3.1 Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки рассчитывается исходя из плотности осветительной нагрузки на квадратный метр площади производственного места и коэффициенту спроса.

Этот метод, в котором расчетная нагрузка берется как равная средней мощности освещения за самую загруженную смену, считается рациональным, и определяется по формулам:

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{y.o}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

$$Q_{p.o} = \text{tg}\varphi_0 \cdot P_{p.o}, \text{ кВар}. \quad (2)$$

где  $K_{c.o}$ - коэффициент спроса по активной мощности нагрузки;  $P_{y.o}$ - установленная мощность приемников освещения, определяется по удельной осветительной нагрузке на  $1 \text{ м}^2$  поверхности и известной производственной площади:

$$P_{y.o} = \rho_0 \cdot F, \text{ кВт}. \quad (3)$$

где  $F$ -площадь данного помещения,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_0$ - удельная расчетная мощность кВт на  $1 \text{ м}^2$ .

Все расчетные данные сведены в таблицу 1.2.

**Таблица 2 – Расчет осветительной нагрузки**

№№ По плану	Название производственного помещения	Размеры помещения, Длина(м)хШирина(м)	Площадь помещения М <sup>2</sup>	Удельная осветительная нагрузка $\rho_0$ кВт/м <sup>2</sup>	Коэффициент спроса К <sub>с</sub>	Установленная мощность освещения, Р <sub>уо</sub> кВт	Расчетная мощность Осветительной нагрузки		cos φ / tan φ
							Р <sub>ро</sub> кВт	Q <sub>ро</sub> кВар	
1	Лесопильный завод	71,1*25,5	1813	0,017	0,95	30,82	29,27	14,17	0,9/0,484
2	Сушильный цех	60*28,8	1728	0,011	0,95	19	18,05	8,73	0,9/0,484
3	Биржа сырья	48,8*45,5	2220,4	0,014	0,6	31,08	18,65	9,02	0,9/0,484
4	Цех оконных рам и дверей	36*36	1296	0,015	0,95	19,45	18,46	8,93	0,9/0,484
5	Цех половых досок	53,3*38,8	2068,04	0,018	0,95	37,22	35,36	17,11	0,9/0,484
6	Столярный цех №1	43,3*38,8	1680	0,016	0,95	26,88	25,53	12,35	0,9/0,484
7	Столярный цех №2	53,3*38,8	2068,04	0,016	0,95	33,08	31,43	15,21	0,9/0,484
8	Мебельный цех	56,6*33,3	1884,78	0,014	0,95	26,38	25,06	12,13	0,9/0,484
9	Цех прессованных плит	36*74,4	2678,4	0,013	0,95	34,81	33,07	16	0,9/0,484
10	Материальный склад	40*33,3	1332	0,014	0,95	18,64	17,71	0	1/0
11	Компрессорная:	18,8*18,8	353,4	0,016	0,85	5,65	4,8	2,32	0,9/0,484



*Продолжение таблицы 2*

12	Механические мастерские	21*40	840	0,014	0,85	11,76	9,99	4,83	0,9/0,484
13	Административный корпус	72*30	1816	0,020	0,9	36,32	32,68	15,82	0,9/0,484
14	Котельная	37,7*28,8	1085,7	0,013	0,85	14,11	11,99	5,8	0,9/0,484
15	Автогараж	34,4*16,6	571,04	0,014	0,6	7,99	4,79	0	1/0

### 3.2 Расчет электрических нагрузок деревообрабатывающего комбината

Средняя активная нагрузка за наиболее сильно загруженную смену для характерной подгруппы каждого электроприемников:

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н}, \text{ кВт} \quad (4)$$

Значение коэффициентов использования  $K_{и}$  находим из справочных таблиц.

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой характерной подгруппы электроприемников:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар.} \quad (5)$$

Также необходимо посчитать результирующее число электроприемников  $n_э$  для расчетного узла питания. Далее следует упрощенные способы нахождения  $n_э$ .

При  $m = \frac{P_{ном.макс}}{P_{ном.мин}} \leq 3$  - эффективное число электроприемников принимается равным их фактическому числу:  $n = n_э$ .

При  $m \geq 3$  и групповом коэффициенте  $K_{и} = 0,2$  эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{ном}}{P_{ном.макс}} \quad (6)$$

В случае, когда найденное  $n_э$  оказывается больше чем число электроприемников  $n$ , то следует взять  $n = n_э$ .

Максимальная, получасовая активная нагрузка от силовых электроприемников узла:

$$P_{м} = K_{м} \cdot P_{см}, \text{ кВт.} \quad (7)$$

Максимальная реактивная получасовая нагрузка от силовых электроприемников узла приравнивается:

- если  $n_э < 10$ , то  $Q_{м} = 1,1 Q_{см}$ ; если  $n_э > 10$  тогда  $Q_{м} = Q_{см}$ .

Максимальная полная нагрузка расчетного узла питания определяется:

$$S_{м} = \sqrt{P_{м}^2 + Q_{м}^2}, \text{ кВА.} \quad (8)$$

Расчетный максимальный ток определяется по формуле для трехфазного

тока:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ кА.} \quad (9)$$

Расчетные данные полной нагрузки сведены в таблицу 1.3

**Таблица 3 - Расчет электрических нагрузок деревообрабатывающего комбината**

№	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт		m	K <sub>и</sub>	cos φ /tgφ	Средние нагрузки		n <sub>э</sub>	K <sub>М</sub>	Расчетные нагрузки			I <sub>р</sub> , кА							
			P <sub>нmin</sub> ÷ P <sub>нmax</sub> , кВт	∑ P <sub>н</sub> , кВт				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	Лесопильный завод	80	1-125	2500	125	0,45	0,75/0,88	1125	992,16	40	0,75	843,75	992,16									
	а) силовая																					
	б) осветительная																					
	Итого																					
2	Сушильный цех	50	10-80	950	8	0,6	0,75/0,88	570	502,69	24	0,90	513	502,69									
	а) силовая																					
	б) осветительная																					
	Итого																					
3	Биржа сырья	30	10-40	700	4	0,4	0,8/0,75	280	210,00	30	0,75	210	231,00									
	а) силовая																					
	б) осветительная																					
	Итого																					
4	Цех оконных рам и дв	100	1-40	1100	40	0,17	0,6/1,33	187	249,33	55	0,65	121,55	249,33									
	а) силовая																					
	б) осветительная																					

Продолжение таблицы 3

Итого											140,01	258,27	293,78	0,44
Цех половых досок	50	1-80	900	80	0,3	0,65/1,16								
а) силовая							270	315,66	23	0,85	229,5	315,66		
б) осветительная											35,36	17,12		
Итого											264,86	332,78	425,31	0,64
Столярный цех №1	50	1-70	1000	70	0,2	0,6/1,33								
а) силовая							200	266,67	29	0,75	150	266,67		
б) осветительная											25,54	12,36		
Итого											175,53	279,02	329,64	0,5
Столярный цех №2	60	1-50	1100	50	0,3	0,8/0,75								
а) силовая							330	247,50	44	0,75	247,5	272,25		
б) осветительная											31,43	15,21		
Итого											278,93	287,46	400,54	0,6
Мебельный цех	30	1-30	450	30	0,3	0,6/1,33								
а) силовая							135	180,00	30	0,75	101,25	180,00		
б) осветительная											25,07	12,13		
Итого											126,31	192,13	229,93	0,349768
Цех прессованных плит	60	1-40	1700	40	0,5	0,75/0,88								
а) силовая							850	749,63	60	0,75	637,5	749,63		
б) осветительная											33,08	16,01		



Продолжение таблицы 3

Итого											670,57	765,63	1017,7	1,548192
Материальный склад	10	1-20	100	20	0,3	0,7/1,02								
а) силовая							30	30,61	10	0,85	25,5	33,67		
б) осветительная											17,72	0		
Итого											43,21	33,66	54,78	0,08
Компрессорная:	8	10-30	150	3	0,6	0,7/1,02								
а) силовая							90	91,82	8	0,92	82,8	101,00		
б) осветительная											5,65	4,81		
Итого											88,45	105,80	137,91	0,20
Мех-мастерские	50	1-30	900	30	0,35	0,75/0,88								
а) силовая							315	277,80	50	0,70	220,5	277,80		
б) осветительная											11,76	9,99		
Итого											232,26	287,79	369,82	0,56
Столовая	50	1-40	340	40	0,5	0,9/0,48								
а) силовая							170	82,33	17	0,85	144,5	90,57		
б) осветительная											32,69	15,82		
Итого											177,18	106,38	206,67	0,31
Котельная	40	1-80	480	80	0,6	0,8/0,75								
а) силовая							288	216,00	12	0,90	259,2	216,00		
б) осветительная											12,00	5,81		

Продолжение таблицы 3

Итого											271,19	221,80	350,35	0,53
Автогараж а) силовая	30	1-20	150	20	0,2	0,7/1,02	30	30,61	15	0,80	24	30,61		
б) осветительная											4,80	0,00		
Итого											28,79	30,60	42,02	0,06
ИТОГО на шинах 0,4 кВ											4130,0	4659,1	6226,2	9,47

### 3.3 Определение количества цеховых трансформаторов, и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ

Удельная плотность нагрузки:

$$S_{уд} = \frac{S_{p,0,4}}{\sum F_{цех}}, \text{кВА}, \quad (7)$$

$$S_{уд} = \frac{6226.2}{23434.8} = 0,26 \text{ кВА}.$$

Учитывая посчитанную плотность нагрузки, был выбран трансформатор с  $S_{н.тр} = 1600$  кВА. Параметры данного силового трансформатора сведены в таблицу 1.4.

**Таблица 4-Параметры трансформатора цеха марки ТМ-1600-6/0,4**

Тип	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$S_{НТ}$ , кВА	$I_x$ , %	$U_{кз}$ , %	$\Delta P_{хх}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт
ТМ-1600-6/0,4	6.6	0.4	1600	1.3	5.5	3.3	16.5

Расчет минимального количества цеховых трансформаторов:

$$N_{\min \text{ тр}} = \frac{P_{p0.4}}{S_{н.тр} \cdot K_{зтр}} + \Delta N, \quad (8)$$

$$N_{\min \text{ тр}} = \frac{4130}{1600 * 0.7} = 3.6875 + 0.3125 = 4.$$

Найдено оптимальное по экономической части число трансформаторов, по формуле:

$$N_{\text{тр.эк}} = N_{\min} + m = 4 + 0 = 4. \quad (9)$$

### 3.4 Компенсация реактивной мощности на шинах 0.4 кВ

По выбранному количеству трансформаторов находится наибольшая реактивная мощность, которую лучше передать через трансформаторы в сеть с напряжением до 1000 В:

$$Q_{\text{мах.тр}} = \sqrt{(N_{\text{тр.эк}} \cdot K_{\text{зтр}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - P_{\text{р0.4}}^2}, \text{ кВар}, \quad (10)$$

$$Q_{\text{мах.тр}} = \sqrt{(4 \cdot 0.7 \cdot 1600)^2 - 4130^2} = 1735.9 \text{ кВар}.$$

Общая мощность батарей ниже 1000В для данной группы трансформаторов составит:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{мах.тр}}, \text{ кВар}, \quad (11)$$

$$Q_{\text{НБК}} = 4659.1 - 1735.9 = 2923.2 \text{ кВар}.$$

Реактивная мощность одной батареи конденсатора, которая приходится на один трансформатор:

$$Q_{\text{БК,Т}} = \frac{Q_{\text{НБК}}}{N_{\text{тр.эк}}}, \text{ кВар}, \quad (12)$$

$$Q_{\text{БК,Т}} = \frac{2923.2}{4} = 730.8 \text{ кВар}.$$

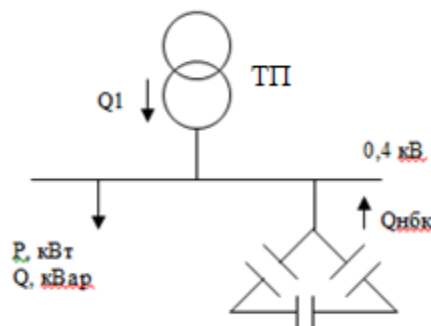


Рисунок 2 - Схема расположения низковольтных батарей конденсаторов

Применяем к установке блок из двух батарей конденсаторов с реактивными мощностями:  $Q_1=402$  кВар и  $Q_2=335$  кВар на один трансформатор. Суммарная мощность блока батарей конденсаторов на один трансформатор, составит  $Q_{\text{НБК.Т}} = 737$  кВар. Параметры выбранных батарей конденсаторов сведены в таблицу 1.5.

