

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка системы электроснабжения деревообрабатывающего производства

Обучающийся

А. А. Акбаров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В. С. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, Якушева Т.С.

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

## Аннотация

Пояснительная записка содержит 56 страниц, графическая часть выполнена в виде презентации, 25 источников.

Ключевые слова: электроснабжение, нагрузка, реактивная мощность, трансформатор, оборудование.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы электроснабжения деревообрабатывающего производства.

Объект исследования выпускной квалификационной работы – деревообрабатывающее производство.

Предмет исследования выпускной квалификационной работы – система электроснабжения деревообрабатывающего производства.

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы будут решены следующие задачи:

- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать количество и мощность установок компенсации реактивной мощности;
- определить место расположения цеховых ТП и ГПП;
- выбрать количество и мощность силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, а также 110/10 кВ;
- выбрать кабельные линии;
- выбрать коммутационного оборудования.

Для решения поставленных задач работа будет разделена на три раздела.

## **Abstract**

The explanatory note contains 56 pages, the graphic part is made in the form of a presentation, 25 sources.

Keywords: power supply, load, reactive power, transformer, equipment.

The purpose of the final qualification work is to develop a project for the power supply system of woodworking production.

The object of research of the final qualification work is woodworking production.

The subject of the study of the final qualification work is the power supply system of woodworking production.

To achieve the goal of the final qualifying work, the following tasks will be solved:

- perform the calculation of electrical loads;
- select the number and power of reactive power compensation units;
- determine the location of shop TP and GPP;
- select the number and power of 10/0.4 kV and 110/10 kV power transformers;
- select cable lines;
- select the switching equipment.

To solve the tasks, the work will be divided into three sections.

## Содержание

Введение .....	5
1 Общая часть.....	6
2 Расчет нагрузок предприятия .....	9
2.1 Расчет силовых электрических нагрузок .....	9
2.2 Расчет осветительных нагрузок.....	12
2.3 Расчет наружного освещения .....	14
2.4 Расчет охранного освещения .....	15
2.5 Расчет освещения открытых площадок.....	17
2.6 Построение картограммы и определение центра электрических нагрузок .....	21
3 Выбор оборудования.....	28
3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов.....	28
3.2 Расчет питающей и распределительных линий .....	34
3.3 Расчет токов КЗ .....	38
3.4 Выбор оборудования.....	46
Заключение .....	50
Список используемой литературы и используемых источников .....	54

## Введение

Уровень развития энергетики характеризует экономический потенциал страны, так как все производственные процессы в промышленности связаны с потреблением электроэнергии различных видов. Отличительными особенностями электроэнергетики являются непрерывность процесса производства, преобразования и потребления электроэнергии, взаимозаменяемость различных типов энергоустановок.

Основой энергообеспечения страны в ближайшее время и, следовательно, приоритетным направлением инвестиционной политики должны стать техническое перевооружение и реконструкции действующих энергообъектов. Именно на эти цели следует в первую очередь направлять инвестиционные ресурсы и полностью использовать амортизационные отчисления.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы электроснабжения деревообрабатывающего производства.

Объект исследования выпускной квалификационной работы – деревообрабатывающее производство.

Предмет исследования выпускной квалификационной работы – система электроснабжения деревообрабатывающего производства.

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы требуется решить следующие задачи:

- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать количество и мощность установок компенсации реактивной мощности;
- определить место расположения цеховых ТП и ГПП;
- выбрать количество и мощность силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, а также 110/10 кВ;
- выбрать кабельные линии;
- выбрать коммутационного оборудования.

## 1 Общая часть

Генплан деревообрабатывающего производства приведен на рисунке 1.

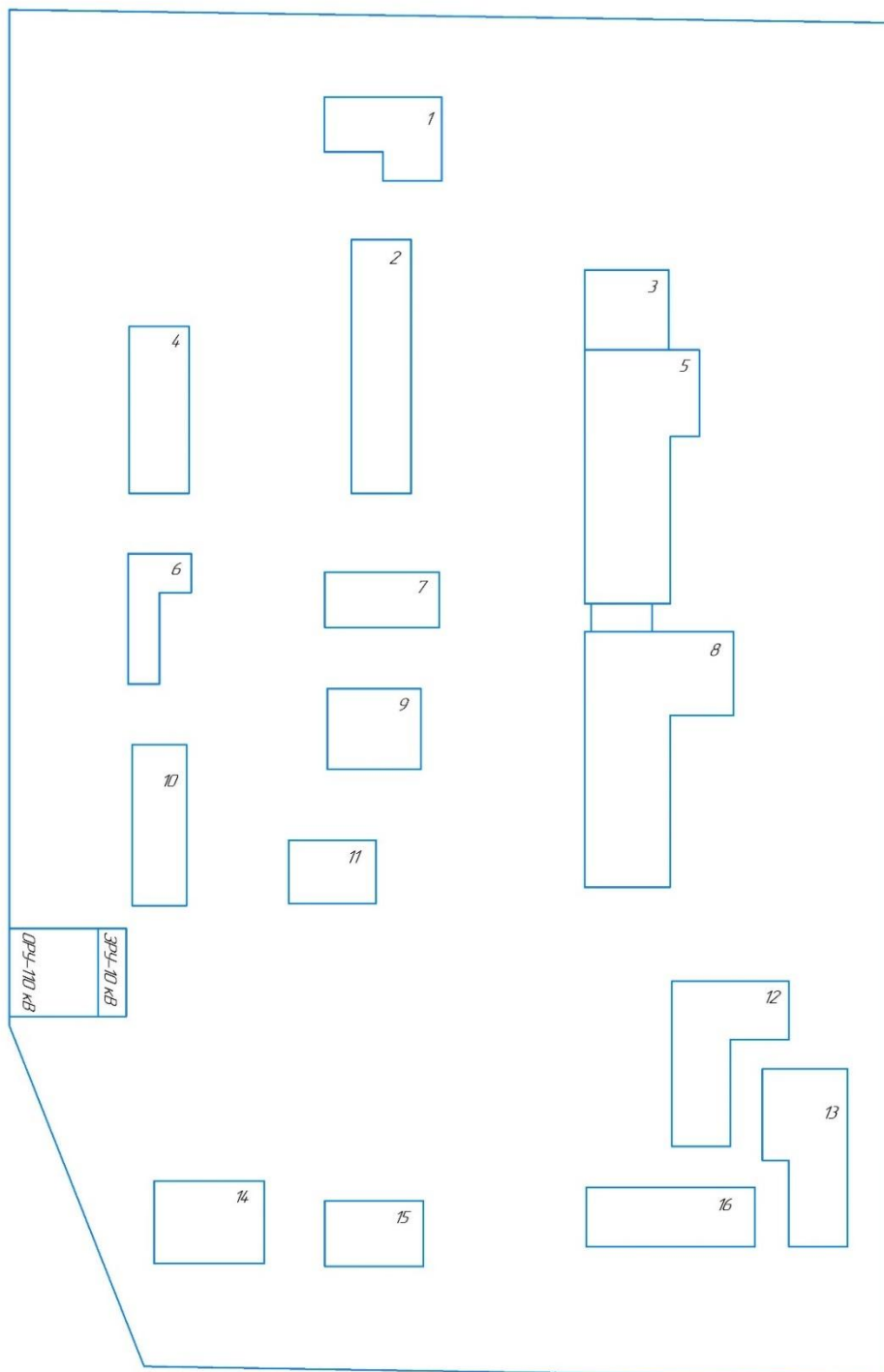


Рисунок 1 – Генплан деревообрабатывающего производства

В таблице 1 указана активная потребляемая мощность цехов деревообрабатывающего производства, а также, количество эффективных электроприемников, согласно генплану.

Таблица 1 – Сведения об активной мощности по цехам деревообрабатывающего производства

№ цеха на плане	$\Sigma P_H$ на напряжение 0,4 кВ, кВт	п <sub>э</sub> , шт
1	10	12
2	532	5
3	45	5
4	244	7
5	765	52
6	79	5
7	226	4
8	1619	136
9	339	19
10	478	29
11	93	10
12	358	27
13	432	28
14	258	7
15	265	10
16	94	5

Классификация цехов деревообрабатывающего производства по взрыво- и пожаро- и электробезопасности представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация цехов деревообрабатывающего по взрыво-, пожаро- и электробезопасности

Наименование помещений	Категория			Условия окружающей среды
	Взрыво опасности	Пожаро опасности	Электро безопасности	
Гараж и зарядная станция	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Компрессорная	В-ІІА	П-ІІА	ПО	нормальные
Малярный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Электроремонтный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Лесопильный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Раскройно-заготовительный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Сушильный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Сборочный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Насосная станция	В-ІІА	П-ІІА	ПО	нормальные
Ремонтно-механический цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные

Продолжение таблицы 2

Наименование помещений	Категория			Условия окружающей среды
	Взрыво опасности	Пожаро опасности	Электро безопасности	
Столярный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Перерабатывающий цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Отделочный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Склад сырья	В-І	П-І	ПО	Нормальные
АБК	-	-	-	нормальные
Склад готовой продукции	В-І	П-І	ПО	Нормальные

Выводы по разделу 1.

Установлено, что объектом исследования является деревообрабатывающее производство, состоящее из 16 зданий.

Определено, что цеха относятся ко второй и третьей категории надежности электроснабжения.

