

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 Электроснабжение ООО «ЛДК Сегежский»

Студент

С.Ю. Асапов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

Выпускная квалифицированная работа 51 с., 7 рис., 18 табл., 28 источников.

Ключевые слова: электроснабжение, нагрузка, потребитель, электрооборудование, подстанция, трансформатор, линия электропередачи, заземление, молниезащита.

В данной работе производится разработка системы электроснабжения производственной базы деревообрабатывающего предприятия.

Объект исследования: промышленное предприятие.

Предмет исследования: СЭС промышленного предприятия.

Цель работы: проектирование СЭС предприятия с условием обеспечения надежного электроснабжения потребителей и безопасной эксплуатации электрооборудования.

Актуальность разработки состоит в том, что ввод в эксплуатацию производственной базы предприятия невозможен без обеспечения качественного и надежного электроснабжения всех электроприемников производственных цехов, вспомогательных, административных и прочих зданий.

Результаты данной работы могут быть рекомендованы к использованию при проектировании СЭС новых подобных промышленных объектов и реконструкции действующих СЭС.

Содержание ВКР включает в себя следующие вопросы: краткая характеристика предприятия и производства, исходные данные; проектирование системы электроснабжения предприятия; охрана труда, обеспечение безопасности.

## Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика предприятия и производства, исходные данные ....	6
1.1 Краткая характеристика предприятия и производства .....	6
1.2 Исходные данные на проектирование .....	6
2 Проектирование системы электроснабжения предприятия .....	10
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	10
2.2 Построение картограммы нагрузок и определение оптимального местоположения ГПП .....	15
2.3 Выбор цеховых ТП и силовых трансформаторов.....	19
2.4 Выбор силовых трансформаторов ГПП.....	23
2.5 Расчет распределительной сети, выбор кабелей.....	27
2.6 Расчет токов КЗ .....	31
2.7 Выбор электрооборудования ГПП .....	36
2.8 Релейная защита и автоматика .....	39
3 Охрана труда, обеспечение безопасности .....	40
3.1 Обеспечение охраны труда .....	40
3.2 Заземление и молниезащита ТП .....	41
3.3 Заземление и молниезащита ГПП .....	44
Заключение .....	48
Список используемых источников.....	49
Приложение А. План прокладки КЛ.....	49
Приложение Б. Схема релейной защиты силовых трансформаторов ГПП ....	49
Приложение В. Схема релейной защиты линий 10 кВ .....	49

## Введение

В данной работе производится разработка системы электроснабжения (СЭС) производственной базы деревообрабатывающего предприятия.

Актуальность разработки состоит в том, что на данный момент «технологические процессы почти любого современного промышленного предприятия осуществляются с применением различного электрооборудования (расположенного в производственных цехах)» [28]. Ввод в эксплуатацию производственной базы ООО «ЛДК «Сегежский» невозможен без обеспечения качественного и надежного электроснабжения всех электроприемников производственных цехов, вспомогательных, административных и прочих зданий. Результаты данной работы могут быть рекомендованы к использованию при проектировании СЭС новых подобных промышленных объектов и реконструкции действующих СЭС.

Объект исследования: промышленное предприятие.

Предмет исследования: СЭС промышленного предприятия.

Цель работы: проектирование СЭС предприятия с условием обеспечения надежного электроснабжения потребителей и безопасной эксплуатации электрооборудования.

В ходе выполнения работы необходимо решить задачи:

- привести краткую характеристику предприятия и производства;
- систематизировать исходные данные на проектирование, составить генеральный план производственной базы;
- выполнить расчет силовых электрических нагрузок;
- выполнить расчет нагрузки освещения;
- построить картограмму нагрузок и определить оптимальное местоположение ГПП;
- рассчитать КРМ, выбрать компенсирующие устройства;
- провести выбор цеховых ТП и силовых трансформаторов;
- выбрать силовые трансформаторы ГПП;

- провести расчет распределительной сети, выбор кабелей;
- составить схема замещения, рассчитать токи КЗ;
- выбрать основное электрооборудование ГПП;
- провести выбор терминалов РЗА для защиты силовых трансформаторов и линий распределительной сети, составить схемы подключения терминалов;
- рассмотреть обеспечение ОТ и безопасности труда;
- рассчитать заземление и молниезащиту ТП;
- рассчитать заземление и молниезащиту ГПП.

В процессе работы были использованы эмпирические и комплексно комбинированные методы исследования, а именно: изучение документации и информационных материалов; анализ и синтез; аналитико-расчётный.

## **1 Краткая характеристика предприятия и производства, исходные данные**

### **1.1 Краткая характеристика предприятия и производства**

«Основной технологический процесс предприятия – обработка пиломатериалов и изготовление древесной продукции. Предприятие введено в эксплуатацию в 1940 году, первоначально как лесопильный цех Сегежского ЦБК, расположенного в городе Сегежа Республики Карелия. Комбинат производит пиломатериалы из древесины хвойных пород и технологическую щепу. Производственные мощности предприятия составляют 297 тыс. м<sup>3</sup> по распилу круглого леса в год. Сушка, обработка и пакетирование пиломатериалов производится на оборудовании финского производства Valmet и Plan-Sell. Пиломатериалы поставляются автомобильным и водным видами транспорта в пакетах, упакованных в пленку с пяти сторон. Покупателями продукции предприятия являются страны Европы - Англия, Голландия, Бельгия, Дания, Франция, Италия. С 2014 года ЛДК является предприятием в составе Segezha Group корпорации АФК Система» [26].

В настоящее время в ООО «ЛДК «Сегежский» планируется расширение производства, для чего будет вводиться в эксплуатацию новая производственная база. Далее систематизируем исходные данные для проектирования СЭС данной производственной базы.

### **1.2 Исходные данные на проектирование**

Исходя из проектно-технической документации производственной базы, выделены ключевые исходные данные на проектирование.

Генплан предприятия показан на рисунке 1.