**Таблица 5 –Параметры батарей конденсаторов марок УКМ 58-04-402-67УЗ и УКМ 58-04-335-67УЗ**

Тип	Мощность, кВар	Кол-во ступеней	Мощность ступеней	Габариты, мм			Масса, кг
				Длина	Ширина	Высота	
УКМ 58-04-402-67УЗ	402	6	6x67	1430 1	580	1610	305
УКМ 58-04-335-67УЗ	335	5	5x67	1250	580	1610	285

### 3.5 Распределение $Q_{\text{НБК}}$ пропорционально нагрузкам ТП

Исходные данные:  $Q_p = 4659.1$  кВар;  $Q_{\text{НБК}} = 2923.2$  кВар.

$$Q_{p.\text{НБК.ТП}} = (Q_{\text{НБК}} \cdot Q_{p.\text{ТП}}) / Q_p, \text{ кВар}; \quad (13)$$

$$Q_{p.\text{НБК.ТП1}} = (2923.2 \cdot 2432.19) / 4659.1 = 1525.99 \text{ кВар};$$

$$Q_{p.\text{НБК.ТП2}} = (2923.2 \cdot 2226.89) / 4659.1 = 1397.18 \text{ кВар}.$$

Не скомпенсированную реактивную мощность на ТП вычлели по формуле:

$$Q_{\text{неском}} = Q_{p.\text{ТП}} - Q_{\text{ф.НБК.ТП}}, \text{ кВар}. \quad (14)$$

Для ТП<sub>1</sub>

$$Q_{\text{неском}} = 2432.19 - 1474 = 958.19 \text{ кВар}.$$

Для ТП<sub>2</sub>

$$Q_{\text{неском}} = 2226.89 - 1474 = 752.89 \text{ кВар}.$$

Результаты проделанных расчетов сведены в таблице 1.6.

**Таблица 6 – Расчетные данные реактивных мощностей**

№ ТП	$Q_{p.\text{ТП}}$ , кВар	$Q_{p.\text{НБК.ТП}}$ , кВар	$Q_{\text{ф.НБК.ТП}}$ , кВар	$Q_{\text{неском}}$ , кВар
ТП <sub>1</sub>	2432.19	1525.99	1474	958.19
ТП <sub>2</sub>	2226.89	1397.18	1474	752.89
Итого	4659.08	2923.17	2948	1711.08

Определили коэффициент загрузки для ТП по формуле:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{н.тр}}}, \quad (15)$$

$$\text{Для ТП}_1: K_3 = \frac{2259.58}{2 \cdot 1600} = 0.70.$$

$$\text{Для ТП}_2: K_3 = \frac{2215.5}{2 \cdot 1600} = 0.69.$$

### 3.6 Предварительное распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП

На основе произведенных расчетов, составили таблицу распределения нагрузок цехов по ТП (таблица 7), в которой указано распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП.

**Таблица 7 - Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП**

№ ТП, $S_{н.тр}$ , $Q_{НБК}$	№ цехов	$P_{p0.4}$ , кВт	$Q_{p0.4}$ , кВар	$S_{p0.4}$ , кВ·А	Кз.тр
ТП <sub>1</sub> (2·1600) $\sum S_{н} = 3200$ кВА	1	873.02	1006.3		
	3	228.65	240.03		
	7	278.93	287.46		
	12	232.26	287.79		
	10	43.21	33.66		
	6	175.53	279.02		
	8	126.31	192.13		
	11	88.45	105.80		
$Q_{НБК} = 737 \cdot 2 = 1474$ кВар			-1474		
Итого		2046.36	958.19	2259.583	0.70
ТП <sub>2</sub> (2·1600) $\sum S_{н} = 3200$ кВА	2	531.05	511.43		
	4	140.01	258.27		
	5	264.86	332.78		
	9	670.57	765.63		
	14	271.19	221.80		
	13	177.18	106.38		
	15	28.79	30.60		
$Q_{НБК} = 737 \cdot 2 = 1474$ кВар			-1474		
Итого		2083.65	752.89	2215.5	0.69

### 3.7 Уточненный расчет электрических нагрузок 0,4 кВ

Посчитали потери мощности трансформаторов в цеху.

Потери активной мощности в трансформаторе определяются по данной формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} \cdot n + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 \cdot \frac{1}{n}, \text{ кВт.} \quad (16)$$

Потери реактивной мощности в трансформаторах определяются по формуле:

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{HT} \cdot n + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{HT} \cdot K_3^2 \cdot \frac{1}{n}, \text{ кВар.} \quad (17)$$

Расчет для ТП<sub>1</sub> :

$$\Delta P_T = 3.3 \cdot 2 + 16.5 \cdot 0.7^2 \cdot \frac{1}{2} = 10.64 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_T = \frac{1.3}{100} \cdot 1600 \cdot 2 + \frac{5.5}{100} \cdot 1600 \cdot 0.7^2 \cdot 0.5 = 63.16 \text{ кВар.}$$

Расчет для ТП<sub>2</sub>:

$$\Delta P_T = 3.3 \cdot 2 + 16.5 \cdot 0.69^2 \cdot \frac{1}{2} = 10.52 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_T = \frac{1.3}{100} \cdot 1600 \cdot 2 + \frac{5.5}{100} \cdot 1600 \cdot 0.69^2 \cdot 0.5 = 62.54 \text{ кВар.}$$

Суммарные потери в трансформаторах рассчитаны по формулам:

$$\sum \Delta P_{T.ТП} = n \cdot \Delta P_T, \text{ кВт,} \quad (18)$$

$$\sum \Delta Q_{T.ТП} = n \cdot \Delta Q_T, \text{ кВар.} \quad (19)$$

Расчет для ТП<sub>1</sub>:

$$\sum \Delta P_{T.ТП1} = 2 \cdot 10.64 = 21.28 \text{ кВт,}$$

$$\sum \Delta Q_{T.ТП1} = 2 \cdot 63.16 = 126.32 \text{ кВар.}$$

Расчет для ТП<sub>2</sub>:

$$\sum \Delta P_{T.ТП2} = 2 \cdot 10.52 = 21.04 \text{ кВт,}$$

$$\sum \Delta Q_{T.ТП2} = 2 \cdot 62.54 = 125.08 \text{ кВар.}$$



Полные потери в трансформаторных подстанциях высчитали по формулам:

$$\sum_1^2 \Delta P_{\text{т.ТП}} = \sum \Delta P_{\text{т.ТП1}} + \sum \Delta P_{\text{т.ТП2}}, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$\sum_1^2 \Delta Q_{\text{т.ТП}} = \sum \Delta Q_{\text{т.ТП1}} + \sum \Delta Q_{\text{т.ТП2}}, \text{ кВар},$$

$$\sum_1^2 \Delta P_{\text{т.ТП}} = 21,28 + 21,04 = 42,32 \text{ кВт},$$

$$\sum_1^2 \Delta Q_{\text{т.ТП}} = 126,32 + 125,08 = 251,4 \text{ кВар};$$

### 3.8 Расчет высоковольтных нагрузок

Определили расчетную мощность синхронных двигателей (СД), паспортные данные которого сведены в таблицу 8.

**Таблица 8 – Параметры выбранного синхронного двигателя**

Серия, номинальное напряжение двигателя и число двигателей к установке N	P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>з</sub>	cos φ	tan φ
СТД, 6 кВ, 4 шт	800	0,85	0,9	0,48

Расчетная активная мощность СД определяется по формуле:

$$P_{p.cд} = P_{н.cд} * K_з * N, \text{ кВт}, \quad (21)$$

$$P_{p.cд} = 800 \cdot 0.85 \cdot 4 = 2720 \text{ кВт}.$$

Расчетная реактивная мощность СД определяется по формуле:

$$Q_{p.cд} = P_{н.cд} * K_з * N * \text{tg}\varphi, \text{ кВар}, \quad (22)$$

$$Q_{p.cд} = 800 \cdot 0.85 \cdot 4 \cdot 0.48 = 1305.6 \text{ кВар}.$$

### 3.9 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов

Выстроили уравнение баланса реактивной мощности на шинах 6,6кВ.

$$Q_{вбк} = Q_{p0.4} + \sum \Delta Q_{т.тп} + Q_{рез} - Q_{э} - Q_{нбк} - Q_{сд}, \text{ кВар.} \quad (23)$$

Посчитали резервную мощность по формуле:

$$Q_{рез} = 0.1 \cdot (Q_{p0.4} + \sum \Delta Q_{т.тп}), \text{ кВар,} \quad (24)$$

$$Q_{рез} = 0.1 \cdot (4659.1 + 251.4) = 491.05 \text{ кВар.}$$

Выполнили расчет мощность энергосистемы по формуле:

$$Q_{э} = (0.23 - 0.25) \cdot (P_{p0.4} + \sum \Delta P_{т.тп} + P_{р.сд}), \text{ кВар,} \quad (25)$$

$$Q_{э} = 0.24 \cdot (4130.0 + 42.32 + 2720) = 1654.15 \text{ кВар.}$$

Из уравнения баланса реактивной мощности вывели  $Q_{вбк}$  :

$$Q_{вбк} = 4659.1 + 251.4 + 491.05 - 1654.15 - 2923.17 - 1305.6 = -481.37 \text{ кВар.}$$

Установка высоковольтных батарей конденсаторов по сути не требуется.

Расчет силовой нагрузки по деревообрабатывающему заводу, включая нагрузки, потери в трансформаторах ЦТП, расчетные мощности по компрессорной, приведены в таблице 1.9.