Таким образом, требуется два силовых трансформатора на ГПП для обеспечения требуемого уровня надежности.



## 2 Расчет нагрузок предприятия

### 2.1 Расчет силовых электрических нагрузок

Существуют несколько методов расчета нагрузки промышленного предприятия. Среди них можно выделить метод коэффициента максимума, так как он наиболее точен.

Для расчета электрической нагрузки предприятия методом коэффициента максимума необходимо по справочным данным определить значения коэффициента мощности и коэффициента использования для каждого цеха.

На первом этапе определяется нагрузка в сети 0,4 кВ. Для этого, как уже говорилось выше, определяются значения коэффициента мощности и коэффициента использования цехов предприятия на основании справочных данных.

Затем, определяются активные и реактивные нагрузки цехов деревообрабатывающего производства за наиболее загруженную смену по формулам:

$$P_C = K_{\text{И}} \cdot P_{\text{Н}}, \quad (1)$$

$$Q_C = K_{\text{И}} \cdot P_{\text{Н}} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2)$$

После чего, в соответствии с принятыми коэффициентами использования и коэффициентами мощности определяется коэффициент расчетной мощности:

$$K_{\text{Р}} = f(K_{\text{И}}; n_{\text{Э}}). \quad (3)$$

Расчетная активная мощность определяется при помощи коэффициента расчетной мощности, а реактивная при помощи эффективного числа электроприемников:

$$P_p = K_p \cdot P_c, \quad (4)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c \text{ при } n_{\text{э}} \leq 10, \quad (5)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_{\text{э}} > 10. \quad (6)$$

Полная расчетная мощность деревообрабатывающего производства определяется формулой:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

После расчета активных, реактивных и полных мощностей цехов деревообрабатывающего производства, производится расчет общей мощности предприятия, а также общезаводской коэффициент мощности и коэффициент использования:

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum P_c}{\sum P_{\text{И}}}, \quad (8)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}. \quad (9)$$

Общая полная мощность заводской нагрузки 0,4 кВ:

$$\sum S_p = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2}. \quad (10)$$

Результаты расчетов сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

Название цеха	$P_H$ , кВт	$nЭ$	$\sum P_H$ , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , квар	$K_P / K_O$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , квар	$S_P$ , кВА
Нагрузка 0,4 кВ												
Гараж и зарядная станция	-	12	10	0,3	0,8	0,75	3,0	2,3	0,9/-	2,6	2,3	3,4
Компрессорная	-	5	532	0,7	0,8	0,75	372,4	279,3	0,9/-	346,3	307,2	463,0
Малярный цех	-	5	45	0,4	0,6	1,33	18,0	24,0	1,0/-	17,6	26,4	31,8
Электроремонтный цех	-	7	244	0,3	0,6	1,33	73,2	97,6	1,0/-	69,5	107,4	127,9
Лесопильный цех	-	52	765	0,3	0,5	1,73	229,5	397,5	0,7/-	160,7	397,5	428,7
Раскройно-заготовительный цех	-	5	79	0,4	0,6	1,33	31,6	42,1	1,0/-	31,0	46,3	55,7
Сушильный цех	-	4	226	0,3	0,6	1,33	67,8	90,4	1,2/-	80,7	99,4	128,1
Сборочный цех	-	136	1619	0,3	0,6	1,33	485,7	647,6	0,7/-	340,0	647,6	731,4
Насосная станция	-	19	339	0,7	0,8	0,75	237,3	178,0	0,9/-	213,6	178,0	278,0
Ремонтно-механический цех	-	29	478	0,3	0,6	1,33	143,4	190,7	0,8/-	107,6	190,7	219,0
Столярный цех	-	10	93	0,4	0,6	1,33	37,2	49,6	0,9/-	31,6	54,6	63,1
Перерабатывающий цех	-	27	358	0,6	0,8	0,75	214,8	161,1	0,9/-	182,6	161,1	243,5
Отделочный цех	-	28	432	0,6	0,7	1,02	259,2	264,4	0,9/-	220,3	264,4	344,2
Склад сырья	-	7	258	0,5	0,7	1,02	129,0	131,6	0,9/-	120,0	144,7	188,0
АБК	-	10	265	0,5	0,7	1,02	132,5	135,2	0,9/-	119,3	148,7	190,6
Склад готовой продукции	-	5	94	0,3	0,6	1,33	28,2	37,6	1,0/-	28,2	41,4	50,1
Итого по 0,4 кВ:		361	5837	0,4	0,7	1,1	2462,8	2729,0	14,3/-	2071,4	2817,7	3546,4
Синхронные ЭД	630	3	1890	0,8	0,9	-0,48	1512,0	-725,8	-	-	-	-
Синхронные ЭД	1250	2	2500	0,8	0,9	-0,48	2000,0	-960,0	-	-	-	-
Общая нагрузка												
Итого по 6 кВ:	-	5	4390	0,8	0,9	-0,48	3512	-1685,76	-/0,95	3336,4	-1601,47	3700,8
Итого:	-	366	10227	0,6	-	-	5974,8	1043,2	-	5407,8	1216,2	7247,2

Таким образом, общая силовая нагрузка предприятия без учета компенсации реактивной мощности составила 7247,2 кВА.

## 2.2 Расчет осветительных нагрузок

Осветительная нагрузка цехов определяется по удельной мощности на единицу площади.

Активная мощность системы внутреннего освещения цехов деревообрабатывающего производства определяется по следующей расчётной формуле:

$$P_{p.o.} = P_{уд} \cdot S, \quad (11)$$

где  $P_{уд}$  – удельная мощность освещения;

$S$  – площадь здания.

Реактивная мощность системы внутреннего освещения цехов деревообрабатывающего производства определяется по формуле:

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot tg\varphi. \quad (12)$$

Для внутреннего освещения производственных помещений деревообрабатывающего производства приняты лампы ДРИ с мощностью 2,9 Вт/м<sup>2</sup>.

Для внутреннего освещения административно-бытовых и хозяйственных помещений деревообрабатывающего производства приняты лампы ЛД удельной мощностью 16,8 Вт/м<sup>2</sup>.

Для наружного освещения территории деревообрабатывающего производства приняты лампы ДНаТ удельной мощностью 2,6 Вт/м<sup>2</sup>.

Исходные данные для расчета осветительных установок приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Площадь цехов и освещаемой территории

Наименование цеха	F, м <sup>2</sup>
Гараж и зарядная станция	950
Компрессорная	1750
Малярный цех	800
Электроремонтный цех	1150
Лесопильный цех	2800
Раскройно-заготовительный цех	600
Сушильный цех	750
Сборочный цех	3150
Насосная станция	900
Ремонтно-механический цех	1000
Столярный цех	650
Перерабатывающий цех	1550
Отделочный цех	1500
Склад сырья	1050
АБК	750
Склад готовой продукции	1150
Освещаемая территория	20500

Приведем расчет для гаража и зарядной станции.

Активная мощность осветительных нагрузка гаража и зарядной станции составит:

$$P_{p.o.} = 0,0168 \cdot 950 = 16,0 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность осветительных нагрузка гаража и зарядной станции составит:

$$Q_{p.o.} = 16,0 \cdot 0,33 = 5,3 \text{ квар.}$$

Расчет для остальных цехов деревообрабатывающего производства выполняется аналогично.

Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет мощности осветительной нагрузки цехов

№	Наименование цеха	Руд, кВт/м2	F, м2	cosφ	tgφ	Р <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>ро</sub> , кВАр
1	Гараж и зарядная станция	0,0168	950	0,95	0,33	16,0	5,3
2	Компрессорная	0,0029	1750	0,95	0,33	5,1	1,7
3	Малярный цех	0,0029	800	0,95	0,33	2,3	0,8
4	Электроремонтный цех	0,0029	1150	0,95	0,33	3,3	1,1
5	Лесопильный цех	0,0029	2800	0,95	0,33	8,1	2,7
6	Раскройно-заготовительный цех	0,0029	600	0,95	0,33	1,7	0,6
7	Сушильный цех	0,0029	750	0,95	0,33	2,2	0,7
8	Сборочный цех	0,0029	3150	0,95	0,33	9,1	3,0
9	Насосная станция	0,0029	900	0,95	0,33	2,6	0,9
10	Ремонтно-механический цех	0,0029	1000	0,95	0,33	2,9	1,0
11	Столярный цех	0,0029	650	0,95	0,33	1,9	0,6
12	Перерабатывающий цех	0,0029	1550	0,95	0,33	4,5	1,5
13	Отделочный цех	0,0029	1500	0,95	0,33	4,4	1,4
14	Склад сырья	0,0168	1050	0,95	0,33	17,6	5,8
15	АБК	0,0168	750	0,95	0,33	12,6	4,2
16	Склад готовой продукции	0,0168	1150	0,95	0,33	19,3	6,4
	Освещаемая территория		20500			113,7	37,5

Таким образом, общая мощность осветительной нагрузки цехов составила 113,7 кВт.