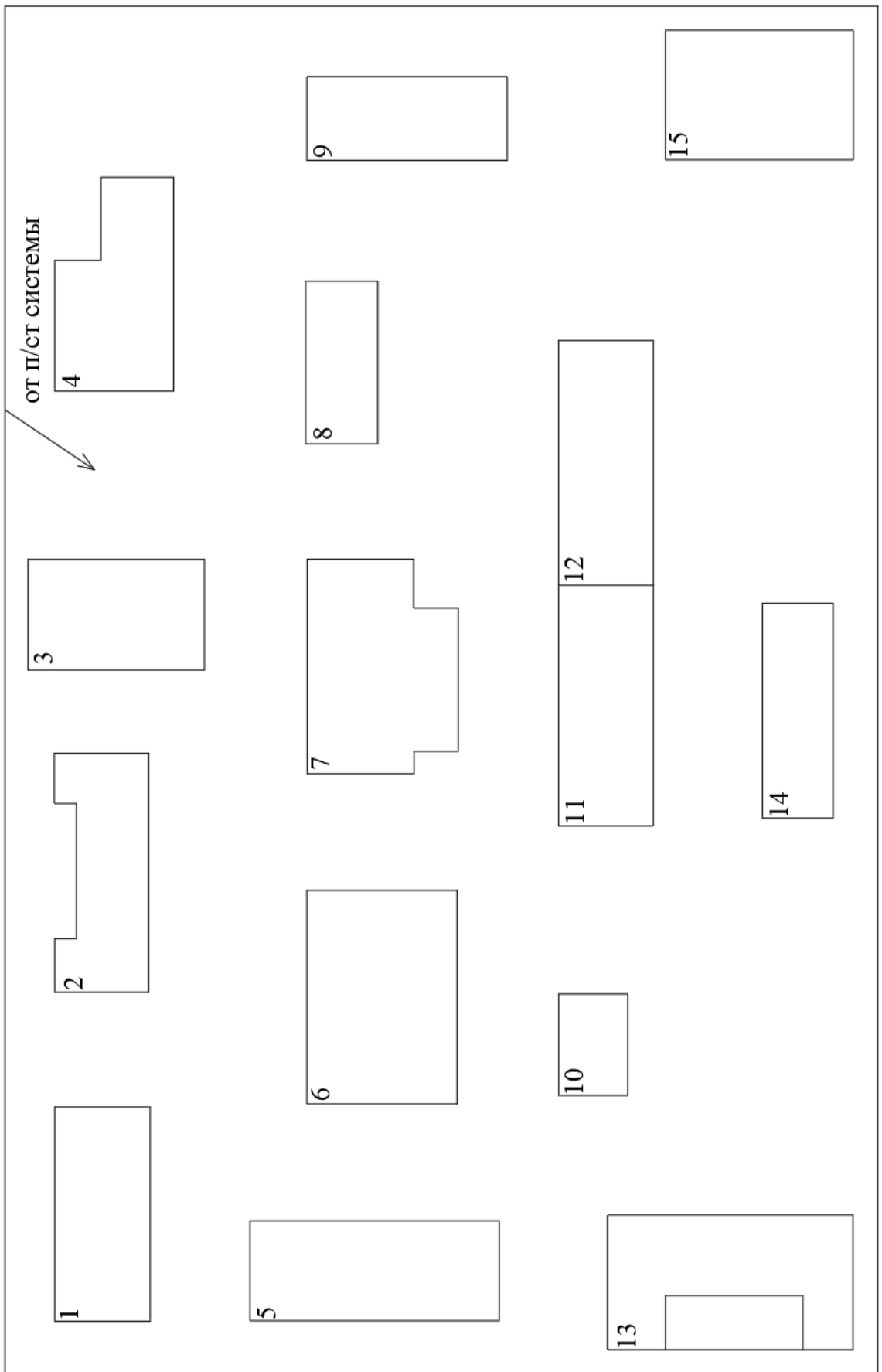


Рисунок 1 – Генплан предприятия

Основные данные по зданиям как по электроприемникам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные данные по зданиям как по электроприемникам

N п/п	Наименование участков	Кол-во эл.пр.	Р уст, кВт		cosφ	tgφ	Ки
			эп, Рном	∑Рном			
1	Распиловочный цех	78	1,0...100,0	3175	0,65	1,17	0,4
2	Цех сушки	54	4,5...80,0	2785	0,8	0,75	0,8
3	Склад №1	29	4,5...30,0	405	0,65	1,17	0,25
4	Цех обработки пиломатериалов	98	1,0...40,0	1190	0,65	1,17	0,45
5	Цех евровагонки	41	1,0...80,0	705	0,65	1,17	0,45
6	Цех пакетирования №1	39	1,0...55,0	980	0,65	1,17	0,45
7	Цех пакетирования №2	56	0,8...40,0	1090	0,65	1,17	0,45
8	Склад №2	9	1,0...20,0	135	0,65	1,17	0,25
9	Цех плит ОСП	29	1,0...30,0	472	0,65	1,17	0,35
10	Компрессорная: а) 0,38 кВ	9	10,0...30,0	128	0,8	0,75	0,7
10	б) синхр. двигатели 10 кВ	2	750	1500	0,8	0,75	0,7
11	Цех плит ДСП	79	1,0...35,0	1640	0,75	0,88	0,6
12	Мастерская	37	1,2...40,0	205	0,72	0,96	0,4
13	Административное здание	39	1,0...40,0	405	0,7	1,02	0,3
14	Котельная	37	4,5...75,0	870	0,75	0,88	0,6
15	Цех технологической щепы	29	1,0...30,0	255	0,75	0,88	0,25

«Электроснабжение предприятия будет выполнено по двум вводам ВЛ 110 кВ от подстанции ПС 110/10 кВ энергосистемы, расположенной на расстоянии 6,9 км. Марка проводов двухцепной ВЛ 110 кВ – АС-70/11» [14].



Требуемые категории надёжности электроснабжения и характеристики производственной среды по участкам приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Требуемые категории надёжности электроснабжения и характеристики производственной среды по участкам

№п/п	Участок	Категория по надёжности	Производственная среда
1	Распиловочный цех	II	Пыльная, пожароопасная
2	Цех сушки	II	Жаркая
3	Склад №1	III	Пожароопасная
4	Цех обработки пиломатериалов	II	Пожароопасная
5	Цех евровагонки	II	Пожароопасная
6	Цех пакетирования №1	II	Пожароопасная
7	Цех пакетирования №2	II	Пожароопасная
8	Склад №2	III	Пожароопасная
9	Цех плит ОСП	II	Пожароопасная
10	Компрессорная 0,38 кВ, 10 кВ	I	Нормальная
11	Цех плит ДСП	II	Пожароопасная
12	Мастерская	II	Нормальная
13	Административное здание	III	Нормальная
14	Котельная	I	Жаркая, пыльная
15	Цех технологической щепы	II	Нормальная

Вывод по разделу 1.

В данном разделе приведена краткая характеристика предприятия и производства, систематизированы все необходимые исходные данные для разработки СЭС. Составлен генеральный план предприятия, представлены основные данные по зданиям как по электроприемникам.

## 2 Проектирование системы электроснабжения предприятия

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

«Для расчета актуальных электрических нагрузок производственных участков используется метод коэффициента использования активной мощности нагрузок. Формула для расчета среднесменных активных мощностей по участкам:

$$P_{cp} = K_{ua} \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где  $K_{ua}$  – коэффициент использования активной мощности для данного участка;

$P_{ном}$  – номинальная активная мощность электроприемников данного участка, кВт» [5].