**Таблица 9 - Расчет уточненной мощности деревообрабатывающему комбинату**

№ТП, S <sub>нт</sub> , Q <sub>БК</sub> ТП	№ цеха	n	P <sub>n min</sub> - P <sub>n max</sub>	ΣP <sub>n</sub>	Ки	Средняя мощность		n <sub>э</sub>	K <sub>о</sub>	Расчетные мощности			K <sub>з</sub>
						P <sub>ср</sub> , кВт	Q <sub>ср</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
ТП <sub>1</sub> (2·1600) ΣS <sub>n</sub> = 3200	1	80	1-125	2500		1125	992,16						
	3	30	10-40	700		280	210,00						
	7	60	1-50	1100		330	247,50						
	12	50	1-30	900		315	277,80						
	10	10	1-20	100		30	30,61						
	6	50	1-70	1000		200	266,67						
	8	30	1-30	450		135	180,00						
	11	8	10-30	150		90	91,82						
Силовая		318	1-125	6900	0,35	2505	2296,56	111	0,9	2254,5	2296,56		
Освещение										165,099	77,7		
Q <sub>НБК</sub>											-1474		
Итого										2419,59	900,26	2581,65	0,8
ТП <sub>2</sub> (2·1600) ΣS <sub>n</sub> = 3200	2	50	10-80	950		570	502,69						
	4	100	1-40	1100		187	249,33						
	5	50	1-80	900		270	315,66						
	9	60	1-40	1700		850	749,63						
	14	40	1-80	480		288	216,00						
	13	50	1-40	340		170	82,33						
	15	30	1-20	150		30	30,61						
Силовая		380	1-80	5620	0,35	2365	2146,25	140	0,9	2128,5	2146,25		
Освещение										154,46	72,44		
Q <sub>НБК</sub>											-1474		
Итого										2282,96	744,69	2401,35	0,75

Продолжение таблицы 9

Итого на шинах 0,4кВ										4702,55	1644,95		
ΣΔPт, ΣΔQт										42,32	251,4		
Прив-я нагрузка к 6,3 кВ										4744,879	1896,35		
Компрессорная	11	4	800	3200						2720	-1305.6		
Итого по комбинату										7464,87	590,75	7488,2	

#### 4 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Питание может быть проведено от подстанции энергосистемы с мощностью 500МВА, на которую установлены параллельно работающие два трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/6.6 кВ. Мощность КЗ на стороне 115кВ равна 1200МВА. Расстояние от подстанции до комбината 3,5км.

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 6.3 кВ;

##### 4.1 I вариант, 115кВ

Выбираем расчетную мощность трансформаторов ГПП по формуле:

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{Q_3^2 + P_p^2}, \text{кВА}, \quad (26)$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{1654.15^2 + 7464.87^2} = 7645.94 \text{ кВА}.$$

$$S_{p.тр.ГПП} = \frac{S_{p.ГПП}}{2 \cdot 0,7}, \text{кВА}, \quad (27)$$

$$S_{p.тр.ГПП} = \frac{7645.94}{2 \cdot 0.7} = 5461.38 \text{ кВА}.$$

Исходя из выведенной расчетной мощности одного трансформатора, выбрали трансформатор ГПП марки: ТМН – 6300/110 – У1, паспортные данные которого сведены в таблицу 10.

**Таблица 10 – Паспортные данные выбранного трансформатора**

Тип	$S_{HT}$ , кВА	$U_{BH}$ , кВ	$U_{HH}$ , кВ	$\Delta P_{XX}$ , кВт	$\Delta P_{K3}$ , кВт	$U_{K3}$ , %	$I_x$ , %
ТМН – 6300/110 – У1	6300	110	6.6	6.5	35	10.5	0.5

Выполнили расчет коэффициента загрузки трансформаторов на ГПП:

$$K_3 = \frac{S_p}{S_{н.тр.ГПП}}, \quad (28)$$

$$K_3 = \frac{7645.94}{6300 \cdot 2} = 0.6.$$

Расчет потерь мощности в трансформаторах на ГПП:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} \cdot n + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 \cdot \frac{1}{n}, \text{ кВт}, \quad (29)$$

$$\Delta P_T = 6.5 \cdot 2 + 35 \cdot 0.6^2 \cdot 0.5 = 19.3 \text{ кВт}.$$

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{HT} \cdot n + \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{HT} \cdot K_3^2 \cdot \frac{1}{n}, \text{ кВар}, \quad (30)$$

$$\Delta Q_T = \frac{0.5}{100} \cdot 6300 \cdot 2 + \frac{35}{100} \cdot 6300 \cdot 0.6^2 \cdot 0.5 = 459.9 \text{ кВар};$$

Посчитали потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:  
При двухсменном режиме работы число часов включения  $T_{вкл}=4000$ ч и  
число часов использования максимума активной нагрузки  $T_m=4000$ ч

$$\Delta W_{тр.ГПП} = 2(\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2), \text{ Вт} \cdot \text{ч}, \quad (31)$$

где  $\tau = (0.124 + \frac{T_m}{10000})^2 \cdot 8760 = 2405.3$  ч- время максимальных потерь

$$\Delta W_{тр.ГПП} = 2(6.5 \cdot 4000 + 35 \cdot 2405.3 \cdot 0.6^2) = 112613.56 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Произвели расчет сечения, а также выбор сечения ЛЭП-115 кВ:

$$S_{лэп} = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + Q_3^2}, \text{ кВА}, \quad (32)$$

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(7464.87 + 19.3)^2 + 1654.15^2} = 7664.8 \text{ кВА};$$

Расчетный ток одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{U_H \cdot 2 \cdot \sqrt{3}}, \text{ А}, \quad (33)$$

$$I_p = \frac{7664.8}{115 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}} = 19.24 \text{ А}.$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме:

$$I_{p.a} = \frac{S_{\text{лэп}}}{U_H \cdot \sqrt{3}}, \text{ А}, \quad (34)$$

$$I_{p.a} = \frac{7664.8}{115 \cdot \sqrt{3}} = 38.48 \text{ А}.$$

Определили сечение проводника по экономической плотности тока:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{J_H}, \text{ мм}^2, \quad (35)$$

$$J_H = 1.1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} (T_{\text{max}} = 4000 \text{ ч}),$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{19.24}{1.1} = 17,49 \text{ мм}^2.$$

По условиям потерь на корону в ВЛ-110 кВ, минимально допустимое сечение неизолированного провода 70 мм<sup>2</sup>. Выбрали неизолированный провод марки АС – 70/11. Параметры выбранного проводника выведены в таблице 11.

**Таблица 11 – Характеристики выбранного нами неизолированного провода**

Сечение, мм <sup>2</sup>	Эл-ое сопротивление при 20 <sup>0</sup> С R <sub>0</sub> , Ом/км	Эл-ое сопротивление при 20 <sup>0</sup> С X <sub>0</sub> , Ом/км	Длительно допустимый ток нагрузки при 25 <sup>0</sup> С I <sub>доп</sub> , А
70/11	0.428	0.444	265



Провели выверку выбранного проводника по условиям длительно допустимой токовой нагрузке по нагреву и по перегрузочной способности.

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (36)$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} \geq I_{p.a}, \quad (37)$$

$$19.24 \text{ A} \leq 265 \text{ A},$$

$$1.3 \cdot 265 \text{ A} \geq 38.48 \text{ A}.$$

Определили потери электроэнергии в ЛЭП-115 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2 \cdot (3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau), \text{ Вт} \cdot \text{ч}, \quad (38)$$

где  $R$  – активное сопротивление линии

$$R = r_0 \cdot l, \text{ Ом}, \quad (39)$$

$$R = 0.428 \cdot 3.5 = 1.49 \text{ Ом},$$

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2 \cdot (3 \cdot 19.24^2 \cdot 1.49 \cdot 10^{-3} \cdot 2405.3) = 7960 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Определили суммарные потери электроэнергии по I варианту электроснабжения ГПП:

$$\Sigma \Delta W = \Delta W_{\text{тр.ГПП}} + \Delta W_{\text{лэп}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (40)$$

$$\Sigma \Delta W = 112613.56 + 7960 = 120573.5 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

**Расчёт тока короткого замыкания.**

$$S_{\text{кз}} = 1200 \text{ МВА};$$

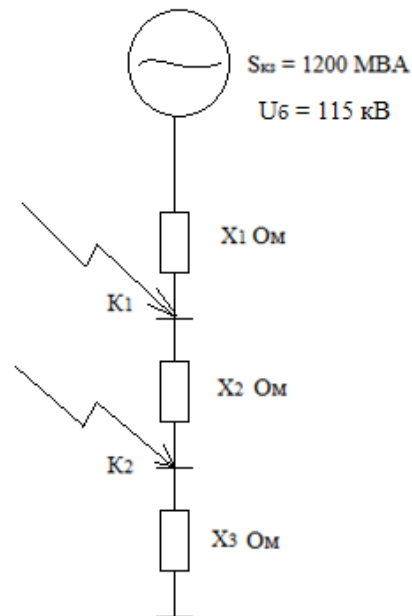
$$S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_{\text{б}} = 115 \text{ кВ}.$$

Базисный ток:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}} \cdot \sqrt{3}}, \text{ кА}, \quad (41)$$

$$I_6 = \frac{1000}{115 \cdot \sqrt{3}} = 5.02 \text{ кА.}$$



**Рисунок 3 - Схема замещения электроснабжения ГПП**

Определили индуктивные сопротивления схемы. Расчёт вели в относительных единицах.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{S_6}{S_{кз}}, \quad (42)$$

$$X_c = X_1 = \frac{1000}{1200} = 0.83 \text{ О.}$$

Сопротивление ЛЭП:

$$X_{лэп} = X_2 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (43)$$

$$X_{лэп} = X_2 = 0.444 \cdot 3.5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.117$$

Взяли ударный коэффициент равным за  $k_y = 1.8$ .

Произвели расчёт действующего значения тока КЗ в точке  $K_1$ :

$$I_{к1} = \frac{I_6}{X_1}, \text{ кА}, \quad (44)$$

$$I_{к1} = \frac{5.02}{0.83} = 6.05 \text{ кА};$$

Ударный ток для точки К1 составит:

$$i_{y1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1}, \text{ кА}, \quad (45)$$

$$i_{y1} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6.05 = 15.4 \text{ кА}.$$

Произвели расчет действующего значения тока КЗ в точке К<sub>2</sub> :

$$I_{к2} = \frac{I_6}{X_1 + X_2}, \text{ кА}, \quad (46)$$

$$I_{к2} = \frac{5.02}{0.83 + 0.117} = 5.3 \text{ кА}.$$

Ударный ток для точки К2 исходя из формулы (44):

$$i_{y2} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 5.3 = 13.49 \text{ кА}.$$

**Выбор высоковольтных аппаратов**

Выбираем выключатели QF1, QF2:

К установке берём воздушные выключатели типа ВВУ – 110Б – 40/2000У1.

Предварительный расчет расчетного времени  $\tau$ :

$$\tau = t_{\min} + t_{с.в}, \text{ с}, \quad (47)$$

$$\tau = 0.01 + 0.06 = 0.07 \text{ с}.$$

Отсюда получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{п.\tau} = I_{к1}$ .