### 2.3 Расчет наружного освещения

Площадь освещения территории будет равна:

$$F_{\text{тер}} = F_{\text{завода}} - \sum F_{\text{цех}}, \quad (13)$$

где  $F_{\text{завода}}$  - площадь завода;

$\sum F_{\text{цех}}$  - суммарная площадь цехов.

$$F_{\text{тер}} = 138000 - 20500 = 117500 \text{ м}^2.$$

Активная нагрузка на освещение территории:

$$P_{\text{тер}} = F_{\text{тер}} \cdot P_{\text{уд.о.т.}} \quad (14)$$

где:  $P_{\text{уд.о.т.}} = 0,2 \text{ Вт/м}^2$ -удельная плотность осветительной нагрузки.

$$P_{\text{тер}} = 117500 \cdot 0,2 = 23500 \text{ Вт} = 23,5 \text{ кВт.}$$

Реактивная нагрузка на освещение территории определяется формулой:

$$Q_{\text{тер}} = P_{\text{тер}} \cdot \text{tg}\varphi. \quad (15)$$

Таким образом, реактивная мощность системы освещения территории деревообрабатывающего производства составит:

$$Q_{\text{тер}} = 23,5 \cdot 1,73 = 40,7 \text{ кВАр.}$$

Тогда, полная мощность системы освещения территории деревообрабатывающего производства составит:

$$S_{\text{тер}} = \sqrt{23,5^2 + 40,7^2} = 47,0 \text{ кВА.}$$

Таким образом, общая мощность нагрузки наружного освещения составила 47,0 кВА.

## **2.4 Расчет охранного освещения**

Расчет ведется точечным методом для светодиодных светильников серии «Тополь М ДКУ 35 Вт», мощностью 35 Вт и световым потоком 3500 лм.

Номинальная освещенность для охранного освещения составляет 0,5 лк. Ширина охраняемой зоны составляет 10 м.

Световой поток светильник определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{1000 \cdot E_{\text{н}} \cdot K_3 \cdot h^2}{\sum \varepsilon}. \quad (16)$$

Минимальную освещенность можно определить по формуле:

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 \cdot E_{\text{н}} \cdot K_3 \cdot h^2}{\Phi_{\text{л}}}. \quad (17)$$

Таким образом, минимальная освещенность:

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,3 \cdot 6^2}{3500} = 6,686 \text{ лк.}$$

По рисунку П.Г.3 [4] определяется отношение  $h/d = 0,35$ , откуда расстояние до освещаемой точки  $d = 17,14$  м, тогда шаг расстановки светильников:

$$L = 2 \cdot \sqrt{d^2 - b^2}, \quad (18)$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{17,14^2 - 10^2} = 27,85 \approx 28 \text{ м.}$$

Протяженность периметра завода:  $D = 1500$  м.

Количество светильников:  $N = D/L = 1500/28 = 54$  шт.

Активная мощность нагрузки наружного освещения деревообрабатывающего производства определяется по формуле:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N. \quad (19)$$

Таким образом, активная мощность 54 светодиодных светильников серии «Тополь М ДКУ 35 Вт» составит:

$$P = 0,035 \cdot 54 = 1,9 \text{ кВт.}$$



В таком случае, реактивная мощность 54 светодиодных светильников серии «Тополь М ДКУ 35 Вт» составит:

$$Q = 1,9 \cdot 0,20 = 0,4 \text{ квар.}$$

Тогда, полная мощность 54 светодиодных светильников серии «Тополь М ДКУ 35 Вт» составит:

$$S = \sqrt{1,9^2 + 0,4^2} = 1,9 \text{ кВА.}$$

Таким образом, общая мощность нагрузки охранного освещения составила 1,9 кВА.

## **2.5 Расчет освещения открытых площадок**

Осветительная нагрузка прожекторной установки определяется по удельной мощности на единицу площади. [1]

Активная мощность прожекторной установки деревообрабатывающего производства определяется по формуле:

$$P_{\text{прож}} = P_{\text{уд}} \cdot F, \quad (20)$$

где  $P_{\text{уд}}$  – удельная мощность;

$F$  – площадь освещаемой площадки.

После расчета активной мощности прожекторной установки деревообрабатывающего производства необходимо выбрать тип прожектора и его мощность. [2]

Количество прожекторов в прожекторной установке деревообрабатывающего производства определяется по формуле:

$$N_{л} = \frac{P_{\text{прож}}}{P_{л}}, \quad (21)$$

где  $P_{л}$  – мощность лампы, выбранного прожектора.

По данным генплана деревообрабатывающего производства необходимо осветить следующие цеха:

- склад сырья – цех №14 на генплане;
- здание АБК цех №15 на генплане;
- склад готовой продукции цех №16 на генплане.

Для склада сырья, площадь освещаемой площадки составляет 2600 м<sup>2</sup>.

В таком случае, мощность прожекторной установки, необходимая для освещения склада сырья, составит:

$$P_{\text{прож}} = 0,45 \cdot 2600 = 1170 \text{ Вт.}$$

Для освещения склада сырья принимаются прожекторы ПЗР-400 с лампами ДРЛ-400, мощность лампы 400 Вт.

Таким образом, количество прожекторов в прожекторной установке склада сырья составит:

$$N_{л} = \frac{1170}{400} = 2,9 \approx 3 \text{ шт.}$$

По результатам расчётов установлено, что для освещения склада сырья необходимо три прожектора.

Тогда, активная мощность, необходимая для освещения склада сырья:

$$P_{\text{откр.пл.}} = 3 \cdot 400 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт.}$$

Таким образом, реактивная мощность, необходимая для освещения склада сырья составит:

$$Q_{\text{откр.пл.}} = 1,2 \cdot tg(\arccos(0,53)) = 1,9 \text{ квар.}$$

Площадь, которую необходимо осветить возле АБК составляет 2200 м<sup>2</sup>.

Мощность прожекторной установки, необходимая для освещения АБК составит:

$$P_{\text{прож}} = 0,45 \cdot 2200 = 990 \text{ Вт.}$$

Принимается к установке прожекторы ПЗР-400 с лампами ДРЛ-400, мощность лампы 400 Вт.

$$N_{\text{л}} = \frac{990}{400} = 2,4 \approx 3 \text{ шт.}$$

К установке принимаются три прожектора.

Тогда, активная мощность, необходимая для освещения АБК:

$$P_{\text{откр.пл.}} = 3 \cdot 400 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт.}$$

Таким образом, реактивная мощность, необходимая для освещения АБК составит:

$$Q_{\text{откр.пл.}} = 1,2 \cdot tg(\arccos(0,53)) = 1,9 \text{ квар.}$$

Площадь, которую необходимо осветить возле АБК составляет 3200 м<sup>2</sup>.

Мощность прожекторной установки, необходимая для освещения АБК:

$$P_{\text{прож}} = 0,45 \cdot 3200 = 1440 \text{ Вт.}$$

Принимается к установке прожекторы ПЗР-400 с лампами ДРЛ-400, мощность лампы 400 Вт.

$$N_{\text{л}} = \frac{1440}{400} = 3,6 \approx 4 \text{ шт.}$$

К установке принимаются четыре прожектора.

Тогда, активная мощность, необходимая для освещения АБК:

$$P_{\text{откр.пл.}} = 4 \cdot 400 = 1600 \text{ Вт} = 1,6 \text{ кВт.}$$

Таким образом, реактивная мощность, необходимая для освещения АБК.

$$Q_{\text{откр.пл.}} = 1,6 \cdot \text{tg}(\arccos(0,53)) = 2,6 \text{ квар.}$$

В таком случае, общая мощность системы освещения открытых площадок деревообрабатывающего производства составит:

$$S_{\text{откр.пл.}} = \sqrt{(1,2 + 1,2 + 1,6)^2 + (1,9 + 1,9 + 2,6)^2} = 7,5 \text{ кВА.}$$

Таким образом, общая мощность системы освещения открытых площадок деревообрабатывающего производства составила 7,5 кВА.

## **2.6 Построение картограммы и определение центра электрических нагрузок**

Потребители подстанций имеют 1 и 2 категории надежности электроснабжения. Для питания потребителей 1 и 2 категории надежности требуется два силовых трансформатора.

При расчете номинальной мощности силовых трансформаторов деревообрабатывающего производства основное значение имеет расчетная нагрузка потребителей. Стоит учесть, что перед определением мощности силовых трансформаторов необходимо выполнить расчет компенсации реактивной мощности.

Сначала нужно подробно изучить генплан деревообрабатывающего производства, оценив взаимное расположение цехов и их мощность. Трансформаторные подстанции устанавливаются в цехах с наибольшей мощностью, причем, от них могут быть запитаны близко расположенные цеха с небольшой мощностью. [3]

Так, в рассматриваемом предприятии цех 2 имеет большую нагрузку, причем, рядом с ним расположены цеха 1 и 4, имеющие небольшую нагрузку. Таким образом, их целесообразно запитать от одной двухтрансформаторной подстанции.

Также стоит объединить цеха 6, 7, 9, 10 и 11. Подстанция, в данном случае, будет расположена в цехе 10, так как он имеет наибольшую мощность из этой группы цехов.

Цеха 12, 13 и 16, также находятся в близко друг к другу. Подстанция будет расположена в цехе 13.

Цеха 14 и 15 имеют небольшую нагрузку и удалены от остальных цехов. Они также будут запитаны от одной двухтрансформаторной подстанции, расположенной в цехе 15.

Цеха 3, 5 и 8 примыкают друг к другу. Трансформаторную подстанцию следует установить в цехе 8, так как он имеет наибольшую мощность.