«Формула для расчета среднесменных реактивных мощностей по участкам:

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

Формула для расчета среднесменных полных мощностей по участкам:

$$S_{cp} = \sqrt{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}, \text{ кВА} \quad (3)$$

Формула для определения расчетных активных мощностей по участкам:

$$P_p = K_p \cdot P_{cp}, \quad (4)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки для данного участка» [6].

«Формулы для определения расчетных реактивных мощностей по участкам:

$$\begin{aligned} \text{при } n_э \leq 10, Q_p &= 1,1 \cdot Q_{cp} \\ \text{при } n_э > 10, Q_p &= 1 \cdot Q_{cp}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $n_э$  – эффективное число электроприемников, шт» [5].

$$n_э = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum P_n^2}, \quad (6)$$

«При условии, что отношение максимальной мощности электроприемника на участке к минимальной  $m > 3$  и  $K_n \geq 0,2$ , эффективное число электроприемников определяется по выражению:

$$n_э = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ni}}{P_{n \max}}, \quad (7)$$

где  $n$  – фактическое число потребителей на данном участке, шт;

$P_n$  – суммарная активная мощность потребителей, кВт» [7].

Если расчетное  $n_э > n$ , то  $n_э = n$ .

Пример расчета нагрузок (участок №1).

$$m = 100 / 1,0 = 100.$$

Среднесменные мощности, по (1,2):

$$P_{cp} = 0,4 \cdot 3175 = 1270 \text{ кВт}$$

$$Q_{cp} = 1270 \cdot 1,17 = 1484,79 \text{ квар}$$

Среднесменные нагрузки остальных участков определены аналогично, результаты в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет среднесменных нагрузок участков

N п/п	Наименование участков	P уст, кВт					Среднесменные мощности		
		эп, Pном	ΣPном	cosφ	tgφ	Kи	Pcp, кВт	Qcp, квар	Scp, кВА
1	Распиловочный цех	1,0...100,0	3175	0,65	1,17	0,4	1270	1484,79	1953,85
2	Цех сушки	4,5...80,0	2785	0,8	0,75	0,8	2228	1671,00	2785,00
3	Склад №1	4,5...30,0	405	0,65	1,17	0,25	101,25	118,37	155,77
4	Цех обработки пиломатериалов	1,0...40,0	1190	0,65	1,17	0,45	535,5	626,07	823,85
5	Цех евровагонки	1,0...80,0	705	0,65	1,17	0,45	317,25	370,91	488,08
6	Цех пакетирования №1	1,0...55,0	980	0,65	1,17	0,45	441	515,59	678,46
7	Цех пакетирования №2	0,8...40,0	1090	0,65	1,17	0,45	490,5	573,46	754,62
8	Склад №2	1,0...20,0	135	0,65	1,17	0,25	33,75	39,46	51,92
9	Цех плит ОСП	1,0...30,0	472	0,65	1,17	0,35	165,2	193,14	254,15
10	Компрессорная: а) 0,38 кВ	10,0...30,0	128	0,8	0,75	0,7	89,6	67,20	112,00
10	б) синхр. двигатели 10 кВ	750	1500	0,8	0,75	0,7	1050	0,00	1050,00
11	Цех плит ДСП	1,0...35,0	1640	0,75	0,88	0,6	984	867,81	1312,00
12	Мастерская	1,2...40,0	205	0,72	0,96	0,4	82	79,04	113,89
13	Административное здание	1,0...40,0	405	0,7	1,02	0,3	121,5	123,95	173,57
14	Котельная	4,5...75,0	870	0,75	0,88	0,6	522	460,36	696,00
15	Цех технологической щепы	1,0...30,0	255	0,75	0,88	0,25	63,75	56,22	85,00

Далее определяются расчетные нагрузки по участкам.

Пример расчета для участка №1 по формулам (3,4,5,7).

$$n_3 = \frac{2 \cdot 3175}{100} = 64$$

$$P_p = 1,11 \cdot 1270 = 1409,7 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1 \cdot 1484,79 = 1484,79 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{1409,7^2 + 1484,79^2} = 2047,41 \text{ кВА}$$

Для остальных участков расчеты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные мощности участков

N п/п	Наименование участков	пэ	Кр	Расчетные мощности		
				Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	Распиловочный цех	63,5	1,11	1409,70	1484,79	2047,41
2	Цех сушки	54	1,08	2406,24	1671,00	2929,54
3	Склад №1	27	1,34	135,68	118,37	180,06
4	Цех обработки пиломатериалов	59,5	1,12	599,76	626,07	866,99
5	Цех евровагонки	17,6	1,25	396,56	370,91	542,99
6	Цех пакетирования №1	35,6	1,16	511,56	515,59	726,31
7	Цех пакетирования №2	56	1,11	544,46	573,46	790,75
8	Склад №2	9	1,65	55,69	43,40	70,60
9	Цех плит ОСП	29	1,17	193,28	193,14	273,24
10	Компрессорная: а) 0,38 кВ	7	1,21	108,42	73,92	131,22
10	б) синхр. двигателя 10 кВ	2	1	1050,00	0,00	1050,00
11	Цех плит ДСП	79	1,08	1062,72	867,81	1372,03
12	Мастерская	10,3	1,21	99,22	79,04	126,85
13	Административное здание	20,3	1,27	154,31	123,95	197,93
14	Котельная	23,2	1,14	595,08	460,36	752,36
15	Цех технологической щепы	17	1,54	98,18	56,22	113,13
Σ				9420,84	7258,03	11892,49

«Нагрузка освещения рассчитывается методом удельной мощности.  
Формула для определения расчетных активных мощности по участкам:

$$P_{po} = P_0 \cdot K_{co} \cdot F, \quad (8)$$

где  $P_0$  – удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_{co}$  – коэффициент спроса освещения, по СН 357-77;

$F$  – площадь здания, м<sup>2</sup>.

Формула для определения расчетных реактивных мощности по участкам:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (9)$$

Освещение обеспечивается современными светодиодными светильниками» [11].