Произвели расчет аperiodической составляющей тока короткого замыкания:

$$i_{а.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{кз} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \text{ кА}, \quad (48)$$

$$i_{а.\tau} = \sqrt{2} \cdot 6.05 \cdot e^{-\frac{0.07}{0.02}} = 0.26 \text{ кА}.$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателю апериодическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$ :

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{ном}}{100} \cdot I_{отк}, \text{ кА}, \quad (49)$$

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{23}{100} \cdot 40 = 13.01 \text{ кА}.$$

Определили время отключения выключателя ВВУ – 110Б – 40/2000У1:

$$t_{отк} = t_{р.з} + t_{о.в}, \text{ с}, \quad (50)$$

$$t_{отк} = 0.5 + 0.08 = 0.58 \text{ с}.$$

Расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания:

$$B_k = I_{кз}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (51)$$

$$B_k = 6.05^2 \cdot (0.58 + 0.02) = 21,96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

**Таблица 12-Условия выбора выключателей типа ВВУ – 110Б – 40/2000У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 110 \div 126 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 115 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	$I_{р.а} = 38.48 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{р.а}$
$I_{отк} = 40 \text{ кА}$	$I_{п.т} = 6.05 \text{ кА}$	$I_{отк} \geq I_{п.т}$
$i_{a.ном} = 13,01 \text{ кА}$	$i_{a.т} = 0.26 \text{ кА}$	$i_{a.ном} \geq i_{a.т}$
$I_{пр.скв} = 40 \text{ кА}$	$I_{к1} = 6.05 \text{ кА}$	$I_{пр.скв} \geq I_{к1}$
$i_{пр.скв} = 102 \text{ кА}$	$i_{y1} = 15.4 \text{ кА}$	$i_{пр.скв} \geq i_{y1}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 21.96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выбираем разъединители в однополюсном исполнении серии РНД(3) №1 и №2:

К установке принимаем разъединители в однополюсном исполнении типа: РНД31а-110/1000У1.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{отк} = 0.5 + 0.5 = 1 \text{ с}.$$

Произвели расчет теплового импульса используя формулу (51), выделяемого током короткого замыкания:

$$B_k = 6.05^2 \cdot (1 + 0.02) = 37.62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 13-Условия выбора разъединителей типа РНД31а-110/1000У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 110 \div 126 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 31.5 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 80 \text{ кА}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 31.5^2 \cdot 3 = 2976.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 115 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 38.48 \text{ А}$ $I_{\text{к1}} = 6.05 \text{ кА}$ $i_{\text{у1}} = 15.4 \text{ кА}$ $B_k = 37.62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Выбираем однополюсные разъединители серии РНД(З) №3 и №4  
 К установке утверждаем разъединители в однополюсном исполнении типа: РНД31а-110/1000У1.

С помощью формулы (50) определили время отключения:

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.5 = 0.6 \text{ с.}$$

Произвели подсчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 5.3^2 \cdot (0.6 + 0.02) = 17.41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 14-Условия выбора разъединителей типа РНД31а-110/1000У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 110 \div 126 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 31.5 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 80 \text{ кА}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 31.5^2 \cdot 3 = 2976.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 115 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 38.48 \text{ А}$ $I_{\text{к2}} = 5.3 \text{ кА}$ $i_{\text{у2}} = 13.49 \text{ кА}$ $B_k = 17.41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Выбираем отделители однополюсного исполнения №1 и №2

К установке принимаем отделители однополюсного исполнения типа: ОД- 110Б/1000У1.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{отк} = 0.1 + 0.4 = 0.5 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, который выделяется током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 5.3^2 \cdot (0.5 + 0.02) = 14.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 15-Условия для выбора отделителей типа ОД - 110/1000УХЛ1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 110 \div 126 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $I_{пр.скв} = 31.5 \text{ кА}$ $i_{пр.скв} = 80 \text{ кА}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 31.5^2 \cdot 3 = 2976.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{уст} = 115 \text{ кВ}$ $I_{р.а} = 38.48 \text{ А}$ $I_{к2} = 5.3 \text{ кА}$ $i_{у2} = 13.49 \text{ кА}$ $B_k = 14.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{р.а}$ $I_{пр.скв} \geq I_{к1}$ $i_{пр.скв} \geq i_{у1}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выбираем короткозамыкатели однополюсного исполнения №1 и №2.

К установке принимаем данные короткозамыкатели однополюсного исполнения типа: КЗ-110Б-У1.

Определили время отключения по формуле (49):

$$t_{отк} = 0.1 + 0.18 = 0.28 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, который выделяют ток КЗ по формуле (50):

$$B_k = 5.3^2 \cdot (0.28 + 0.02) = 8.43 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 16-Условия выбора отделителя типа КЗ-110Б-У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 110 \div 126 \text{ кВ}$ $I_{\text{пр.скв}} = 12.5 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.скв}} = 32 \text{ кА}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} = 12.5^2 \cdot 3 = 468.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 115 \text{ кВ}$ $I_{\text{к2}} = 5.3 \text{ кА}$ $i_{\text{у2}} = 13.49 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 8.43 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{пр.скв}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.скв}} \geq i_{\text{у1}}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}}$

Выбрали вентильные разрядники FV1 и FV2.

К установке принимаем вентильные разрядники, класса напряжения 132 кВ : PBC-132MT1.

**Таблица 17-Условия выбора вентильных разрядников типа PBC-132MT1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 119.7 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 115 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$

Выбрали заземлители в однополюсном исполнении №1 и №2

К установке принимаем заземлители в однополюсном исполнении типа: ЗОН-110М-I УХЛ1.

**Таблица 18-Условия выбора заземлителей типа ЗОН-110М-I УХЛ1.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 110 \div 126 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 115 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$

## 4.2 II вариант, 37кВ

На подстанцию энергосистемы выбираем к установке трансформаторы марки ТДТН-40000/110-У1. Паспортные данные данного трансформатора выведены в таблице 19.

**Таблица 19 – Паспортные данные трансформатора подстанции энергосистемы**

Тип	$S_{HT}$ , кВА	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{СН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$\Delta P_{ХХ}$ , кВт	$\Delta P_{КЗ}$ , кВт	$U_{КЗ}$ , ВН-СН %	$I_x$ , %
ТДТН- 40000/110-У1	40000	115	37	6.3	30	200	10.5	0.23

Выбрали трансформаторы марки ТМН-6300/35-У1, паспортные данные которого сведены в таблицу 20.

**Таблица 20 – паспортные данные трансформаторов ГПП**

Тип	$S_{HT}$ , кВА	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$\Delta P_{ХХ}$ , кВт	$\Delta P_{КЗ}$ , кВт	$U_{КЗ}$ , %	$I_x$ , %
ТМН-6300/35-У1	6300	37	6.3	8	46.5	7.5	0.8

Произвели расчет коэффициента загрузки трансформаторов ГПП используя формулу (28):

$$K_3 = \frac{7645.94}{6300 \cdot 2} = 0.6.$$

Расчет потерь мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_T = 8 \cdot 2 + 46.5 \cdot 0.6^2 \cdot 0.5 = 24.37 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = \frac{0.8}{100} \cdot 6300 \cdot 2 + \frac{7.5}{100} \cdot 6300 \cdot 0.6^2 \cdot 0.5 = 185.85 \text{ кВар}.$$

По формуле (38) нашли потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{тр.ГПП} = 2(8 \cdot 4000 + 46.5 \cdot 2405.3 \cdot 0.6^2) = 144529.4 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$



Произвели расчет и выбор сечения ЛЭП-37 кВ: По формуле (38).

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(7464.87 + 24.37)^2 + 1654.15^2} = 7669.7 \text{ кВА.}$$

Найдем  $\gamma_1$ -коэффициент долевого участия проектируемого завода в мощности трансформаторов энергосистемы:

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{лэп}}}{2 \cdot S_{\text{нт.подстанций}}}, \quad (52)$$

$$\gamma_1 = \frac{7669.7}{2 \cdot 40000} = 9.58\%.$$

Долевым участием в потерях  $\Delta P$  и  $\Delta Q$  в трансформаторах энергосистемы пренебрегаем.

Расчетный ток одной линии рассчитаем по формуле (33):

$$I_p = \frac{7669.7}{37 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}} = 59.9 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме по формуле (34):

$$I_{p.a} = \frac{7669.7}{37 \cdot \sqrt{3}} = 119.9 \text{ А.}$$

Определили сечение проводника по экономической плотности тока по формуле (35):

$$J_n = 1,1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} (T_{\text{max}} = 4000 \text{ ч}),$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{59.9}{1,1} = 54.4 \text{ мм}^2.$$

Был взят неизолированный провод марки АС – 70/11.

Провели сверку взятого проводника по положению длительно допустимой токовой нагрузке по нагреву и по перегрузочной способности ( в двух режимах : послеаварийном и ремонтном при отключении одной из питающих линий ). Исходя из неравенств (36) и (37)

$$59.9 \text{ А} \leq 265 \text{ А,}$$

$$1,3 \cdot 265 \text{ А} \geq 119.9 \text{ А.}$$

Нашли потери электроэнергии в ЛЭП-37 кВ по формуле (33):

$$R = 0.428 \cdot 3.5 = 1.49 \text{ Ом,}$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \cdot (3 \cdot 59.9^2 \cdot 1.49 \cdot 10^{-3} \cdot 2405.3) = 77154.3 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

Определили суммарные потери электроэнергии по I варианту электроснабжения ГПП по формуле (40):

$$\Sigma \Delta W = 144529.4 + 77154.3 = 221683.7 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

Выбор оборудования

Провели расчет тока короткого замыкания

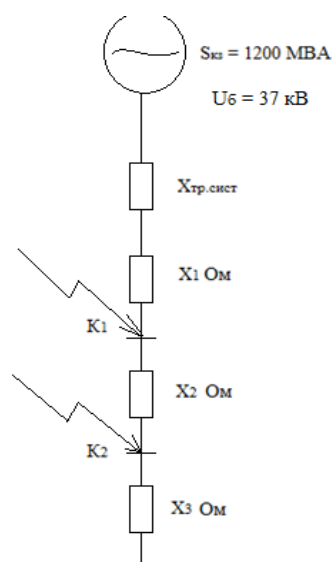
$$S_{\text{кз}} = 1200 \text{ МВА;}$$

$$S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА;}$$

$$U_{\text{б}} = 37 \text{ кВ;}$$

Базисный ток рассчитываем по формуле (41):

$$I_{\text{б}} = \frac{1000}{37 \cdot \sqrt{3}} = 15.6 \text{ кА.}$$



**Рисунок 4 - Схема замещения электроснабжения ГПП**

Выяснили реактивные сопротивления схемы.

Сопротивление системы по формуле (42):

$$X_c = X_1 = \frac{1000}{1200} = 0.83 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{тр.сист}} = \frac{10.5 \cdot 1000}{100 \cdot 40} = 2.6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление ЛЭП по формуле (43) :

$$X_{\text{лэп}} = X_2 = 0.444 \cdot 3.5 \cdot \frac{1000}{37^2} = 1.13 \text{ Ом.}$$

По формуле (44) произвели расчет действующего значения тока КЗ в точке К<sub>1</sub>:

$$I_{\text{к1}} = \frac{15.6}{0.83 + 2.6} = 7.2 \text{ кА.}$$

Ударный ток по формуле (45) для точки К<sub>1</sub> составит:

$$i_{\text{y1}} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7.2 = 18.3 \text{ кА.}$$

Произвели расчет действующего значения тока КЗ в точке К<sub>2</sub> по формуле (46):

$$I_{\text{к2}} = \frac{15.6}{0.83 + 2.6 + 1.13} = 3.42 \text{ кА.}$$

Ударный ток по формуле (45) для точки К<sub>2</sub> составит:

$$i_{\text{y2}} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 3.42 = 8.7 \text{ кА.}$$

Выбор высоковольтных аппаратов

Выбираем выключатели QF1, QF2:

К установке принимаем воздушные выключатели типа ВВУ – 35А – 40/2000У1.