Определение места расположения ГПП имеет важное значение при решении вопроса построения рациональной системы электроснабжения промышленного предприятия. [5]

Во время разработки системы электроснабжения промышленных предприятий, в настоящее время, приходится решать все больше задач, таких как:

- определение расположения центра электрических нагрузок;
- выбор схемы электроснабжения;
- выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП, а также ГПП;
- определение количества и типа устройств компенсации реактивной мощности и др.

Это объясняется большим количеством исходных данных, объем которых непрерывно растет. [6]

Увеличение объема исходных данных и количества решаемых задач привели к внедрению новых методов разработки с применением средств вычислительной техники.

Решение вышеуказанных задач требует применения специального подхода, описывающего структуру распределения нагрузки предприятия по цехам, а также геометрию из взаимного расположения. [9]

Так, после определения места расположения цеховых трансформаторных подстанций, необходимо построить картограмму электрических нагрузок, после чего определить центр нагрузок предприятия и выбрать место расположения ГПП. [10]

В таблице 6 приведены исходные данные для расчета – активные и реактивные нагрузки подстанций деревообрабатывающего производства с учетом нагрузки внутреннего освещения.

Таблица 6 – Данные по мощностям цеховых ТП

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
Номера цехов, подключенных к данным цеховым ТП	1, 2, 4	3, 5, 8	6, 7, 9, 10, 11	12, 13, 16	14, 15
$P_p$ , кВт	442,8	537,9	365,3	459,3	269,5
$Q_p$ , квар	424,9	1078,0	381,1	476,2	303,4

Картограмма электрических нагрузок позволяет определить наиболее выгодное место расположения ТП 10/0,4 кВ. Это, в свою очередь, ведет к сокращению протяженности распределительной сети предприятия, а также, к сокращению потерь электрической энергии в распределительных сетях, что делает систему электроснабжения предприятия наиболее энергоэффективной.

Чтобы наиболее точно определить центр электрических нагрузок деревообрабатывающего производства необходимо построить картограмму электрических нагрузок. [7]

Картограмма электрических нагрузок представляет собой генплан объекта исследования с отмеченными в нем окружностями внутри каждого цеха. Радиус окружности зависит от величины расчетной нагрузки цеха.

В данном случае, при построении картограммы электрических нагрузок, будет отображаться потребление как активной, так и реактивной мощности.

Сначала необходимо определить радиус каждой окружности, описывающей потребление активной и реактивной мощности. [11]

Принимаем для наименьшей нагрузки (Ц5) радиус  $R_{A5} = 15$  м, тогда:

$$m_a = \frac{P_5}{\pi R_{A1}^2}, \quad (23)$$

$$m_a = \frac{269,5}{3,14 \cdot 15^2} = 0,38 \text{ кВт/м}^2.$$

Принимается  $m_a = 0,4 \text{ кВт/м}^2$ .

Определяется радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП:

$$R_{A2} = \sqrt{\frac{P_2}{\pi t_a}}. \quad (24)$$

Так как наибольшая мощность для деревообрабатывающего производства по результатам расчетов получилась в ТП 10/0,4 кВ – Ц2, расчеты будут проведены для этой подстанции.

Таким образом, радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП деревообрабатывающего производства составит:

$$R_{A2} = \sqrt{\frac{537,9}{3,14 \cdot 0,4}} = 20,7 \text{ м.}$$

Все укладывается в масштабы, а значит, значения выбраны верно. Досчитаем радиусы для остальных цехов.

Примем  $t_p = 0,4$  квар/м<sup>2</sup> и рассчитаем радиусы реактивных мощностей по формуле:

$$R_{Pi} = \sqrt{\frac{Q_i}{\pi t_p}}. \quad (25)$$

Для остальных трансформаторных подстанций расчеты производятся аналогично. Результаты расчетов радиусов мощностей подстанций приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП деревообрабатывающего производства

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
X, м	128	225	51	270	125
Y, м	341	222	184	76	45
$P_p$ , кВт	442,8	537,9	365,3	459,3	269,5
$R_A$ , м	18,8	20,7	17,1	19,1	14,6
$Q_p$ , квар	424,9	1078,0	381,1	476,2	303,4
$R_p$ , м	18,4	29,3	17,4	19,5	15,5



После выполнения картограммы электрических нагрузок, опраляются центра активной и реактивной нагрузки:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (26)$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}. \quad (27)$$

Центра реактивной нагрузки определяется по формуле:

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (28)$$

$$Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}. \quad (29)$$

Таким образом, центр активной нагрузки деревообрабатывающего производства будет находить в координатах:

$$X_{a0} = \frac{442,8 \cdot 128 + 537,9 \cdot 225 + 365,3 \cdot 51 + 459,3 \cdot 270 + 269,5 \cdot 125}{442,8 + 537,9 + 365,3 + 459,3 + 269,5} = 171 \text{ м.}$$

$$Y_{a0} = \frac{418,4 \cdot 341 + 537,9 \cdot 222 + 365,3 \cdot 184 + 459,3 \cdot 76 + 269,5 \cdot 45}{442,8 + 537,9 + 365,3 + 459,3 + 269,5} = 185 \text{ м.}$$

Таким образом, центр реактивной нагрузки деревообрабатывающего производства будет находить в координатах:

$$X_{p0} = \frac{424,9 \cdot 128 + 1078,0 \cdot 225 + 381,1 \cdot 51 + 476,2 \cdot 270 + 303,4 \cdot 125}{424,9 + 1078,0 + 381,1 + 476,2 + 303,4} = 181 \text{ м.}$$

$$Y_{p0} = \frac{424,9 \cdot 341 + 1078,0 \cdot 222 + 381,1 \cdot 184 + 476,2 \cdot 76 + 303,4 \cdot 45}{424,9 + 1078,0 + 381,1 + 476,2 + 303,4} = 189 \text{ м.}$$

Как уже говорилось выше, расположение ГПП как можно ближе к центру электрических нагрузок позволит добиться наилучших технико-экономических показателей системы электроснабжения благодаря снижению

затрат на распределительные сети и на дальнейшие потери электрической энергии в системе электроснабжения.

Генеральный план предприятия деревообрабатывающего производства с картограммой электрических нагрузок и кабельными линиями приведен на рисунке 2.

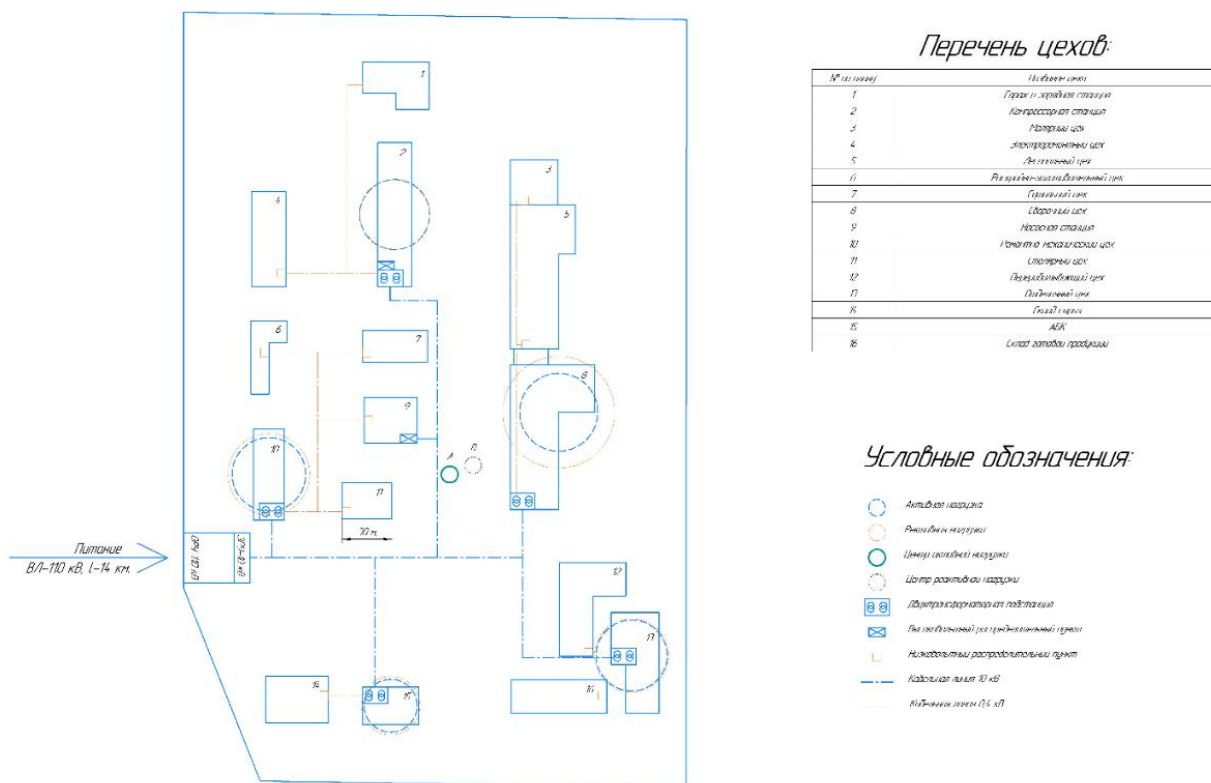


Рисунок 2 – Генеральный план предприятия с картограммой электрических нагрузок и кабельными линиями

Точка А показывает оптимальное расположение ГПП на генплане деревообрабатывающего производства. [13]

Точка В показывает оптимальное расположение устройств компенсации реактивной мощности на генплане деревообрабатывающего производства.