Пример расчета осветительной нагрузки участка №1 по (8,9):.

$$P_{po} = 3,8 \cdot 0,85 \cdot 2955 = 9,545 \text{ кВт}$$

$$Q_{po} = 9,545 \cdot 0,88 = 8,399 \text{ квар}$$

Итого расчетные мощности участка №1 с освещением:

$$P_p' = 1409,7 + 9,575 = 1419,245 \text{ кВт}$$

$$Q_p' = 1484,79 + 8,399 = 1493,194 \text{ квар}$$

$$S_p' = \sqrt{1419,245^2 + 1493,194^2} = 2060,069 \text{ кВА}$$

Для остальных участков расчеты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные мощности участков с учетом освещения

№ п/п	Наименование участков	F, м <sup>2</sup>	P <sub>0</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт	P <sub>р'</sub> (P <sub>р</sub> +P <sub>ро</sub> ), кВт	Q <sub>р'</sub> (Q <sub>р</sub> +Q <sub>ро</sub> ), квар	S <sub>р'</sub> , кВА
1	Распиловочный цех	2955,0	3,8	0,85	9,545	1419,245	1493,194	2060,069
2	Цех сушки	2811,4	3,8	0,95	10,149	2416,389	1679,931	2942,976
3	Склад №1	2871,7	2,2	0,6	3,791	139,466	121,710	185,105
4	Цех обработки пиломатериалов	3176,1	3,8	0,85	10,259	610,019	635,097	880,608
5	Цех евровагонки	3698,8	3,8	0,85	11,947	408,510	381,420	558,893
6	Цех пакетирования №1	4686,6	3,8	0,85	15,138	526,698	528,907	746,427
7	Цех пакетирования №2	4198,5	3,8	0,85	13,561	558,016	585,392	808,743
8	Склад №2	1654,1	2,2	0,6	2,183	57,871	45,325	73,508
9	Цех плит ОСП	2455,3	3,8	0,85	7,931	201,215	200,119	283,787
10	Компрессорная: а) 0,38 кВ	1056,8	3,6	0,95	3,614	112,030	77,101	135,997
10	б) синхр. двигателя 10 кВ	1056,8	0	0,95	0,000	1050,000	0,000	1050,000
11	Цех плит ДСП	3256,5	3,8	0,85	10,519	1073,239	877,063	1386,030
12	Мастерская	3316,8	3,8	0,85	10,713	109,933	88,464	141,107
13	Административное здание	3739,0	4,4	0,8	13,161	167,466	135,537	215,442
14	Котельная	2205,5	3,6	0,85	6,749	601,829	466,300	761,336
15	Цех технологической щепы	3497,8	3,8	0,95	12,627	110,802	67,334	129,657
	Итого	46636,7			141,887	9562,73	7382,89	12081,094
	Территория	135363,3	0,2	1	27,073	27,073	23,824	
Σ						9589,799	7406,717	12117,083

## 2.2 Построение картограммы нагрузок и определение оптимального местоположения ГПП

«Картограмма электрических нагрузок представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, площади которых в

принятом масштабе равны расчетным нагрузкам цехов. Радиус окружностей определяется как:

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}}, \quad (10)$$

где  $S_p$  – расчетная нагрузка цеха, кВА;

$m$  – масштаб.

Доля осветительной нагрузки:

$$\alpha = 360 \cdot S_{oc} / S_p, \quad (11)$$

где  $S_{oc}$  – расчетная мощность освещения, кВА.

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) по предприятию определяется для нахождения местоположения ГПП. Координаты ЦЭН можно определить по формуле:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n (S_p \cdot x_i)}{\sum_1^n S_p}; \quad y_0 = \frac{\sum_1^n (S_p \cdot y_i)}{\sum_1^n S_p}, \quad (12)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты центра цеха, м;

$n$  – количество цехов предприятия» [15].

«ГПП должна располагаться не в ЦЭН, а должна быть смещена в направлении от ЦЭН к источнику внешнего питания за территорию предприятия, чтобы обеспечить удобные подъездные пути, и не мешать производственному процессу предприятия» [17].

Расчёты по нахождению координат ЦЭН сведены в таблицу 6.



Таблица 6 – Расчет координат ЦЭН

№;	Наименование участка	Xi, м	Yi, м	Sp, кВА	Sp*Xi, кВА	Sp*Yi, кВА
1	Распиловочный цех	57	300	2060,069	117571,1	617248,1
2	Цех сушки	193	300	2942,976	566864,4	881789,1
3	Склад №1	300	292	185,105	55462,2	54141,7
4	Цех обработки пиломатериалов	432	292	880,608	380072,9	257570,0
5	Цех еврвагонки	32	189	558,893	17942,0	105658,2
6	Цех пакетирования №1	143	185	746,427	106499,2	138448,9
7	Цех пакетирования №2	275	189	808,743	222126,3	152892,2
8	Склад №2	400	207	73,508	29366,5	15207,6
9	Цех плит ОСП	496	178	283,787	140703,9	50612,9
10	Компрессорная: а) 0,38 кВ	121	103	135,997	16493,3	14067,8
10	б) синхр. двигатели 10 кВ	121	103	1050,000	127340,6	108614,1
11	Цех плит ДСП	260	96	1386,030	360906,2	133485,9
12	Мастерская	357	96	141,107	50332,4	13589,7
13	Административное здание	29	50	215,442	6147,8	10758,6
14	Котельная	260	21	761,336	198243,2	16294,0
15	Цех технологической щепы	507	39	129,657	65672,4	5087,3
Итого				12117,1	2461744,2	2575466,1
Координаты ЦЭН		X0, м	Y0, м			
		203,2	182,5			

Пример расчета для участка №1. Проведем расчеты по (10,11):

$$R = \sqrt{\frac{2060,09}{0,5 \cdot 3,14}} = 36,22 \text{ м}$$

$$\alpha = 360 \cdot 12,73 / 2060,09 = 2,2^\circ$$

Расчёты по картограмме нагрузок сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчет картограммы нагрузок

№;	Наименование участка	R, м	m	$\alpha$	Soc, кВА
1	Распиловочный цех	36,22	0,5	2,2	12,73
2	Цех сушки	43,30	0,5	1,7	13,53
3	Склад №1	10,86	0,5	9,8	5,05
4	Цех обработки пиломатериалов	23,68	0,5	5,6	13,68
5	Цех евровагонки	18,87	0,5	10,3	15,93
6	Цех пакетирования №1	21,80	0,5	9,7	20,18
7	Цех пакетирования №2	22,70	0,5	8,0	18,08
8	Склад №2	6,84	0,5	14,3	2,91
9	Цех плит ОСП	13,44	0,5	13,4	10,57
10	Компрессорная: а) 0,38 кВ	9,31	0,5	12,8	4,82
10	б) синхр. двигатели 10 кВ	25,86	0,5	0,0	0,00
11	Цех плит ДСП	29,71	0,5	3,6	14,02
12	Мастерская	9,48	0,5	36,4	14,28
13	Административное здание	11,71	0,5	29,3	17,55
14	Котельная	22,02	0,5	4,3	9,00
15	Цех технологической щепы	9,09	0,5	46,7	16,84

Далее строим картограмму нагрузок (рисунок 2).