Подготовительный расчет расчетного времени  $\tau$  используя формулу (3.25):

$$\tau = 0.01 + 0.05 = 0.06 \text{ с.}$$

Получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{\text{п.}\tau} = I_{\text{к1}}$ .

Произвели расчет апериодической составляющей тока короткого замыкания по формуле (48):

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 7.2 \cdot e^{-\frac{0.06}{0.02}} = 0.5 \text{ кА.}$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателю апериодическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$  опираясь на формулу (49):

$$i_{a.\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{30}{100} \cdot 40 = 16.97 \text{ кА.}$$

Определили время отключения выключателя ВВУ – 35А – 40/2000У1 по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.07 = 0.17 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 7.2^2 \cdot (0.17 + 0.02) = 9.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 21-Условия выбора выключателей типа ВВУ – 35А – 40/2000У1**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 35 \div 40.5 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 37 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$
$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$	$I_{p.a} = 119.9 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} \geq I_{p.a}$
$I_{\text{отк}} = 40 \text{ кА}$	$I_{п.\tau} = 7.2 \text{ кА}$	$I_{\text{отк}} \geq I_{п.\tau}$
$i_{a.\text{ном}} = 16,97 \text{ кА}$	$i_{a.\tau} = 0.5 \text{ кА}$	$i_{a.\text{ном}} \geq i_{a.\tau}$
$I_{\text{пр.скв}} = 40 \text{ кА}$	$I_{к1} = 7.2 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.скв}} \geq I_{к1}$
$i_{\text{пр.скв}} = 102 \text{ кА}$	$i_{y1} = 18.3 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.скв}} \geq i_{y1}$
$I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 9.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Выбираем разъединители в однополюсном исполнении серии РНД(3) №1 и №2 :

К установке принимаем разъединители в однополюсном исполнении типа: РНД3-1а-35/1000У1.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.5 = 0.6 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51)

$$B_k = 7.2^2 \cdot (0.6 + 0.02) = 32.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 22-Условия выбора разъединителя типа РНДЗ-1а-35/1000У1.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 35 \div 40.5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 25 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 63 \text{ кА}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 37 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 119.9 \text{ А}$ $I_{\text{к1}} = 7.2 \text{ кА}$ $i_{\text{у1}} = 18.3 \text{ кА}$ $B_k = 32.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Выбираем разъединители в однополюсном исполнении серии РНД(З) №3 и №4

К установке принимаем разъединители в однополюсном исполнении типа: РНДЗ-1а-35/1000У1.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.5 = 0.6 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 3.42^2 \cdot (0.6 + 0.02) = 7.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 23-Условия выбора разъединителя типа РНДЗ-1а-35/1000У1.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 35 \div 40.5 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 25 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 63 \text{ кА}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 37 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 119.9 \text{ А}$ $I_{\text{к2}} = 3.42 \text{ кА}$ $i_{\text{у2}} = 8.7 \text{ кА}$ $B_k = 7.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Выбираем отделители однополюсного исполнения №1 и №2

К установке принимаем отделители однополюсного исполнения типа: ОД- 35/630У1.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{отк} = 0.1 + 0.45 = 0.55 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса по формуле (51), выделяемого током короткого замыкания:

$$B_k = 3.42^2 \cdot (0.55 + 0.02) = 6.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 24-Условия выбора отделителя типа ОД- 35/630У1.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 35 \div 40,5 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 630 \text{ А}$ $I_{пр.скв} = 12.5 \text{ кА}$ $i_{пр.скв} = 80 \text{ кА}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 12.5^2 \cdot 4 = 625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{уст} = 37 \text{ кВ}$ $I_{р.а} = 119.9 \text{ А}$ $I_{к2} = 3.42 \text{ кА}$ $i_{y2} = 8.7 \text{ кА}$ $B_k = 6.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{р.а}$ $I_{пр.скв} \geq I_{к1}$ $i_{пр.скв} \geq i_{y1}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выбираем короткозамыкатели однополюсного исполнения №1 и №2

К установке принимаем короткозамыкатели однополюсного исполнения типа: КРН- 35У1.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{отк} = 0.1 + 0.18 = 0.28 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 3.42^2 \cdot (0.28 + 0.02) = 3.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 25-Условия выбора отделителя типа КРН- 35У1.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 35 \div 40.5 \text{ кВ}$ $I_{пр.скв} = 16.5 \text{ кА}$ $i_{пр.скв} = 42 \text{ кА}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 12.5^2 \cdot 4 = 625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{уст} = 37 \text{ кВ}$ $I_{к2} = 3.42 \text{ кА}$ $i_{y2} = 8.7 \text{ кА}$ $B_k = 3.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{пр.скв} \geq I_{к1}$ $i_{пр.скв} \geq i_{y1}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выбрали вентильные разрядники FV1 и FV2.

К установке принимаем вентильные разрядники, класса напряжения 35 кВ : РВС-35Т1.

**Таблица 26-Условия выбора вентильных разрядников типа РВС-35Т1.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 45 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 37 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$

Выбрали заземлители в однополюсном исполнении №1 и №2  
К установке принимаем заземлители в однополюсном исполнении типа: ЗР -35НУЗ(НТЗ).

**Таблица 27-Условия выбора заземлителей типа ЗР -35НУЗ(НТЗ).**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 35 \div 40.5 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 37 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$

### 4.3 III вариант, 6,3кВ

**Таблица 28 – паспортные данные выбранного трансформатора подстанции энергосистемы**

Тип	$S_{\text{нт}}$ , кВА	ВН, кВ	СН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{\text{хх}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$ , кВт	$U_{\text{кз}}$ , ВН-НН %	$I_{\text{x}}$ , %
ТДТН- 40000/110-У1	40000	115	37	6.3	30	200	17.5	0.23

Произвели расчет и выбор сечения ЛЭП – 6.3 кВ по формуле (32):

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{7464.87^2 + 1654.15^2} = 7645.9 \text{ кВА.}$$

По формуле (33) нашли расчетный ток одной линии:

$$I_p = \frac{7645.9}{6.3 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}} = 350.3 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме по формуле (34):

$$I_{p.a} = \frac{7645.9}{6.3 \cdot \sqrt{3}} = 700.7 \text{ A.}$$

Определили сечение проводника по экономической плотности тока по формуле (35):

$$J_n = 1,1 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2} (T_{\max} = 4000 \text{ ч}),$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{350.3}{1,1} = 318.4 \text{ мм}^2.$$

Был выбран неизолированный провод марки АС– 330/30. Параметры выбранного проводника выведены в таблице 2.6.

**Таблица 28 – Характеристики выбранного неизолированного провода**

Сечение, мм <sup>2</sup>	Эл-ое сопротивление при 20 <sup>0</sup> С X <sub>0</sub> , Ом/км	Эл-ое сопротивление при 20 <sup>0</sup> С R <sub>0</sub> , Ом/км	Длительно допустимый ток нагрузки при 25 <sup>0</sup> С I <sub>доп</sub> , А
334.77	0.0861	0.088	730

Проверка выбранного проводника по условиям длительно допустимой токовой нагрузке по нагреву и по перегрузочной способности по неравенствам (36) и (37)

$$350.3 \text{ A} \leq 730 \text{ A},$$

$$1,3 \cdot 730 \text{ A} \geq 700.7 \text{ A}.$$

Определили потери электроэнергии в ЛЭП-6.6 кВ:

$$R = 0.088 \cdot 3.5 = 0.308 \text{ Ом},$$

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2 \cdot (3 \cdot 350.3^2 \cdot 0.308 \cdot 10^{-3} \cdot 2405.3) = 539637.7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Выбор оборудования.

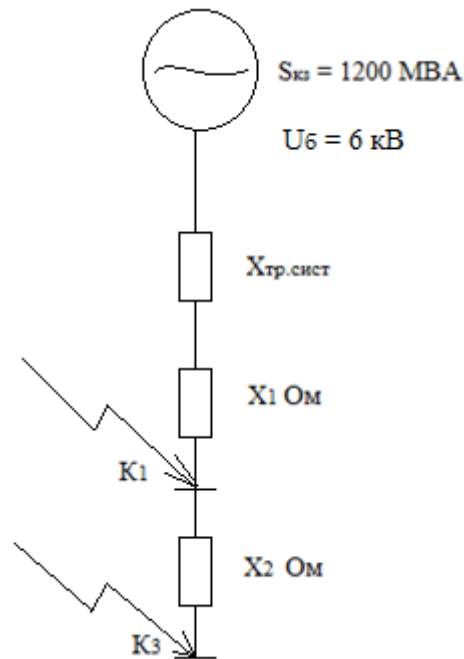
Произвели расчет тока короткого замыкания



$$S_{кз} = 1200 \text{ МВА};$$

$$S_{\delta} = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_{\delta} = 6.3 \text{ кВ};$$



**Рисунок 6-Схема замещения электроснабжения ГПП**

Базисный ток по формуле (41):

$$I_{\delta} = \frac{1000}{6.3 \cdot \sqrt{3}} = 91.64 \text{ кА.}$$

Определили индуктивные сопротивления схемы.

Сопротивление системы по формулам (42) и (43):

$$X_c = X_1 = \frac{1000}{1200} = 0.83 ,$$

$$X_{\text{тр.сист}} = \frac{17.5 \cdot 1000}{100 \cdot 40000} = 4.4$$

Сопротивление ЛЭП используя формулу (43):

$$X_{\text{лэп}} = X_2 = 0.086 \cdot 3.5 \cdot \frac{1000}{6.3^2} = 7.58$$

Суммарное значение индуктивного сопротивления по формуле (44):

$$\Sigma X = 0.83 + 4.4 + 7.58 = 12.81 \text{ Ом.}$$

Приняли ударный коэффициент равным  $k_y = 1.8$ .

Произвели расчет действующего значения тока КЗ в точке К1 по формуле (45):

$$I_{K1} = \frac{91.64}{0.83 + 4.4} = 17.5 \text{ кА,}$$

$$I_{K2} = \frac{91.64}{12.81} = 7.1 \text{ кА.}$$

Ударный ток для точки К1 по формуле (46) составит:

$$i_{y1} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 17.5 = 44.54 \text{ кА.}$$

Выбор высоковольтных аппаратов

Выбираем выключатели QF1, QF2:

К установке принимаем воздушные выключатели типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.

Предварительный расчет расчетного времени  $\tau$  по формуле (47):

$$\tau = 0.01 + 0.075 = 0.085 \text{ с.}$$

Получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{п.\tau} = I_{K1}$ .

Произвели расчет аperiodической составляющей тока короткого замыкания по формуле (48):

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 17.5 \cdot e^{-\frac{0.085}{0.02}} = 0.35 \text{ кА.}$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателю аperiodическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$  по формуле (49):

$$i_{a.\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \cdot 40 = 11,3 \text{ кА.}$$

Определили время отключения выключателя ВЭ – 6 – 40/1600УЗ по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.075 = 0.175 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 17.5^2 \cdot (0.175 + 0.02) = 59.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 29-Условия выбора выключателей типа ВЭ – 6 – 40/1600У3**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 6 \div 7.2 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А}$ $I_{\text{отк}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,3 \text{ кА}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 128 \text{ кА}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6.3 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 696.86 \text{ А}$ $I_{\text{п.т}} = 17.5 \text{ кА}$ $i_{\text{а.т}} = 0.35 \text{ кА}$ $I_{\text{к1}} = 17.5 \text{ кА}$ $i_{\text{у1}} = 44.54 \text{ кА}$ $B_k = 59.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{отк}} \geq I_{\text{п.т}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{а.т}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Выбираем разъединители в однополюсном исполнении №1 и №2 :

К установке принимаем разъединители в однополюсном исполнении типа: РВРЗ-10/2500У3.