При нанесении этих точек на генплан деревообрабатывающего производства было установлено, что точки центров активной и реактивной нагрузок находятся вне территории цехов.

С учетом направления питающей линии и центра электрических нагрузок, ГПП нужно расположить по левому краю, где есть свободное пространство между цехом 10 и 14.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела сделаны следующие выводы, приведённые ниже. [12]

В работе расчётным путём определено, для обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения цехов и минимизации затрат на монтаж системы электроснабжения, потребуется пять двухтрансформаторных подстанций.

В работе расчётным путём также установлено, что точки центров активной и реактивной нагрузок находятся вне территории цехов.

С учетом направления питающей линии и центра электрических нагрузок, ГПП нужно расположить по левому краю, где есть свободное пространство между цехом 10 и 14.

Данные аспекты отражены и внесены в графическую часть работы.

### 3 Выбор оборудования

#### 3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

После выбора места расположения трансформаторных подстанций, количества силовых трансформаторов и схемы питания, выполняется расчет номинальной мощности трансформаторов.

Мощность конденсаторной установки вычисляется по формуле:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{к.р}), \quad (30)$$

где  $Q_{к.р}$  – расчетная мощность КУ, квар;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $cos\varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$P_p$  – расчетная активная мощность цеха, кВт;

$tg\varphi$ ,  $tg\varphi_{к.р}$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

После компенсации реактивной мощности значение  $tg\varphi_{к.р}$  должно быть в пределах от 0,33 до 0,48. [14]

После выбора конденсаторной установки выполняется расчет полной мощности цеха после компенсации:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2}. \quad (31)$$

Затем определяется плотность электрической нагрузки:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (32)$$

где  $\sigma$  – плотность электрической нагрузки цеха(-ов), кВА / м<sup>2</sup>;

$S_p$  – полная расчетная мощность по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

$F_{ц}$  – площадь цеха(-ов), м<sup>2</sup>;

В конце рассчитывается мощность цеховых трансформаторов по формуле:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T}, \quad (33)$$

где  $S_T$  – полная мощность одного трансформатора, кВА;

$S_p$  – полная расчетная мощность по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$N_T$  – количество трансформаторов в цеховой ПС.

Расчет цехов 1, 2 и 4. Категория надежности цехов – 1 и 2.

Так как идет расчет нескольких цехов, то рассчитаем суммарную расчетную активную и реактивную мощности:

$$\sum P_p = P_{p1} + P_{p2} + P_{p4} = 18,5 + 351,4 + 108,5 = 442,8 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_p = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3} = 7,5 + 308,9 + 27,2 = 424,9 \text{ квар}.$$

Определим  $\text{tg } \varphi$  для цехов, используя среднесменные мощности:

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3}}{P_{p1} + P_{p2} + P_{p4}} = \frac{7,5 + 308,9 + 27,2}{18,5 + 351,4 + 108,5} = 0,96.$$

После этого рассчитывается мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 29:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 442,8 \cdot (0,96 - 0,35) = 242,9 \text{ квар.}$$

Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ. Так как цеха 1-й и 2-й категории надежности, то будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-125-0,4.

Пересчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации:

$$S_p = \sqrt{442,8^2 + (424,9 - 250)^2} = 476,1 \text{ кВА.}$$

Теперь определим плотность электрической нагрузки цеха по формуле:

$$\sigma = \frac{476,1}{3850} = 0,1 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}.$$

Максимальная мощность трансформаторов определяется по справочным данным. [15]

Она равна 630 кВА.

$$S_T \geq \frac{476,1}{0,7 \cdot 2} = 340,1 \text{ кВА.}$$

Выбираем трансформаторы мощностью 400 кВА.

Все данные по расчетам заносятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ

№	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	Принято к установке		
									КУ	$S_{н.т}, кВА$	$n_T / n_{ку}$
1	Гараж и зарядная станция	1	3850	0,1	442,8	242,9	424,9	476,1	АУКРМ-125 0,4	400	2
2	Компрессорная станция	2									
4	Электроремонтный цех	2									
3	Заготовительный участок	2	6750	0,1	537,9	800,7	1078,0	605,1	АУКРМ-400 0,4	630	2
5	Лесопильный цех	2									
8	Сборочный цех	2									
6	Раскройно-заготовительный цех	2	3900	0,1	475,7	365,7	572,8	525,3	АУКРМ-175 0,4	630	2
7	Сушильный цех	2									
9	Насосная станция	2									
10	Ремонтно-механический цех	2									
11	Столярный цех	2	4200	0,1	459,3	283,9	476,2	491,9	АУКРМ-150 0,4	400	2
12	Перерабатывающий цех	2									
13	Отделочный цех	1									
16	Склад готовой продукции	2	1800	0,1	269,5	188,2	303,4	293,1	АУКРМ-100 0,4	250	2
14	Склад сырья	2									
15	АБК	2									
	Итого:				2185,1	1881,4	2855,2	2391,4			10

Выбор номинального напряжения ГПП зависит от активной мощности объекта и его удаленности от источника питания. [16]

Сначала нужно определить активную мощность ГПП с учетом потерь.

Активные потери в цеховых трансформаторах определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \sum S_P \cdot 0,02. \quad (34)$$

Для ГПП деревообрабатывающего производства активные потери в цеховых трансформаторах составят:

$$\Delta P_T = 2391,4 \cdot 0,02 = 47,8 \text{ кВт.}$$

Результирующая активная мощность предприятия таким образом будет определяться соотношением:

$$P_{РП} = P_{РН} + P_{РВ} + \Delta P_T. \quad (35)$$

Для ГПП деревообрабатывающего производства результирующая активная мощность составит:

$$P_{РП} = 2391,4 + 3336,4 + 47,8 = 5775,6 \text{ кВт.}$$

Напряжение ГПП определяется по формуле Стилла:

$$U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{L \cdot 0,016 \cdot P_{РП}}. \quad (36)$$

Для ГПП деревообрабатывающего производства оптимальное напряжение питания составит:



$$U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{14 \cdot 0,016 \cdot 5775,6} = 156,1 \text{ кВ.}$$

Полученное значение округляется до ближайшего номинального – 110 кВ.

После этого определяется результирующая реактивная мощность, потребляемая предприятием на стороне 110 кВ:

$$Q_{ЭС} = P_{РН} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ЭС}. \quad (37)$$

Для ГПП деревообрабатывающего производства результирующая реактивная мощность, потребляемая предприятием на стороне 110 кВ, составит:

$$Q_{ЭС} = 5775,6 \cdot 0,54 = 3118,8 \text{ квар.}$$

Полная мощность, потребляемая предприятием, определяется по формуле:

$$S_{РП} = \sqrt{P_{РП}^2 + Q_{ЭС}^2}. \quad (38)$$

Для ГПП деревообрабатывающего производства полная мощность составит:

$$S_{РП} = \sqrt{5775,6^2 + 3118,8^2} = 6563,9 \text{ кВА.}$$

Расчетная мощность трансформаторов, требуемая для установки на ГПП, определяется по формуле:

$$S_T \geq \frac{S_p \cdot K_{1-2}}{K_{ПЕР}}. \quad (39)$$

Таким образом, номинальная мощность трансформаторов деревообрабатывающего производства должна быть не менее:

$$S_T \geq \frac{6563,9 \cdot 0,8}{1,4} = 3750,8 \text{ кВА.}$$

Полученное значение округляется до ближайшего табличного значения – 4000 кВА. Таким образом, для установки на ГПП предприятия требуется два трансформатора ТМН-4000/110/10. [17]

### 3.2 Расчет питающей и распределительных линий

Экономически целесообразное сечение питающей линии можно определить по формуле:

$$F_{Эк} = \frac{I_{расч}}{j_{Эк}}. \quad (40)$$

Экономическая плотность тока для алюминиевых неизолированных проводов и шин, при числе часов использования максимум нагрузки  $T_{\max}$  от 3000 до 5000 ч/год, согласно ПУЭ, принимается  $j_{Э} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ .

Расчетный ток питающей линии определяется по формуле:

$$I_{расч} = \frac{S_p}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (41)$$

Так образом, ток линии, питающей ГПП деревообрабатывающего производства составит:

$$I_{\text{п.а.р}} = \frac{S_p}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{6563,9}{1,73 \cdot 115} = 33,0 \text{ А.}$$

В таком случае, экономически целесообразное сечение линии, питающей ГПП деревообрабатывающего производства составит:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{33,0}{1,1} = 30 \text{ мм}^2.$$

По результатам расчетов установлено, что минимальное сечение линии, питающей ГПП деревообрабатывающего производства, должно быть не меньше 30 мм<sup>2</sup>. В тоже время, по условиям коронирования минимальное сечение провода на линиях 110 кВ равно 70 мм<sup>2</sup>.

Таким образом, выбран 2-х цепный провод марки АС 3х70.

Проверяем провод по условию нагрева по (4.3).

$$I_{\text{дл.доп}} \geq I_{\text{расч.}}, \quad (42)$$

$$265 \text{ А} \geq 33,0 \text{ А.}$$

Таким образом, 2-х цепный провод марки АС 3х70 проходит проверку по условию нагрева.