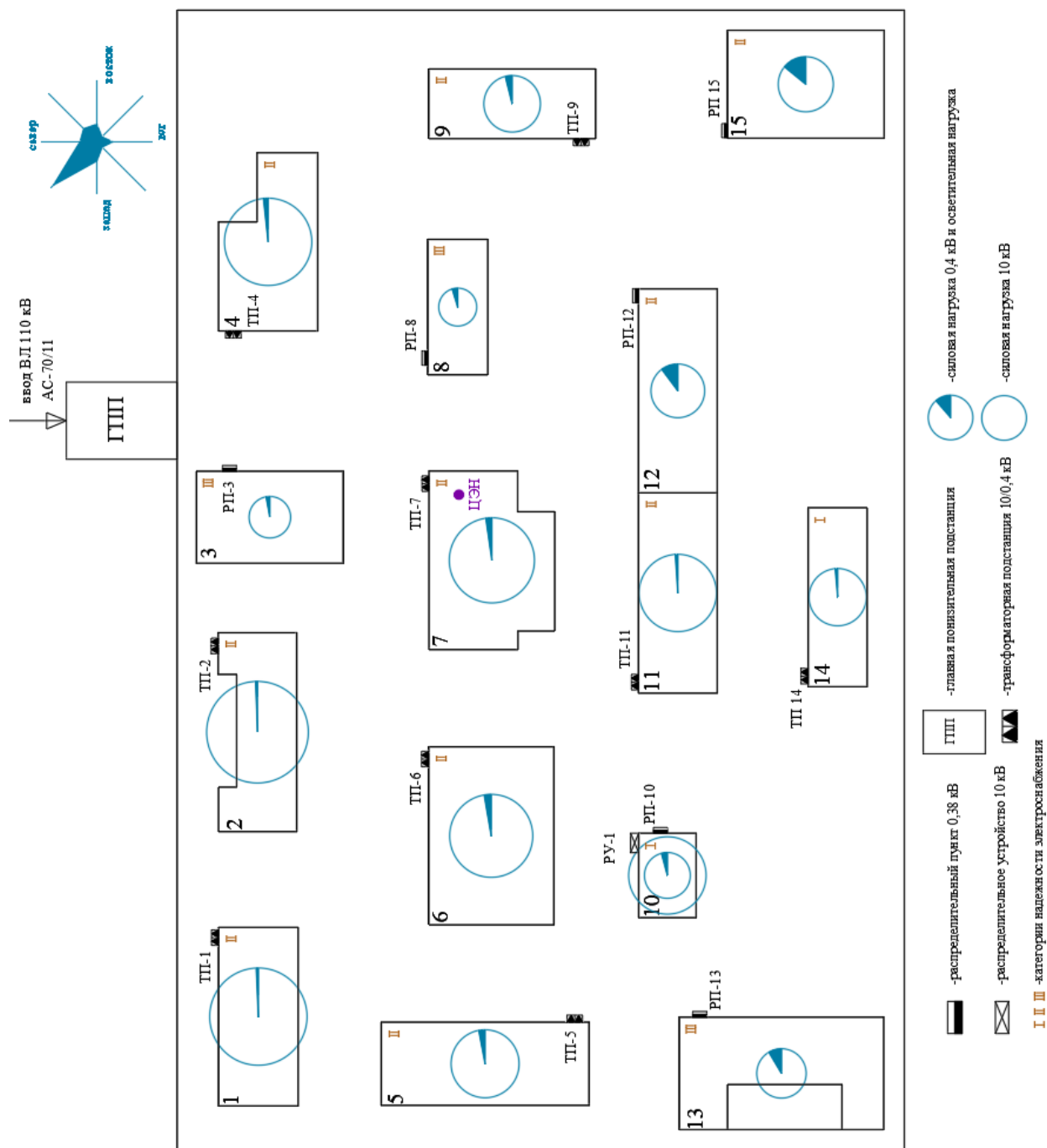


Рисунок 2 – Картограмма нагрузок

### 2.3 Выбор цеховых ТП и силовых трансформаторов

«Нагрузки производственных участков группируются по ТП 10/0,4 кВ с целью оптимального выбора трансформаторов по мощности, а также обеспечения минимальной суммарной длины линий распределительной сети.

Если расчетная нагрузка участка составила менее 250 кВА, то целесообразно установить РП 0,4 кВ (одно- или двухсекционный), который будет питать от ближайшей ТП другого участка» [18].

«Если в состав нагрузки ТП входят потребители 1 и 2 категорий надежности электроснабжения, то на ТП устанавливается два силовых трансформатора (как два источника питания)» [18].

«Оптимальная мощность силовых трансформаторов ТП рассчитывается согласно выражению:

$$S_o = \frac{\sum S_p}{\beta \cdot N}, \quad (13)$$

где  $\sum S_p$  – суммарная полная мощность потребителей ТП, кВА;

$\beta$  – нормативный коэффициент загрузки трансформаторов (0,7 для двухтрансформаторных ТП);

$N$  – число силовых трансформаторов, шт» [2,16].

«Допустимая к передаче в сеть 0,4 кВ величина реактивной мощности (РМ):

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{н.т.})^2 - P_p^2}, \quad (14)$$

где  $S_{н.т.}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$P_p$  – расчетная активная мощность нагрузки ТП, кВт» [20].

«Требуемая для компенсации со стороны 0,4 кВ РМ рассчитывается согласно выражению:

$$Q_{0,4} = Q_p - Q_1 \quad (15)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность нагрузки ТП, квар» [20].

«При полученном отрицательном значении  $Q_{0,4}$ , либо менее 50 квар, компенсация не требуется. Далее, в случае выбора установок КРМ, рассчитывается остаточное значение РМ согласно выражению» [9]:

$$Q_{HH} = Q_p - Q_{БК} \quad (16)$$

Пример расчета КРМ и выбора трансформаторов ТП-1.

Проведем расчет по формуле (13):

$$S_o = \frac{2060,069}{0,7 \cdot 2} = 1471,48 \text{ кВА}$$

Принимаем к установке два трансформатора ТМГ12-1000/10. Нагрузки всех ТП и мощности трансформаторов ТМГ12 показаны в таблице 8.

Таблица 8 – Нагрузки ТП и мощности трансформаторов

№	Охват нагрузки, № участков	№ участка, располож.	Sp, кВА	So, кВА	Ном. мощн. трансф., кВА
ТП-1	1	Здание №1	2060,069	1471,48	1600
ТП-2	2	Здание №2	2942,976	2102,13	2500
ТП-4	4,3,8	Здание №4	1138,086	812,92	1000
ТП-5	5,13, освещ. терр.	Здание №5	810,007	578,58	630
ТП-6	6	Здание №6	746,427	533,16	630
ТП-7	7	Здание №7	808,743	577,67	630
ТП-9	9,12,15	Здание №9	552,013	394,30	400
ТП-11	11,10	Здание №11	1521,608	1086,86	1250
ТП-14	14	Здание №14	761,336	543,81	630

Проведем расчеты для ТП-1 по (14,15):

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1419,245^2} = 1733,02 \text{ квар}$$

$$Q_{0,4} = 1493,194 - 1733,02 = -239,82 \text{ квар}$$

КРМ не требуется.