Определили время отключения по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.5 = 0.6 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 17.5^2 \cdot (0.6 + 0.02) = 189.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 30-Условия выбора разъединители типа РВРЗ-10/2500У3.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 10 \div 12 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 2500 \text{ А}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 45 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 125 \text{ кА}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 45^2 \cdot 4 = 8100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6.3 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 696.86 \text{ А}$ $I_{\text{к1}} = 17.5 \text{ кА}$ $i_{\text{у1}} = 44.54 \text{ кА}$ $B_k = 189.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

Согласно проделанным расчетам вариант передачи электроэнергии на напряжении 115 кВ, то есть I вариант, является самым выгодным для нас так как потери в ЛЭП меньше, чем при передаче электроэнергии на напряжении 37 кВ и 6.3 кВ. .

**Таблица 31 – Расчетные данные потерь электроэнергии**

Вариант электроснабжения	Напряжение, кВ	Суммарные потери эл/энер. $\sum \Delta W$ , кВт · ч	Сечение провода, мм <sup>2</sup>
I	115	120.57	70/11
II	37	221.68	70/11
III	6.3	539.63	330/30

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

### 5.1 Расчет токов короткого замыкания на шинах ГПП

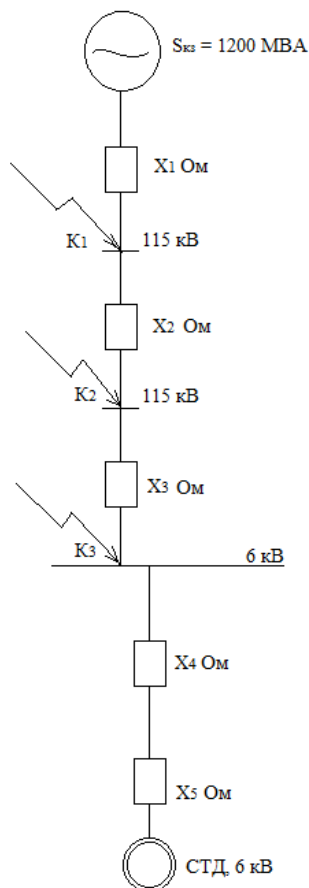


Рисунок 7 - Схема замещения электроснабжения ГПП с учетом подпитки от СД

Провели расчет токов короткого замыкания

$$S_{кз} = 1200 \text{ МВА};$$

$$S_6 = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_6 = 6.3 \text{ кВ};$$

Базисный ток по формуле (38):

$$I_6 = \frac{1000}{6.3 \cdot \sqrt{3}} = 91.64 \text{ кА}.$$

Высинили индуктивные сопротивления схемы.

Сопротивление системы и трансформатора подстанции энергосистемы по формулам (39) и (40):

$$X_c = X_1 = \frac{1000}{1200} = 0.83 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{тр.сист}} = \frac{17.5 \cdot 1000}{100 \cdot 40000} = 4.4 \text{ Ом.}$$

Сопротивление ЛЭП по формуле (41):

$$X_{\text{лэп}} = X_2 = 0.086 \cdot 3.5 \cdot \frac{1000}{6.3^2} = 7.58 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора ГПП по формуле (42):

$$X_{\text{тр}} = X_3 = \frac{10.5 \cdot 1000}{100 \cdot 6300} = 16.6 \text{ Ом.}$$

Номинальная мощность двигателей равна:

$$S_{\text{н.сд}} = \frac{P_{\text{н.сд}}}{\cos \varphi}, \text{ кВА,} \quad (53)$$

$$S_{\text{н.сд}} = \frac{800}{0.9} = 1000 \text{ кВА.}$$

Сопротивление двигателей:

$$X_{\text{сд}} = X_{0.\text{сд}} \cdot \frac{S_6}{\sum S_{\text{н.сд}}}, \text{ Ом,} \quad (54)$$

$$X_{\text{сд}} = 0.2 \cdot \frac{1000}{4 \cdot 1000} = 50 \text{ Ом.}$$

Найдем ток синхронных двигателей:

$$I_{\text{н.сд}} = \frac{S_{\text{н.сд}} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \text{ А,} \quad (55)$$

$$I_{н.сд} = \frac{1000 \cdot 0.85}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 77.9 \text{ A.}$$

По току  $I_{сд}$  выбираем кабель

Остановили свой выбор на кабель к СД марки: ААШВ-6(3×35) по неравенству (36):

$$I_{доп} \geq I_{н.сд},$$

$$85 \text{ A} \geq 77.9 \text{ A.}$$

Произвели сверку по экономической плотности тока, при  $J_H = 1.4 \text{ A/мм}^2$  по формуле (35):

$$F_{эк} = \frac{77.9}{1.4} = 55.6 \text{ мм}^2.$$

Окончательно выбираем кабель ААШВ-6(3×70) с длительно допустимым током  $I_{доп} = 135 \text{ A}$ .

Удельные сопротивления для данного кабеля:

$$X_0 = 0.08 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

Произвели расчет сопротивления кабеля:

$$X_{каб} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n \cdot U_6^2}, \text{ Ом.} \quad (29)$$

Где  $l = 189 \text{ м}$ ,

$$X_{каб} = 0.08 \cdot 0.189 \cdot \frac{1000}{4 \cdot 6.3^2} = 0.095 \text{ Ом.}$$

Ток КЗ с учетом подпитки от двигателя:

$$I_{КСД} = \frac{91.64}{50} = 1.83 \text{ kA.}$$

Произвели расчет эквивалентного реактивного сопротивления схемы замещения  $X_{экр}$ :

$$X_{\text{ЭКВ}} = \frac{(X_{\text{с}} + X_{\text{тр.сист}} + X_{\text{лэп}} + X_{\text{тр}}) \cdot (X_{\text{каб}} + X_{\text{сд}})}{X_{\text{с}} + X_{\text{тр.сист}} + X_{\text{лэп}} + X_{\text{тр}} + X_{\text{каб}} + X_{\text{сд}}}, \text{ Ом}, \quad (55)$$

$$X_{\text{ЭКВ}} = \frac{(0.83 + 4.4 + 7.58 + 16.6) \cdot (0.095 + 50)}{0.83 + 4.4 + 7.58 + 16.6 + 0.095 + 50} = 18.5 \text{ Ом}.$$

Произвели расчет действующего значения тока КЗ в точке К<sub>3</sub>

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{б}}}{X_{\text{ЭКВ}}}, \text{ кА}, \quad (56)$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{91.64}{18.5} = 4.9 \text{ кА};$$

Ударный ток для точки К<sub>3</sub> по формуле (3.20) составит:

$$i_{\text{уз}} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4.9 = 12.5 \text{ кА};$$

## 5.2 Выбор оборудования на стороне 6,3 кВ

Выбираем выключатели QF3, QF4 и секционный выключатель QF5:

К установке признаем воздушные выключатели типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.

Предварительный расчет расчетного времени  $\tau$  по формуле (47):

$$\tau = 0.01 + 0.075 = 0.085 \text{ с}.$$

Получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{\text{п.т}} = I_{\text{к1}}$ . Произвели расчет апериодической составляющей тока короткого замыкания по формуле (48):

$$i_{\text{а.т}} = \sqrt{2} \cdot 4.9 \cdot e^{-\frac{0.085}{0.02}} = 0.098 \text{ кА}.$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателю апериодическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$  по формуле (49):

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \cdot 40 = 11,3 \text{ кА}.$$

Определили время отключения выключателя ВЭ – 6 – 40/1600УЗ по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.075 = 0.175 \text{ с}.$$



Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 4.9^2 \cdot (0.175 + 0.02) = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 32-Условия выбора выключателей типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 6 \div 7.2 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А}$ $I_{\text{ОТК}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,3 \text{ кА}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 128 \text{ кА}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6.3 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 696.86 \text{ А}$ $I_{\text{п.т}} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{\text{а.т}} = 0.098 \text{ кА}$ $I_{\text{кз}} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{\text{уз}} = 12.5 \text{ кА}$ $B_k = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{ОТК}} \geq I_{\text{п.т}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{а.т}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

### 5.3 Выбор оборудования на отходящих линиях

Выбор выключателей

Выбираем выключатели к ТП1, QF6:

Определили расчетную мощность, передаваемую по выключателю QF6:

$$S_{\text{р.ТП1}} = \sqrt{(P_{\text{р.ТП1}} + \sum \Delta P_{\text{т.ТП1}})^2 + (Q_{\text{р.ТП1}} + \sum \Delta Q_{\text{т.ТП1}})^2}, \text{ кВА}, \quad (57)$$

$$S_{\text{р.ТП1}} = \sqrt{(2419.59 + 21.28)^2 + (900.26 + 126.32)^2} = 2647.9 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток одной линии по формуле (33):

$$I_p = \frac{2647.9}{2 \cdot 6.3 \cdot \sqrt{3}} = 121.3 \text{ А.}$$

Аварийный ток рассчитывается по формуле (34):

$$I_{\text{р.а}} = I_p \cdot 2 = 242.6 \text{ А.}$$

К установке принимаем воздушные выключатели типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.

Предварительный расчет расчетного времени  $\tau$  по формуле (47):

$$\tau = 0.01 + 0.075 = 0.085 \text{ с.}$$

Получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{п.т} = I_{кз}$ .

Произвели расчет аperiodической составляющей тока короткого замыкания по формуле (48) :

$$i_{а.т} = \sqrt{2} \cdot 4.9 \cdot e^{-\frac{0.085}{0.02}} = 0.098 \text{ кА.}$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателям аperiodическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$  по формуле (49) :

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \cdot 40 = 11,3 \text{ кА.}$$

Определили время отключения выключателя ВЭ – 6 – 40/1600УЗ по формуле (50):

$$t_{отк} = 0.1 + 0.075 = 0.175 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 4.9^2 \cdot (0.175 + 0.02) = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 33-Условия выбора выключателей типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 6 \div 7.2 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1600 \text{ А}$ $I_{отк} = 40 \text{ кА}$ $i_{а.ном} = 11,3 \text{ кА}$ $I_{пр.скв} = 40 \text{ кА}$ $i_{пр.скв} = 128 \text{ кА}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{уст} = 6.3 \text{ кВ}$ $I_{р.а} = 242.6 \text{ А}$ $I_{п.т} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{а.т} = 0.098 \text{ кА}$ $I_{кз} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{уз} = 12.5 \text{ кА}$ $B_k = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{р.а}$ $I_{отк} \geq I_{п.т}$ $i_{а.ном} \geq i_{а.т}$ $I_{пр.скв} \geq I_{к1}$ $i_{пр.скв} \geq i_{y1}$ $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выбираем выключатели к ТП2, QF7:

Определили расчетную мощность, передаваемую по выключателю QF7 по формуле (4.6):

$$S_{p.ТП2} = \sqrt{(2282.96 + 21.04)^2 + (744.69 + 125.08)^2} = 2462,7 \text{ кВА};$$

Расчетный ток одной линии:

$$I_p = \frac{S_{p.ТП2}}{2 \cdot U_H \cdot \sqrt{3}}, \text{ А,}$$
$$I_p = \frac{2462,7}{2 \cdot 6.3 \cdot \sqrt{3}} = 112.8 \text{ А.}$$

Аварийный ток равен:

$$I_{p.a} = I_p \cdot 2 = 225.7 \text{ А.}$$

К установке принимаем воздушные выключатели типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.