Далее необходимо выполнить проверку провода по допустимой потере напряжения:

$$\Delta U' = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U_{\text{ном}}^2}, \quad (43)$$

где  $r$ ,  $x$ - активное и реактивное сопротивление линии, Ом

Активное сопротивление линии определяются по формуле:

$$R_{\text{ВЛ}} = r_0 \cdot l, \quad (44)$$

где  $r_0$ - удельное активное сопротивление линии электропередач;  
 $l$ - длина линии электропередач (принимается равной 14 км).

$$R_{ВЛ} = 0,46 \cdot 14 = 6,4 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии определяется по формуле:

$$X_{ВЛ} = x_0 \cdot l, \quad (45)$$

где  $x_0$ - удельное индуктивное сопротивление линии электропередач, (для АС 70 – 0,275 Ом/км.

$$X_{ВЛ} = 0,275 \cdot 14 = 3,9 \text{ Ом.}$$

Таким образом, потеря напряжения питающей линии составят:

$$\Delta U' = \frac{5775,6 \cdot 6,4 + 3118,8 \cdot 3,9}{115^2} = 0,4 \text{ \%}.$$

Для питающей сети 10 кВ выбраны трехжильные кабельные линии АСБ. АСБ 10 кВ – это силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, с бумажной пропитанной изоляцией, свинцовой оболочкой, наружный покров из битума и пряжи.

Для распределительной сети 0,38 кВ выбраны четырехжильные кабельные линии АВБШв.

Расчет кабельных линий 10 и 0,4 кВ выполняется аналогично расчетам и проверкам линий 110 кВ (пункт 3.2.1)

Результаты расчетов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчетов кабельных линий

Линия	Марка кабеля	L, м	Рабочий ток, А	Допустимый ток, А	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %
ГПП–ТП1	АСБ 3x25	200	65,5	91	2,37	0,02
ГПП–ТП2	АСБ 3x25	300	32,7	91	1,78	0,02
ГПП–ТП3	АСБ 3x25	40	40,9	91	0,30	0,00
ГПП–ТП4	АСБ 3x25	300	35,1	91	1,91	0,02
ГПП–ТП5	АСБ 3x25	170	20,8	91	0,64	0,01
ТП2-Цех №1	АВБбШв 4x35	150	4,9	114	0,10	0,03
ТП2-Цех №4	АВБбШв 4x120	60	184,6	226	0,42	0,11
ТП3-Цех №11	АВБбШв 4x35	40	91	114	0,40	0,11
ТП3-Цех №9	АВБбШв 2x(4x120)	100	401,3	2x226=452	1,84	0,49
ТП3-Цех №7	АВБбШв 4x120	150	184,8	226	1,06	0,28
ТП3-Цех №6	АВБбШв 4x35	150	80,5	114	1,33	0,35
ТП4-Цех №12	АВБбШв 2x(4x120)	20	351,5	2x226=452	0,32	0,09
ТП4-Цех №16	АВБбШв 4x35	30	72,3	114	0,24	0,06
ТП5-Цех №14	АВБбШв 4x240	20	271,4	337	0,13	0,03

Можно провести расчет потерь мощности в КЛ 0,38 кВ для каждого участка по величинам активных сопротивлений каждого участка КЛ 0,38 кВ и тока, протекающего по данному участку ВЛИ используя формулу [8]:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R, \quad (46)$$

где  $I$  – ток участка КЛ 0,38 кВ, А;

$R$  – активное сопротивление участка КЛ 0,38 кВ, Ом.

Годовые потери энергии за год на этом участке ВЛИ определим по формуле [8]:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (47)$$

где  $\tau$  – время потерь, соответствующее времени работы с максимальной нагрузкой, ч.

Результаты расчетов потерь КЛ 0,38 кВ электрической сети представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели потерь КЛ 0,38 кВ

Уч-к КЛ 0,38 кВ	$S_{расч}$ , кВА	$R_0$ , Ом/км	L, км	I, А	$\Delta P$ , тыс. кВт	$\Delta W$ , тыс. кВт·ч
ТП2-Цех №1	3,4	0,92	0,15	4,9	9,9	22116,8
ТП2-Цех №4	127,9	0,27	0,06	184,6	1656,1	3684933,7
ТП3-Цех №11	63,1	0,92	0,04	91	914,2	2034144,8
ТП3-Цех №9	278	0,27	0,1	401,3	13044,4	29023738,6
ТП3-Цех №7	128,1	0,27	0,15	184,8	4149,4	9232306,8
ТП3-Цех №6	55,7	0,92	0,15	80,5	2682,8	5969282,3
ТП4-Цех №12	243,5	0,27	0,02	351,5	2001,5	4453440,9
ТП4-Цех №16	50,1	0,92	0,03	72,3	432,8	963023,6
ТП5-Цех №14	188	0,132	0,02	271,4	583,4	1298000,6
Итого:					25474,6	56680988,1

Результаты расчетов потерь КЛ 10 кВ представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели потерь КЛ 10 кВ

Уч-к КЛ 10 кВ	$S_{расч}$ , кВА	$R_0$ , Ом/км	L, км	I, А	$\Delta P$ , тыс. кВт	$\Delta W$ , тыс. кВт·ч
ГПП–ТП1	1191,9	1,24	0,2	65,5	3195,9	7110811,2
ГПП–ТП2	594,3	1,24	0,3	32,7	1191,7	2651556,5
ГПП–ТП3	743,8	1,24	0,04	40,9	248,9	553849,2
ГПП–ТП4	637,7	1,24	0,3	35,1	1372,4	3053593,4
ГПП–ТП5	378,6	1,24	0,17	20,8	274,1	609831,5
Итого:					6283,0	13979641,8

Таким образом, общие потери в КЛ 0,38 кВ составили 56680988,1 тыс. кВт·ч, потери в КЛ 10 кВ – 13979641,8 тыс. кВт·ч.

### 3.3 Расчет токов КЗ

Расчетная схема для определения токов КЗ приведена на рисунке 3, схема замещения на рисунке 4.

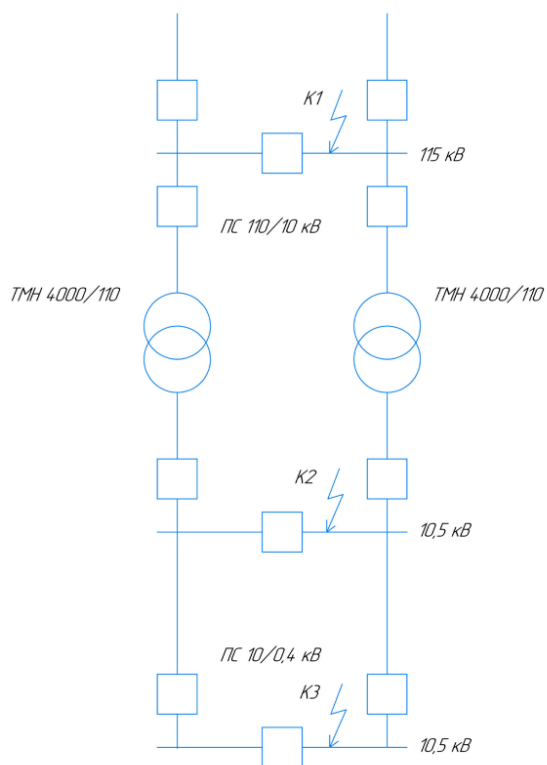


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения токов КЗ

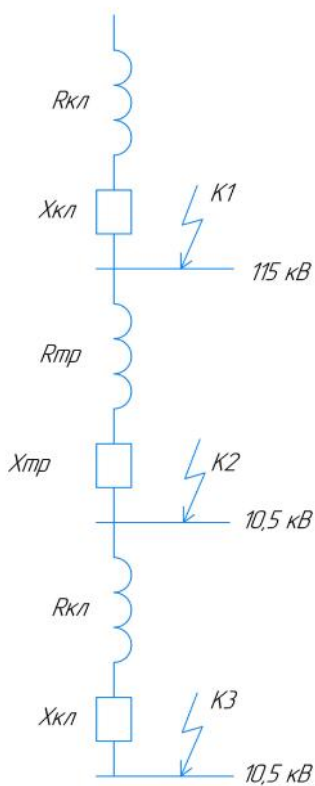


Рисунок 4 – Схема замещения для определения токов КЗ

В соответствии с расчетной схемой, точка КЗ К1 находится на 110 кВ ПС 110/10 кВ, точка К2 – на шинах 10 кВ ГПП, а точка К3 – на шинах 10 кВ ТП1. Остальные точки КЗ расположены на шинах 10 кВ ТП1-ТП5. Базисное напряжение больше на 5%, чем номинальное значение. Таким образом, для точки К1 базисное значение напряжения составит,

$$U_{б1} = 115 \text{ кВ.}$$

Ток короткого замыкания на шинах центра питания равно 15,3 кА.

В соответствии со схемой замещения, результирующее сопротивление до точки К1 будет складываться из сопротивления воздушной линии, а также сопротивления системы.