«Коэффициенты загрузки трансформатора в нормальном и послеаварийном режиме» [2]:

$$K_3 = \frac{S_{p.комп.}}{S_{н.т.} \cdot N}, \quad (17)$$

$$K_3 = \frac{2060,07}{1600 \cdot 2} = 0,64$$

$$K_n = \frac{S_{p.комп.}}{S_{н.т.}}, \quad (18)$$

$$K_n = \frac{2060,07}{1600} = 1,29 \leq 1,4$$

Расчет КРМ на ТП сведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет КРМ на ТП

№ТП	Q <sub>0,4</sub> , квар	Q <sub>бк</sub> , квар	K <sub>п</sub>
ТП-1	-239,82	0	1,29
ТП-2	-852,08	0	1,18
ТП-4	-341,62	0	1,14
ТП-5	-102,85	0	1,29
ТП-6	-178,56	0	1,18
ТП-7	-97,65	0	1,28
ТП-9	-12,27	0	1,38
ТП-11	-333,33	0	1,22
ТП-14	-178,47	0	1,21

ТП выбираем комплектные, марки 2КТПН-ПК 10/0,4.

## 2.4 Выбор силовых трансформаторов ГПП

«Для расчета нагрузки ГПП необходимо учесть потери в ТП 10/0,4 кВ» [21,22,25]. «Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах рассчитывается согласно выражениям:

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P_\kappa}{n} \cdot \frac{P_p^2 + Q_p^2}{S_n^2} + n \cdot \Delta P_{xx} \quad (19)$$

где  $\Delta P_\kappa$  – потери КЗ для данной марки трансформатора, кВт;

$n$  – число трансформаторов, шт;

$S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$\Delta P_{xx}$  – потери ХХ для данной марки трансформатора, кВт.

$$\Delta Q_m = \frac{U_\kappa}{n \cdot 100} \cdot \frac{P_p^2 + Q_p^2}{S_n^2} + \frac{n \cdot I_{xx}}{100} \cdot S_n \quad (20)$$

где  $U_\kappa$  – напряжение КЗ для данной марки трансформатора, %;

$I_{xx}$  – ток ХХ для данной марки трансформатора, %» [19].

Проведем расчеты для ТП-1 по (19,20):

$$\Delta P_m = \frac{16}{2} \cdot \frac{1419,2^2 + 1493,2^2}{1600^2} + 2 \cdot 1,7 = 16,66 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \frac{6}{2 \cdot 100} \cdot \frac{1419,2^2 + 1493,2^2}{1600^2} + \frac{2 \cdot 0,5}{100} \cdot 1600 = 95,57 \text{ квар}$$

Расчет потерь мощности на ТП сведен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет потерь мощности на ТП

№ ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , квар	$P_p + \Delta P$ , кВт	$Q_p + \Delta Q$ , квар
ТП-1	1419,2	1493,2	16,66	95,57	1435,91	1588,77
ТП-2	2416,4	1679,9	20,19	120,27	2436,58	1800,20
ТП-4	807,4	802,1	9,00	47,62	816,36	849,75
ТП-5	603,0	540,8	7,18	37,46	610,23	578,24
ТП-6	526,7	528,9	6,34	33,14	533,04	562,05
ТП-7	558,0	585,4	7,16	37,37	565,18	622,76
ТП-9	421,9	355,9	3,94	24,34	425,89	380,26
ТП-11	1185,3	954,2	12,71	68,07	1197,98	1022,23
ТП-14	601,8	466,3	6,53	34,12	608,36	500,42
$\Sigma$	9589,80	7406,72	89,72	497,96	9679,52	7904,68

«Итоговая реактивная нагрузка ГПП по стороне 10 кВ:

$$Q_{10} = \Sigma Q_{HH} + \Sigma \Delta Q_m \quad (21)$$

где  $\Sigma Q_{HH}$  – реактивная нагрузка для всех ТП, квар;

$\Sigma \Delta Q_m$  – потери РМ в трансформаторах всех ТП, квар» [6].

$$Q_{10} = 7406,72 + 497,96 = 7904,68 \text{ квар}$$

«Итоговая активная нагрузка ГПП по стороне 10 кВ:

$$P_{\text{сумм}} = \Sigma P_p + \Sigma \Delta P_m \quad (22)$$

где  $\Sigma P_p$  – активная нагрузка для всех ТП, кВт;

$\Sigma \Delta P_m$  – потери активной мощности в трансформаторах всех ТП, кВт» [6].

$$P_{\text{сумм}} = 9589,8 + 89,72 = 9679,52 \text{ кВт}$$



$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{10}}{P_{\text{сумм}}}, \quad (23)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{7904,68}{9679,52} = 0,817$$

«Требуемая для компенсации со стороны каждой шины 10 кВ РМ рассчитывается согласно выражению:

$$Q_{\text{кв}} / 2 = \frac{Q_{10} + \Delta Q_m - Q_{\text{сист}} - Q_c}{2}, \quad (24)$$

где 2 – число секций шин, шт;

$Q_{\text{сист}}$  – РМ, получаемая из энергосистемы, квар;

$Q_c$  – РМ, получаемая от синхронных двигателей, квар;

$\Delta Q_m$  – предварительные потери РМ в силовых трансформаторах ГПП, квар.

$$Q_{\text{сист}} = \alpha \cdot \sum P_p \quad (25)$$

где  $\alpha$  – эквивалент нормативного  $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$ .

$$Q_c = \frac{\alpha_m \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta_n}, \quad (26)$$

где  $\alpha_m$  – наибольшая допустимая перегрузка СД по реактивной мощности;

$P_n$  – номинальная активная мощность СД, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_n$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий номинальному  $\cos \varphi$ ;

$\eta_n$  – КПД двигателя, о.е.» [27].

$$\Delta Q_m = \frac{10,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{9679,52^2 + 7904,68^2}{10000^2} + \frac{2 \cdot 0,7}{100} \cdot 10000 = 1291,932 \text{ квар}$$

$$Q_c = \frac{0,92 \cdot 1500 \cdot 0,75}{0,95} = 1089,474 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{кв}} / 2 = \frac{7904,68 + 1291,932 - 0,33 \cdot 9589,8 - 1089,474}{2} = 2471,25 \text{ квар}$$

На ГПП устанавливается две батареи УК-10-2500 по 2500 квар.