Предварительный расчет расчетного времени  $\tau$  по формуле (47):

$$\tau = 0.01 + 0.075 = 0,085 \text{ с.}$$

Получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{п.\tau} = I_{кз}$ .

Произвели расчет аperiodической составляющей тока короткого замыкания по формуле (48):

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 4.9 \cdot e^{-\frac{0.085}{0.02}} = 0.098 \text{ кА.}$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателю аperiodическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$  по формуле (49):

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \cdot 40 = 11.3 \text{ кА.}$$

Определили время отключения выключателя ВЭ – 6 – 40/1600УЗ по формуле (50):

$$t_{отк} = 0.1 + 0.075 = 0.175 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$W_k = 4.9^2 \cdot (0.175 + 0.02) = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

**Таблица 34-Условия выбора выключателей типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 6 \div 7.2 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А}$ $I_{\text{отк}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,3 \text{ кА}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 128 \text{ кА}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6.6 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 215,4 \text{ А}$ $I_{\text{п.т}} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{\text{а.т}} = 0.098 \text{ кА}$ $I_{\text{кз}} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{\text{уз}} = 12.5 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$ $I_{\text{отк}} \geq I_{\text{п.т}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{а.т}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}}$

Выбрали выключатели к СД, QF8 и QF9:  
 Расчетный ток линии ГПП-СД:

$$I_{\text{н.сд}} = 77.9 \text{ А.}$$

К установке принимаем воздушные выключатели типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ.

Предварительный расчет расчетного времени  $\tau$  по формуле (47):

$$\tau = 0.01 + 0.075 = 0.085 \text{ с.}$$

Получили расчетное значение периодической составляющей тока короткого замыкания  $I_{\text{п.т}} = I_{\text{кз}}$ .

Произвели расчет аperiodической составляющей тока короткого замыкания по формуле (48):

$$i_{\text{а.т}} = \sqrt{2} \cdot 4.9 \cdot e^{-\frac{0.085}{0.02}} = 0.098 \text{ кА.}$$

Завод-изготовитель гарантирует выключателю аperiodическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$  по формуле (49):

$$i_{\text{а.НОМ}} = \sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \cdot 40 = 11.3 \text{ кА.}$$

Определили время отключения выключателя ВЭ – 6 – 40/1600УЗ по формуле (50):

$$t_{\text{отк}} = 0.1 + 0.075 = 0.175 \text{ с.}$$

Произвели расчет теплового импульса, выделяемого током короткого замыкания по формуле (51):

$$B_k = 4.9^2 \cdot (0.175 + 0.02) = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

**Таблица 35-Условия выбора выключателей типа ВЭ – 6 – 40/1600УЗ**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 6 \div 7.2 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А}$ $I_{\text{ОТК}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,3 \text{ кА}$ $I_{\text{пр.СКВ}} = 40 \text{ кА}$ $i_{\text{пр.СКВ}} = 128 \text{ кА}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{уст}} = 6.6 \text{ кВ}$ $I_{\text{н.сд}} = 77.9 \text{ А}$ $I_{\text{п.т}} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{\text{а.т}} = 0.098 \text{ кА}$ $I_{\text{к3}} = 4.9 \text{ кА}$ $i_{\text{у3}} = 12.5 \text{ кА}$ $B_k = 4.7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{н.сд}}$ $I_{\text{ОТК}} \geq I_{\text{п.т}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{а.т}}$ $I_{\text{пр.СКВ}} \geq I_{\text{к1}}$ $i_{\text{пр.СКВ}} \geq i_{\text{у1}}$ $I^2_{\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$

### Выбор выключателей нагрузки

Выбираем выключатели нагрузки к ТП1 :

К установке принимаем выключатели нагрузки типа: ВНРП-10/400-10зУЗ.

**Таблица 36-Условия выбора разъединителя типа ВНРП-10/400-10зУЗ**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 10 \div 12 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$	$U_{\text{уст}} = 6.6 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 231.6 \text{ А}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$

Выбираем выключатели нагрузки к ТП2 :

К установке принимаем выключатели нагрузки типа: ВНРП-10/400-10зУЗ.

**Таблица 37-Условия выбора разъединителя типа ВНРП-10/400-10зУЗ**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 10 \div 12 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$	$U_{\text{уст}} = 6.6 \text{ кВ}$ $I_{\text{р.а}} = 215.4 \text{ А}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{р.а}}$

## 6 Выбор силовых кабелей отходящих линий

Выбрали кабель для линии ГПП – ТП1

Исходные данные по ТП1:

$$S_{p,ТП1} = 2647.9 \text{ кВА};$$

$$I_p = 121.3 \text{ А};$$

$$I_{p,a} = 242.6 \text{ А};$$

Предварительно выбрали кабель : ААШВ-6(3×70) по неравенству (36):

$$135 \text{ А} \geq 121.3 \text{ А}.$$

Выполнили проверку по экономической плотности тока, при  $J_H = 1.4 \text{ А/мм}^2$  по формуле (35):

$$F_{\text{эк}} = \frac{121.3}{1.4} = 86.6 \text{ мм}^2 .$$

Проверили по аварийному режиму по условию из неравенства (36):

$$1.3I_{\text{доп}} \geq I_{p,a},$$

$$1.3 \cdot 135 \text{ А} \leq 242.6 \text{ А} - \text{условие не выполняется.}$$

Окончательно выбираем кабель ААШВ-6(3×120) с длительно допустимым током  $I_{\text{доп}} = 190 \text{ А}$ .

**Таблица 38 – выбор кабеля**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$I_{\text{доп}} = 190 \text{ А}$	$I_p = 121.3 \text{ А}$ $I_{p,a} = 242.6 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} \geq I_p$ $1.3I_{\text{доп}} \geq I_{p,a}$ $S \geq F_{\text{эк}}$

Выбрали кабель для линии ГПП – ТП2

Исходные данные по ТП2:

$$S_{р.ТП2} = 2462,7 \text{ кВА};$$

$$I_p = 112.8 \text{ А};$$

$$I_{р.а} = 225.7 \text{ А}.$$

Заранее выбрали кабель марки: ААШВ-6(3×70) по неравенству (36):

$$135 \text{ А} \geq 112.8 \text{ А}.$$

Произвели проверку по экономической плотности тока, при  $J_H = 1.4 \text{ А/мм}^2$  по формуле (35):

$$F_{эк} = \frac{112.8}{1.4} = 80.6 \text{ мм}^2.$$

Совершили выверку по аварийному режиму по условию:

$$1.3I_{доп} \geq I_{р.а},$$

$$1.3 \cdot 135 \text{ А} \leq 225.7 \text{ А} \text{ – условие не выполняется.}$$

Окончательно выбираем кабель ААШВ-6(3×120) с длительно допустимым током  $I_{доп} = 190 \text{ А}$ .

**Таблица 39- выбор кабеля с длительно допустимым током**

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$I_{доп} = 190 \text{ А}$	$I_p = 112.8 \text{ А}$ $I_{р.а} = 225.7 \text{ А}$	$I_{доп} \geq I_p$ $1.3I_{доп} \geq I_{р.а}$ $S \geq F_{эк}$

Результаты расчетов по выбору высоковольтных кабельных линии выведены в таблицу 40 («Кабельный журнал»).

Таблица 40 – Кабельный журнал

Наименование участка	$S_p$ , кВА	Кол-во кабелей в траншее	Нагрузка		По экономической плотности тока, мм <sup>2</sup>		По току короткого замыкания, мм <sup>2</sup>		Выбранный кабель	$I_{доп}$ , А
			$I_p$ , А	$I_{ав}$ , А	$j_э$	$F_э$	$I_k$ , А	S		
ГПП-ТП1	2647.9	2	121.3	242.6	1,4	86.6	4.9	120	ААШВ-6(3×120)	190
ГПП-ТП2	2462,7	2	112.8	225.7	1,4	80.6	4.9	120	ААШВ-6(3×120)	190
ГПП-СД	1000	4	77.9	77.9	1,4	55.6	4.9	70	ААШВ-6(3×70)	135



## 7 Расчёт токов короткого замыкания на зажимах трансформатора

Альтернативный расчет тока КЗ для варианта – I

Учитывая уникальности системы, принимаем  $I_{к\text{ макс}}$  и  $I_{к\text{ мин}}$  равными 5300 А и 3500 А соответственно. А также:  $U_{с\text{ ном}} = 115$  кВ;  $U_{\text{ном тр}}^{\text{ВН}} = 115$  кВ;  $S_{\text{ном тр}} = 6,3$  МВА;  $U_{\text{ном тр}}^{\text{НН}} = 11$  кВ;

Сопротивление системы при максимальном режиме рассчитывается по формуле:

$$x_{с\text{ макс}} = \frac{U_{с\text{ ном}}}{\sqrt{3} * I_{к\text{ макс}}}, \quad (58)$$

$$x_{с\text{ макс}} = \frac{115}{1.73 * 5300} = 12.05 \text{ Ом.}$$

Сопротивление системы при минимальном режиме рассчитывается по (58):

$$x_{с\text{ мин}} = \frac{U_{с\text{ ном}}}{\sqrt{3} * I_{к\text{ мин}}} = \frac{115}{1.73 * 3500} = 19 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{\text{тр}} = \frac{U_{к}}{100} * \frac{(U_{\text{ном тр}}^{\text{ВН}})^2}{S_{\text{ном тр}}} = \frac{10,5}{100} * \frac{115^2}{6,3} = 220,4 \text{ Ом}$$

Трёхфазный ток короткого замыкания на высокой стороне при максимальном и минимальном режиме рассчитывается согласно следующим формулам:

$$I_{к\text{ макс}}^{\text{ВН (3)}} = \frac{U_{с\text{ ном}}}{\sqrt{3} * (x_{с\text{ макс}} * x_{\text{тр}})}, \quad (59)$$

$$I_{к\text{ макс}}^{\text{ВН (3)}} = \frac{U_{с\text{ ном}}}{\sqrt{3} * (x_{с\text{ макс}} * x_{\text{тр}})} = \frac{115}{\sqrt{3} * (12,05 * 220,4)} = 285,6 \text{ А;}$$

$$I_{к\text{ мин}}^{\text{ВН (3)}} = \frac{U_{с\text{ ном}}}{\sqrt{3} * (x_{с\text{ мин}} * x_{\text{тр}})} = \frac{115}{\sqrt{3} * (19 * 220,4)} = 277,3 \text{ А.}$$

Трёхфазный ток короткого замыкания на низкой стороне при максимальном и минимальном режиме рассчитывается согласно следующим формулам:

$$I_{\text{к макс}}^{\text{НН (3)}} = I_{\text{к макс}}^{\text{ВН (3)}} * \frac{U_{\text{НОМ тр}}^{\text{ВН}}}{U_{\text{НОМ тр}}^{\text{НН}}}, \quad (60)$$

$$I_{\text{к макс}}^{\text{НН (3)}} = I_{\text{к макс}}^{\text{ВН (3)}} * \frac{U_{\text{НОМ тр}}^{\text{ВН}}}{U_{\text{НОМ тр}}^{\text{НН}}} = 285,6 * \frac{115}{11} = 2\,985,81 \text{ А};$$

$$I_{\text{к мин}}^{\text{НН (3)}} = I_{\text{к мин}}^{\text{ВН (3)}} * \frac{U_{\text{НОМ тр}}^{\text{ВН}}}{U_{\text{НОМ тр}}^{\text{НН}}} = 277,3 * \frac{115}{11} = 2\,899,04 \text{ А}.$$

Двухфазные токи короткого замыкания на высокой стороне при максимальном и минимальном режимах высчитываются по следующим формулам:

$$I_{\text{к макс}}^{\text{ВН (2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{\text{к макс}}^{\text{ВН (3)}}, \quad (61)$$

$$I_{\text{к макс}}^{\text{ВН (2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{\text{к макс}}^{\text{ВН (3)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 285,6 = 247,33 \text{ А};$$

$$I_{\text{к мин}}^{\text{ВН (2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{\text{к мин}}^{\text{ВН (3)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 277,3 = 240,14 \text{ А}.$$

Двухфазные токи короткого замыкания на низкой стороне при максимальном и минимальном режимах рассчитываются по аналогичному уравнению из формулы (61):

$$I_{\text{к макс}}^{\text{НН (2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{\text{к макс}}^{\text{НН (3)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 2\,985,81 = 2\,585,71 \text{ А};$$

$$I_{\text{к мин}}^{\text{НН (2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{\text{к мин}}^{\text{НН (3)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 2\,899,04 = 2\,510,56 \text{ А}.$$

Расчет токов короткого замыкания для вариантов II и III проводится аналогично методике, описанной выше.