Реактивное сопротивление системы определяется по формуле:

$$X_C = Z_C = \frac{U_{б1}}{\sqrt{3} \cdot I_C}. \quad (48)$$

Реактивное сопротивление системы для максимального значения тока КЗ составит:

$$X_C = Z_C = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 15,3} = 4,3 \text{ Ом.}$$

Далее определяется реактивное сопротивление до точки К1 по формуле:

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{ВЛ}. \quad (49)$$

Таким образом, реактивное сопротивление до точки К1 составит:

$$X_{\Sigma K1} = 4,3 + 3,9 = 8,2 \text{ Ом.}$$



Суммарное активное сопротивление до точки К1 равно:

$$R_{\Sigma K1} = R_{ВЛ} = 6,4 \text{ Ом.} \quad (50)$$

Полное сопротивление определяется по формуле:

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{(R_{\Sigma K1})^2 + (X_{\Sigma K1})^2}. \quad (51)$$

Таким образом, полное сопротивление до точки К1 составит:

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{6,4^2 + 8,2^2} = 10,4 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем значение установившегося тока короткого замыкания в первой точке:

$$I_{K1} = \frac{U_{61}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}}, \quad (52)$$
$$I_{K1} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 10,4} = 6,4 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1 определяется по формуле:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot K_{уд1}, \quad (53)$$

где  $K_{уд1}$  – ударный коэффициент, равный 1,72.

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 6,4 \cdot 1,72 = 15,6 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания в точке К1 определяется по формуле:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot I_{K1} \cdot U_6, \quad (54)$$

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot 6,4 \cdot 115 = 1274,8 \text{ МВА.}$$

После определения тока КЗ в точке К1 необходимо выполнить расчет тока КЗ в точке К2 – на шинах 10 кВ ПС 110/10 кВ.

Базисное напряжение в точке К2 составит:

$$U_{б2} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Согласно схеме замещения на рисунке 4, суммарное активное сопротивление системы до точки К2 на ПС 110/10 кВ составит:

$$R_{\Sigma K2} = R'_{\Sigma K1} + R_{ПС}. \quad (55)$$

После этого, необходимо определить суммарное индуктивное сопротивление системы до точки К2. Согласно схеме замещения на рисунке 4, суммарное индуктивное сопротивление системы до точки К2 на ПС 110/10 кВ составит:

$$X_{\Sigma K2} = X'_{\Sigma K1} + X_{ПС}. \quad (56)$$

Активное сопротивление силового трансформатора, установленного на ГПП, определяется по формуле:

$$R_{ПС} = \frac{\Delta P_{КЗ} \cdot U_б^2}{S_{НОМ}^2} \cdot 10^{-3}. \quad (57)$$

Для силового трансформатора ТМН-4000/110/10 активное сопротивление составит:

$$R_{\text{ПС}} = \frac{33,5 \cdot 10,5^2}{4^2} \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление силового трансформатора, установленного на ГПП, определяется по формуле:

$$X_{\text{ПС}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_6^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}} \quad (58)$$

Для силового трансформатора ТМН-4000/110/10 индуктивное сопротивление составит:

$$X_{\text{ПС}} = \frac{7,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 4} = 2,1 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивления системы до точки К1, приведенные к базисному напряжению в точке К2 определяется по формуле:

$$R'_{\Sigma\text{К1}} = R_{\Sigma\text{К1}} \cdot \left(\frac{U_{62}}{U_{61}}\right)^2 \quad (59)$$

Индуктивное сопротивления системы до точки К1, приведенные к базисному напряжению в точке К2 определяется по формуле:

$$X'_{\Sigma\text{К1}} = X_{\Sigma\text{К1}} \cdot \left(\frac{U_{62}}{U_{61}}\right)^2 \quad (60)$$

Активное сопротивления системы до точки К1, приведенные к базисному напряжению в точке К2 для ГПП деревообрабатывающее производства составит:

$$R'_{\Sigma K1} = 6,4 \cdot \left(\frac{10,5}{115}\right)^2 = 0,05 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивления системы до точки К1, приведенные к базисному напряжению в точке К2 для ГПП деревообрабатывающее производства составит:

$$X'_{\Sigma K1} = 8,2 \cdot \left(\frac{10,5}{115}\right)^2 = 0,07 \text{ Ом.}$$

После этого, необходимо определить суммарное активное сопротивление системы до точки К2. [18] Согласно схеме замещения на рисунке 4, суммарное индуктивное сопротивление системы до точки К2 на ПС 110/10 кВ составит:

$$R_{\Sigma K2} = 0,05 + 0,2 = 0,25 \text{ Ом.}$$

После этого, необходимо определить суммарное индуктивное сопротивление системы до точки К2. [19] Согласно схеме замещения на рисунке 4, суммарное индуктивное сопротивление системы до точки К2 на ПС 110/10 кВ составит:

$$X_{\Sigma K2} = 0,07 + 2,1 = 2,17 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление до точки К2 составит:

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,25^2 + 2,17^2} = 2,2 \text{ Ом.}$$

Ток короткого замыкания в точке К2 составит:

$$I_{K2} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,2} = 2,8 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К2 составит:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 2,8 \cdot 1,9 = 7,5 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания в точке К2 составит:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot 2,8 \cdot 10,5 = 50,9 \text{ МВА.}$$

Далее произведен расчет токов короткого замыкания в точке К3 – на шинах высокого напряжения трансформаторов ТП. Базисное напряжение:

$$U_{62} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Суммарное активное сопротивление до точки К2 равно:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{KL}. \quad (61)$$

Суммарное реактивное сопротивление до точки К2 равно:

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{KL}. \quad (62)$$

Результат расчетов токов К3 для остальных точек, согласно расчетной схеме, приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Результат расчетов токов КЗ

ТП	L, м	r <sub>0</sub> , Ом/км	x <sub>0</sub> , Ом/км	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I, кА	i <sub>уд</sub> , кА	S, МВА
ТП1	200	1,24	0,099	0,498	2,1898	2,245713	2,7	7,2	49,1
ТП2	300	1,24	0,099	0,622	2,1997	2,285949	2,7	7,1	48,2
ТП3	40	1,24	0,099	0,2996	2,17396	2,194507	2,8	7,4	50,2
ТП4	300	1,24	0,099	0,622	2,1997	2,285949	2,7	7,1	48,2
ТП5	170	1,24	0,099	0,4608	2,18683	2,234852	2,7	7,3	49,3

Как видно в таблице 12, наибольший ток короткого замыкания составил в ТП3 – 2,8 кА, что объясняется ее близким расположением от центра питания, на остальных ТП ток короткого замыкания составил 2,7 кА.

### 3.4 Выбор оборудования

Согласно принятой схеме, на вводах 110 кВ установлены выключатели нагрузки.

В качестве коммутационных аппаратов на вводе применяются элегазовые выключатели с электромагнитным приводом ВГТ-110-40/200.

Выключатели серии ВГТ изготавливаются как в трехполюсном так и в однополюсном исполнении предназначены, для выполнения коммутационных операций (включений и отключений), а также циклов АПВ при заданных условиях в нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока 50 Гц с номинальным напряжением 110 кВ с заземленной нейтралью. [25]

Проверка выключателя ВГТ-110-40/2000 приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Проверка выключателя ВГТ-110-40/2000

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{уст}$
$I_{раб.утяж} = 20,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	$I_{раб.утяж} \leq I_{ном}$
$6,4^2 \cdot 0,5 = 20,5$	$40^2 \cdot 3 = 4800$	$I_{К1}^2 \cdot t \leq I_{тер}^2 \cdot t_{пр}$
15,6	40	$i_{уд1} \leq I_{ДС}$

Выключатель ВГТ-110-40/2000 проходит по всем условиям.

Согласно принятой схеме, ГПП оборудована вводными и секционными разъединителями. Выбираем разъединитель РГ-110/1000.

Проверка разъединителя РГ-110/1000 приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка разъединителя РГ-110/1000

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{уст}$
$I_{раб.утяж} = 20,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{раб.утяж} \leq I_{ном}$
$6,4^2 \cdot 0,5 = 20,5$	$31,5^2 \cdot 3 = 2977$	$I_{К1}^2 \cdot t \leq I_{тер}^2 \cdot t_{пр}$
15,6	80	$i_{уд1} \leq I_{ДС}$

Разъединитель РГ-110/1000 проходит по всем условиям. [24]

Проверка трансформатора тока ТРГ-110 приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Проверка трансформатора тока ТРГ-110

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{уст}$
$I_{раб.утяж} = 20,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$	$I_{раб.утяж} \leq I_{ном}$
$6,4^2 \cdot 0,5 = 20,5$	$23^2 \cdot 3 = 1587$	$I_{К1}^2 \cdot t \leq I_{тер}^2 \cdot t_{пр}$
15,6	102	$i_{уд1} \leq I_{тер}^2 \cdot I_{ДС}$

Трансформатор тока ТРГ-110 проходит по всем условиям.

Далее выбираем трансформатор напряжения НАМИ-110.

Проверка трансформатора напряжения НАМИ-110 приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Проверка трансформатора тока ТРГ-110

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{уст}$
19	120	$S_2 \leq S_{ном}$

Выбор выключателя для наиболее загруженного присоединения ГПП-ТП4.

Принимаем к установке на вводной и секционной ячейке выключатель ВБЭ-10/31,5/1600 УХЛ2.