Нагрузка ГПП после КРМ:

$$Q_{\text{рк}} = 7904,68 - 2 \cdot 2500 = 2904,68 \text{ квар}$$

$$P_{\text{рк}} = P_{\text{сумм}} = 9679,52 \text{ кВт}$$

«Полная нагрузка ГПП с учетом разновременности:

$$S_p = \sqrt{(k_{\text{рма}} \cdot P_{\text{рк}})^2 + (k_{\text{рмр}} \cdot Q_{\text{рк}})^2} \quad (27)$$

где  $k_{\text{рма}}$  и  $k_{\text{рмр}}$  – коэффициенты разновременности максимумов активных и реактивных нагрузок, принимаются равными 0,95 для деревообрабатывающих предприятий» [19].

$$S_p = \sqrt{(0,95 \cdot 9649,52)^2 + (0,95 \cdot 2904,68)^2} = 9600,651 \text{ кВА}$$

Проверяем трансформаторы ГПП по послеаварийной перегрузке согласно (18):

$$K_n = \frac{9600,651}{10000} = 0,96 < 1,4$$

Потери мощности на ГПП, по (19,20):

$$\Delta P_m = \frac{60}{2} \cdot \frac{9195,54^2 + 2759,45^2}{10000^2} + 2 \cdot 14 = 83,76 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = \frac{10,5}{2 \cdot 100} \cdot \frac{9195,54^2 + 2759,45^2}{10000^2} + \frac{2 \cdot 0,7}{100} \cdot 10000 = 1265,79 \text{ квар}$$

Расчетная мощность ГПП:

$$S_p = \sqrt{(9195,54 + 83,76)^2 + (2759,45 + 1265,79)^2} = 10114,74 \text{ кВА}$$

## 2.5 Расчет распределительной сети, выбор кабелей

«Для распределительной сети выбирается смешанная схема, как обеспечивающая наилучшие технико-эксплуатационные показатели при минимальных капиталовложениях» [23]. План прокладки КЛ показан в Приложении А. «Кабельные линии на 10 кВ выполняются кабелем АПвП и на 0,38 кВ кабелем АПвББШп. Кабели прокладываются в траншеях под землей» [11].

Пример расчета для КЛ до ТП-2.

«Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n} \quad (28)$$

где  $S_p$  – расчетная мощность участка, кВА;

$n$  – число цепей линии, шт» [16].

$$I_p = \frac{5170,96}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 149,27 \text{ А}$$

$$I_{ав} = \frac{5170,96}{\sqrt{3} \cdot 10} = 298,55 \text{ А}$$

«Экономическое сечение жил кабеля рассчитывается согласно выражению:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} \quad (29)$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [9].

$$F_{\text{эк}} = \frac{149,27}{1,4} = 106,62 \text{ мм}^2$$

Выбирается кабель АПВП-3х240, допустимый ток (6 кабелей в траншее) 301,75 А, что больше аварийного 298,55 А.

Выбор кабелей 10 кВ сведен в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор кабелей 10 кВ

КЛ	Sм,кВА	Iав,А	Fэк,мм <sup>2</sup>	Fст,мм <sup>2</sup>	I"доп,А
ГПП--ТП-2	5170,96	298,55	106,62	240	301,75
ТП-2--ТП-1	2141,50	123,64	44,16	70	140,25
ГПП--ТП-4	1749,30	101,00	36,07	50	119
ТП-4--ТП-9	570,95	32,96	11,77	16	63,75
ГПП--ТП-7	2456,28	138,98	49,63	70	140,25
ТП-7--ТП-6	1615,29	93,26	33,31	35	97,75
ТП-6--ТП-5	840,68	48,54	17,33	16	63,75
ГПП--ТП-14	2362,57	150,04	53,59	95	174,25
ТП-14--ТП-11	1574,84	90,92	32,47	35	97,75
ГПП--РУ-1	1513,09	87,36	31,20	35	97,75

«Потери напряжения в линии определяются по формуле:

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \quad (30)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А;

$L$  – длина линии, км;

$r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления кабелей, Ом/км»;

$\cos \varphi$  – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки» [20].

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 298,55 \cdot 0,128 \cdot 100}{400} (0,129 \cdot 0,841 + 0,08 \cdot 0,54) = 0,049 \%$$

«Согласно ПУЭ, потери напряжения не должны превышать 5 %, потери меньше допустимых 5 %» [12].

Расчеты для других КЛ 10 кВ приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Проверка КЛ 10 кВ по потерям напряжения

КЛ	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	L, км	$\Delta U$ , %
ГПП--ТП-2	0,129	0,08	0,128	0,049
ТП-2--ТП-1	0,443	0,09	0,189	0,359
ГПП--ТП-4	0,63	0,09	0,055	0,121
ТП-4--ТП-9	1,95	0,11	0,397	0,884
ГПП--ТП-7	0,443	0,09	0,295	0,642
ТП-7--ТП-6	0,89	0,1	0,161	0,463
ТП-6--ТП-5	1,95	0,11	0,159	0,521
ГПП--ТП-14	0,326	0,09	0,661	1,018
ТП-14--ТП-11	0,89	0,1	0,064	0,179
ГПП--РУ-1	0,89	0,1	0,526	0,142

Пример выбора кабеля 0,4 кВ до РПЗ.

Расчётный ток КЛ, по (28):

$$I_p = \frac{185,11}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 259,2 \text{ А}$$

Принимаем кабель АПвБбШп 4х95 мм<sup>2</sup>, допустимый ток (один кабель в траншее) 260 А.

Выбор кабелей 0,4 кВ сведен в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор кабелей 0,4 кВ

КЛ 0,4 кВ	N	S <sub>рп</sub> ,кВА	I <sub>p</sub> ,А	Марка кабеля	I <sub>доп</sub> ,А	Кпопр	I* <sub>доп</sub> ,А	I <sub>ав</sub> ,А
ТП4-РПЗ	1	185,11	259,2	АПвБбШп 4х95	260	1	260	-
ТП4-РП8	1	73,51	106,1	АПвБбШп 4х25	125	1	125	-
ТП11-РП10	2	136,00	98,1	АПвБбШп 4х70	220	0,93	205	196,3
ТП9-РП12	2	141,11	101,8	АПвБбШп 4х70	220	0,93	205	203,7
ТП9-РП15	2	129,66	93,6	АПвБбШп 4х70	220	0,93	205	187,1
ТП5-РП13	1	215,44	311,0	АПвБбШп 4х150	335	1	335	-

Потери напряжения в КЛ до РПЗ, по (30):

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 259,2 \cdot 0,087 \cdot 100}{380} (0,326 \cdot 0,928 + 0) = 1,24 \%$$

«Потери напряжения не превышают допустимые 5%» [12].

Расчеты для других КЛ 0,4 кВ приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка КЛ 0,4 кВ по потерям напряжения

КЛ 0,4 кВ	го, Ом/км	L,км	ΔU,%
ТП4-РПЗ	0,326	0,087	1,24
ТП4-РП8	1,24	0,122	1,74
ТП11-РП10	0,443	0,105	0,74
ТП9-РП12	0,443	0,109	0,80
ТП9-РП15	0,443	0,098	1,32
ТП5-РП13	0,206	0,095	1,98

«Потери напряжения не превышают допустимые 5%» [12].