## 8 Технико-экономический расчет

Сравнение трансформатора ТМН – 6300/110кВА с альтернативой ТДН – 10000/110/10к ВА

При технико-экономическом расчете рассмотрим вариант замены, к рассмотрению принимаем трансформатор ТДН-10000/110/10.

Приведенные потери активной мощности ТМН – 10000/110 в режиме холостого хода по формуле:

$$P'_x = P_x + K_{ип} * Q_k, \quad (62)$$

$$P'_x = 14 + 0.05 * 85 = 18,25 \text{ кВт.}$$

Где :  $K_{ип}$  = коэффициент изменения потерь. Для расчетов принимаем 0,05 кВт / кВар.

Потери на реактивной мощности трансформатора на холостом ходу по формуле (17):

$$Q_x = \frac{I_x}{100} * S_{ном},$$

$$Q_x = 85 \text{ кВар.}$$

Рассчитали коэффициента загрузки трансформаторов ГПП по формуле (28):

$$K_3 = \frac{S_p}{S_{н.тр.ГПП}},$$

$$K_3 = \frac{8,4}{10} = 0.84.$$

Потери реактивной мощности соответствующих обмоток трехфазного трансформатора в режиме КЗ по формуле (17):

$$Q_k = \frac{10.5}{100} * 10000 = 1050 \text{ квар.}$$

Расчет приведенных потерь активной мощности КЗ:

$$P'_k = \Delta P_k + K_{ип} * Q_k, \quad (63)$$

$$P'_k = 60 + 0,05 * 1050 = 112,5 \text{ кВт}$$

Расчет приведенных потерь мощности:

$$P'_T = P'_x + K^2_z * P'_k, \quad (64)$$

$$P'_T = 18.25 + 0.84^2 * 112.5 = 97.63 \text{ кВт.}$$

Используя формулы (16) и (17) рассчитали потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_T = 6.5 \cdot 2 + 35 \cdot 0.6^2 \cdot 0.5 = 19.3 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = \frac{0.5}{100} \cdot 6300 \cdot 2 + \frac{35}{100} \cdot 6300 \cdot 0.6^2 \cdot 0.5 = 459.9 \text{ кВар;}$$

Нашли потери электроэнергии в трансформаторах ГПП:

При двухсменном режиме работы число часов включения  $T_{вкл}=4000$ ч и число часов использования максимума активной нагрузки  $T_m=4000$ ч используя формулу (31):

$$\Delta W_{тр.ГПП} = 2(6.5 \cdot 4000 + 35 \cdot 2405.3 \cdot 0.85^2) = 112613.56 \text{ Вт} \cdot \text{ч;}$$

Исходя из стоимости ТМН 6300/110/10 затраты составляют 23 222 277 тенге за 2 шт. Учитывая: перевод с рублей и доставку. А трансформатор ТДН-10000/110/10 - 43610905,8 тенге. Из полученных результатов следует, что наиболее рационально выбрать трансформаторы марки ТМН 6300/110/10, нежели ТДН - 10000/110/10, что и было сделано.

**Таблица 41 - Цены и количество трансформаторов**

Тип	Количество, шт	Цена, тнг
ТМН – 6300/110	2	23 222 277
ТМ – 1600-6/0,4	4	18 545 520

**Таблица 42 - Цены и количество выключателей**

Тип	Количество, шт	Цена, тнг
ВЭ – 6 – 40/1600УЗ	9	10 363 050

**Таблица 43- Цены и количество кабелей в траншеях**

Тип	Количество, шт	Цена за км, тнг
ААШВ-6(3 120)	4	3 268 800
ААШВ-6(3 70)	4	2 295 444

Затраты

$$K_H = C_0(1 + K_T + K_C + K_M) \quad (65)$$

где  $C_0$  - оптовая цена оборудования, измеряется в тенге. определяется по ценникам из специализированного сайта по продаже трансформаторов, тыс. тенге;

$K_T$  – коэффициент, который учитывает транспортировку оборудования;  
 $K_T = 0,005$ ;

$K_C$  - коэффициент, учитывающий затраты на строительную часть.  
 $K_C = 0,02$ ;

$K_M$  - коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и отладку оборудования,  $K_M = 0,1$ ;

$$K_H = 23\,222\,227(1 + 0,005 + 0,02 + 0,1) = 26\,125\,005,375 \text{ тенге.}$$

По таблице 41 стоимость ТМН-6300 ~ 23 млн. тенге. По целесообразен выбираем их, т.к. стоимость ТДН-10000 составляет 26 млн. тенге.

## 9 Электробезопасность

Выбор электрооборудования и проводников для условий короткого замыкания

Общие требования

Режим ошибки должен быть проверен:

1) в электрических системах выше 1 кВ:

электрические аппараты, проводники, кабели и другие проводники, а также опорные и опорные конструкции для них;

Воздуховоды с импульсным током 50 кА или более, чтобы избежать столкновения кабелей при динамическом воздействии токов короткого замыкания.

Для проводов с отдельными проводами проверьте расстояние между уплотнениями и отделенными проводами, чтобы предотвратить повреждение уплотнений и проводов во время соединения.

Воздуховоды, оснащенные устройствами быстрого автоматического повторного включения, также проверяются на тепловое сопротивление.

2) В электрических системах до 1 кВ - распределительные щиты, лестницы и шкафы управления. Трансформаторы тока короткого замыкания не тестировались.

Устройства, предназначенные для блокировки токов короткого замыкания или замкнутые на рабочие условия, должны иметь возможность выполнять эти операции для всех возможных токов короткого замыкания.

Устойчивыми к токам короткого замыкания являются те компоненты и проводники, которые в расчетных условиях выдерживают воздействие этих токов, не подвергаясь электрическим, механическим и другим повреждениям или деформации, тем самым предотвращая их дальнейшую нормальную работу.

После короткого замыкания с напряжением более 1 кВ следующее не проверяется:

1) Приборы и проводники защищены плавкими предохранителями со вставками номиналом до 60 А, - электродинамическим сопротивлением;

2) Устройства и проводники, которые защищены плавкими предохранителями независимо от номинального тока и типа, являются термостойкими.

Цепь считается защищенной предохранителем, если ее отключающая способность выбрана в соответствии с требованиями настоящих Правил и минимально возможное аварийное питание в цепи может быть прервано.

3) Проводники в цепях к отдельным электрическим приемникам, включая трансформаторы для гаражей, с общей емкостью до 2,5 МВт \* А и более высоким напряжением до 20 кВ, если выполняются также следующие условия:

Требуемая степень резервирования обеспечивается в электрической или технологической части, так что отключение этих электрических приемников не нарушает технологический процесс.

Повреждение проводника в случае короткого замыкания не может привести к взрыву или пожару.

Вы можете заменить лестницу без значительных затруднений.

4) проводники к отдельным электрическим приемникам в соответствии с разделом;

3) данного раздела и для разделения небольших распределительных пунктов, если эти электрические приемные устройства и распределительные пункты не подходят для их предполагаемого использования, и проводник поврежден из-за короткого замыкания, не вызывают взрыв или пожар;

5) Трансформаторы тока в цепях до 20 кВ, которые питают трансформаторы или шлейфы, если выбор трансформаторов тока требует переоценки условий, которые не могут обеспечить требуемый класс точности. Одновременно подключенные измерительные устройства могут быть подключены к стороне высокого напряжения силовых трансформаторов, нельзя использовать трансформаторы тока, защищающие от короткого замыкания, и измерительные устройства должны быть подключены к трансформаторам тока низкого напряжения;

6) воздухопроводы;

7) Блоки и шины трансформаторов напряжения устанавливаются в отдельной камере или за дополнительным резистором, встроенным в предохранитель, или устанавливаются отдельно;

При выборе расчетной схемы для определения токов короткого замыкания не используйте долгосрочные рабочие условия для этой электрической установки и не учитывайте краткосрочные изменения в цепи этой электрической установки, которые не предназначены. Ремонт и эксплуатация электрооборудования после аварийной ситуации не подразумевает кратковременных изменений в системе.

Схема планирования должна учитывать будущее развитие внешних сетей и источников генерации, с которыми эта установка электрически связана, по крайней мере, в течение 5 лет с запланированной даты запуска.

В этом случае допустимо проводить расчет токов короткого замыкания приблизительно в момент начала короткого замыкания.

Тип расчета короткого замыкания предполагается следующим:

1) для определения электродинамической устойчивости аппаратуры и жестких шин с соответствующими опорными и опорными конструкциями - трехфазное короткое замыкание;

2) определить тепловое сопротивление оборудования и проводников - трехфазное короткое замыкание; Генераторные генераторы - трехфазные или двухфазные, в зависимости от того, какой из них приводит к большему количеству тепла.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе разработки электроснабжения Деревообрабатывающего предприятия, было решено ряд задач. Таких как: расчет нагрузок, разработана схема электроснабжения, сравнение вариантов внешнего электроснабжения, выбор подходящего оборудования, расчет токов короткого замыкания, выбор силовых кабелей. Разработанная система электроснабжения метизного завода обеспечивает подачу, электроэнергию в необходимом количестве и соответствующего качества от энергосистемы к производственным подразделениям, установкам и механизмам.

С минимальными затратами, получилась достаточно надежная система электроснабжения промышленного предприятия. Требуемый уровень надежности и безопасности схемы электроснабжения обеспечен.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчета электрических нагрузок промышленных предприятий с применением ЭВМ. Методическое пособие. – Алматы.:АЭИ, 1988.
2. Справочник по проектированию электроснабжения. /Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования. /Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. /Под ред. А.А. Федорова. 1и 2 том. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1986.
7. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. Маниловский Р.Г. Бизнес – план. Методические материалы. – Финансы и статистика, 1995.