Выключатели ВБЭ-10-31,5/630-1600 и ВБЭ-10-31,5/2000-3150 предназначены для частых коммутаций электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в ячейках комплектных распределительных устройств в электрических сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 6-10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью. [20]

Проверка выключателя ВБЭ-10/31,5/1600 УХЛ2 приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Проверка выключателя ВБЭ-10/31,5/630 УХЛ2

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{уст}$
$I_{раб.утяж} = 220 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{ном} \geq I_{раб.утяж}$
$2,8^2 \cdot 0,5 = 3,9$	$31,5^2 \cdot 3 = 2977$	$I_{к1}^2 \cdot t \leq I_{тер}^2 \cdot t_{пр}$
7,5	80	$i_{уд1} \leq I_{дс}$

Выключатель ВБЭ-10/31,5/630 проходит по всем условиям.

Значения тока КЗ и ударного тока в ячейках отходящих линий не отличаются. Проверки выключателей на отходящих линиях по току приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Проверка выключателей отходящих линий

Линия	$I_{раб}, \text{ А}$	$I_{ном}, \text{ А}$
ГПП-ТП1	22	630
ГПП-ТП2	35	630
ГПП-ТП3	35	630
ГПП-ТП4	22	630
ГПП-ТП5	14	630

Выключатель ВБЭ-10/31,5/630 проходит по всем условиям.

Выводы по разделу 3.

Установлено, что для установки на ГПП предприятия требуется два трансформатора ТМН-4000/110/10. Для цеховых трансформаторных подстанций выбраны силовые трансформаторы 250-630 кВА. [23]

Исходя из требований ПУЭ была разработана схема электроснабжения для данного объекта. Был произведен выбор электрооборудования, кабели,



шины и провода, для подстанции. В работе приведены соответствующие расчеты и условия выбора.

По результатам расчетов установлено, что минимальное сечение линии, питающей ГПП деревообрабатывающего производства, должно быть не меньше 30 мм<sup>2</sup>. В тоже время, по условиям коронирования минимальное сечение провода на линиях 110 кВ равно 70 мм<sup>2</sup>. Таким образом, выбран 2-х цепный провод марки АС 3х70. [22]

Для сети 10 кВ выбраны трехжильные кабельные линии АСБ. АСБ 10 кВ – это силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, с бумажной пропитанной изоляцией, свинцовой оболочкой, наружный покров из битума и пряжи. Для распределительной сети 0,38 кВ выбраны четырехжильные кабельные линии АВБШв.

Согласно принятой схеме, на вводах 110 кВ установлены выключатели нагрузки. В качестве коммутационных аппаратов на вводе применяются элегазовые выключатели с электромагнитным приводом ВГТ-110-40/200. Согласно принятой схеме, ГПП оборудована вводными и секционными разъединителями. [21]

Выбраны разъединители РГ-110/1000. После чего выбраны трансформаторы тока ТРГ-110 и трансформаторы напряжения НАМИ-110. Для РУ-10 кВ приняты к установке на вводной и секционной ячейке выключатель ВБЭ-10/31,5/1600 УХЛ2. Выключатели ВБЭ-10-31,5/630-1600 и ВБЭ-10-31,5/2000-3150 предназначены для частых коммутаций электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в ячейках комплектных распределительных устройств в электрических сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 6-10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью.

Установлено, что все оборудование ПС 110/10 кВ проходит по всем условиям проверок.

## Заключение

В результате написания работы была достигнута цель работы – разработка проекта системы электроснабжения предприятия по выпуску деревянных изделий.

В соответствии с поставленной целью решены следующие задачи:

- выполнен расчет электрических нагрузок;
- выбрано количество и мощность установок компенсации реактивной мощности;
- определено место расположения цеховых ТП и ГПП;
- выбрано количество и мощность силовых трансформаторов 10/0,4 кВ и 110/10 кВ;
- выбраны кабельные линии;
- выбрано коммутационного оборудования.

Для решения поставленных задач работа разделена на три главы.

В первой главе приведено описание предприятия – краткая характеристика, перечень электрооборудования и план помещений.

Установлено, что объектом исследования является деревообрабатывающее производство, состоящее из 16 зданий.

Определено, что цеха относятся ко второй и третьей категории надежности электроснабжения. Таким образом, требуется два силовых трансформатора на ГПП для обеспечения требуемого уровня надежности.

Во второй главе проведен расчет нагрузки предприятия в целом и выбрано место расположения цеховых трансформаторных подстанций и ГПП.

При расчете номинальной мощности силовых трансформаторов предприятия основное значение имеет расчетная нагрузка потребителей.

Стоит учесть, что перед определением мощности силовых трансформаторов необходимо выполнить расчет компенсации реактивной мощности.

Сначала нужно подробно изучить генплан предприятия, оценив взаимное расположением цехов и их мощность.

Трансформаторные подстанции устанавливаются в цехах с наибольшей мощностью, причем, от них могут быть запитаны близко расположенные цеха с небольшой мощностью.

Так, в рассматриваемом предприятии цех 2 имеет большую нагрузку, причем, рядом с ним расположены цеха 1 и 4, имеющие небольшую нагрузку. Таким образом, их целесообразно запитать от одной двухтрансформаторной подстанции.

Также стоит объединить цеха 6, 7, 9, 10 и 11.

Подстанция, в данном случае, будет расположена в цехе 10, так как он имеет наибольшую мощность из этой группы цехов.

Цеха 12, 13 и 16, также находятся в близко друг к другу. Подстанция будет расположена в цехе 13.

Цеха 14 и 15 имеют небольшую нагрузку и удалены от остальных цехов. Они также будут запитаны от одной двухтрансформаторной подстанции, расположенной в цехе 15.

Цеха 3, 5 и 8 примыкают друг к другу. Трансформаторную подстанцию следует установить в цехе 8, так как он имеет наибольшую мощность.

Расположение ГПП как можно ближе к центру электрических нагрузок позволит добиться наилучших технико-экономических показателей системы электроснабжения благодаря снижению затрат на распределительные сети и на дальнейшие потери электрической энергии в системе электроснабжения.

Точка А показывает оптимальное расположение ГПП на генплане деревообрабатывающего производства.

Точка В показывает оптимальное расположение устройств компенсации реактивной мощности на генплане деревообрабатывающего производства.

При нанесении этих точек на генплан деревообрабатывающего производства было установлено, что точки центров активной и реактивной нагрузок находятся вне территории цехов. С учетом направления питающей

линии и центра электрических нагрузок, ГПП нужно расположить по левому краю, где есть свободное пространство между цехом 10 и 14.

В третьей главе производится выбор оборудования ПС 110/10 кВ.

После выбора места расположения трансформаторных подстанций, количества силовых трансформаторов и схемы питания, выполняется расчет номинальной мощности трансформаторов.

Установлено, что для установки на ГПП предприятия требуется два трансформатора ТМН-4000/110/10.

Для цеховых трансформаторных подстанций выбраны силовые трансформаторы 250-630 кВА.

Исходя из требований ПУЭ была разработана схема электроснабжения для данного объекта.

Был произведен выбор электрооборудования, кабели, шины и провода, для подстанции. В работе приведены соответствующие расчеты и условия выбора.

По результатам расчетов установлено, что минимальное сечение линии, питающей ГПП деревообрабатывающего производства, должно быть не меньше 30 мм<sup>2</sup>. В тоже время, по условиям коронирования минимальное сечение провода на линиях 110 кВ равно 70 мм<sup>2</sup>. Таким образом, выбран 2-х цепный провод марки АС 3х70.

Для сети 10 кВ выбраны трехжильные кабельные линии АСБ. АСБ 10 кВ – это силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, с бумажной пропитанной изоляцией, свинцовой оболочкой, наружный покров из битума и пряжи.

Для распределительной сети 0,38 кВ выбраны четырехжильные кабельные линии АВББШв.

Согласно принятой схеме, на вводах 110 кВ установлены выключатели нагрузки.

В качестве коммутационных аппаратов на вводе применяются элегазовые выключатели с электромагнитным приводом ВГТ-110-40/200.

Согласно принятой схеме, ГПП оборудована вводными и секционными разъединителями. Выбраны разъединители РГ-110/1000.

После чего выбраны трансформаторы тока ТРГ-110 и трансформаторы напряжения НАМИ-110.

Для РУ-10 кВ приняты к установке на вводной и секционной ячейке выключатель ВБЭ-10/31,5/1600 УХЛ2.

Выключатели ВБЭ-10-31,5/630-1600 и ВБЭ-10-31,5/2000-3150 предназначены для частых коммутаций электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в ячейках комплектных распределительных устройств в электрических сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 6-10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью.

Установлено, что все оборудование ПС 110/10 кВ проходит по всем условиям проверок.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. - 343 с.
3. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
5. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. - 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального

образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: ИЦ Академия, 2016. - 448 с.

12. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

13. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. - 312 с.

15. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 05.05.2022).

16. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 05.05.2022).

17. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения: 05.05.2022).

18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.

21. Bhalja B., Maheshwari R. P., Chothani N. Protection and Switchgear (Oxford Higher Education). - 1 изд. - Oxford: Oxford University Press, 2019. - 576 с.

22. Croft T., Hartwell F.P., Summers W.I. American Electricians' Handbook. - 16 изд. - New York City: McGraw-Hill Education, 2019. 1712 с.

23. Gönen T. Electric Power Distribution Engineering. - 3 изд. – Boca Raton: CRC Press, 2018. 1061 с.

24. McPartland J.F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2019. 320 с.

25. Ram B. Power System Protection and Switchgear. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2019. 684 с.