## 2.6 Расчет токов КЗ

«Далее, для проверки выбранного электрооборудования необходимо рассчитать токи короткого замыкания (КЗ) в местах установки электрооборудования. Исходными для расчета являются принятый вариант схемы электроснабжения, выбранные к установке кабели. Составляется эквивалентная схема замещения, куда вносятся только элементы сети, значимо влияющие на величину токов короткого замыкания, наносятся точки КЗ» [13].

«Полное сопротивление эквивалентной схемы замещения электрической сети находится по формуле:

$$z = \sqrt{\left(\sum r^{\circ}\right)^2 + \left(\sum x^{\circ}\right)^2} \quad (31)$$

где  $\sum r^{\circ}$  – эквивалентное активное сопротивление цепи, Ом;

$\sum x^{\circ}$  – эквивалентное индуктивное сопротивление цепи, Ом» [13].

«Активное сопротивление силовых трансформаторов:

$$R_m = \Delta P_{\kappa} \cdot U_{н.в.}^2 / (S_n^2 \cdot 1000), \quad (32)$$

где  $\Delta P_{\kappa}$  – потери мощности КЗ трансформатора, кВт;

$U_{н.в.}$  – номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора, кВ;

$S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВА» [15].

«Полное сопротивление силовых трансформаторов:

$$Z_m = \Delta U_{\kappa} / 100 \cdot 10^2 / S_{\text{H}}, \quad (33)$$

где  $\Delta U_{\kappa}$  – потери напряжения КЗ трансформатора, %» [15].

Схема замещения показана на рисунке 3.

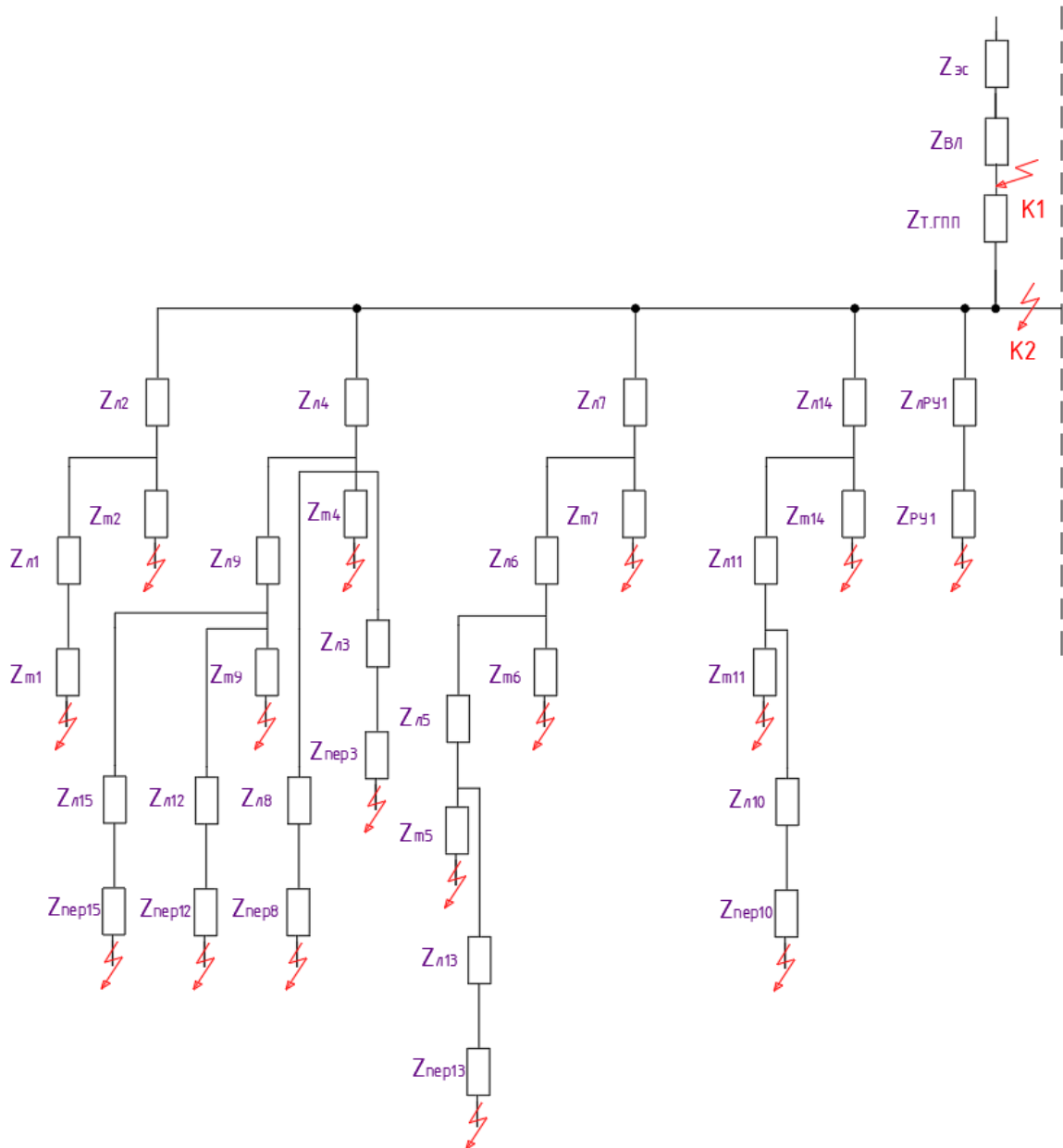


Рисунок 3 – Схема замещения

Параметры КЛ и ВЛ сведены в таблице 15.



Таблица 15 – Параметры КЛ и ВЛ

Участок	L,км	R'(10),мОм	X'(10),мОм
ГПП--ТП-2	0,128	8,26	5,12
ТП-2--ТП-1	0,189	41,86	8,51
ГПП--ТП-4	0,055	17,33	2,48
ТП-4--ТП-9	0,397	387,08	21,84
ГПП--ТП-7	0,295	65,34	13,28
ТП-7--ТП-6	0,161	71,65	8,05
ТП-6--ТП-5	0,159	155,03	8,75
ГПП--ТП-14	0,661	107,74	29,75
ТП-14--ТП-11	0,064	28,48	3,20
ГПП--РУ-1	0,526	234,07	26,30
ВЛ 110 кВ	6,900	12,23	12,66

Параметры трансформаторов сведены в таблице 16.

Таблица 16 – Параметры трансформаторов

Место	R'(10),Ом	X'(10),Ом	Z'(10),Ом
ТП-1	0,625	3,698	3,750
ТП-2	0,360	2,170	2,200
ТП-4	1,050	5,399	5,500
ТП-5	1,701	8,563	8,730
ТП-6	1,701	4,020	4,365
ТП-7	1,701	4,020	4,365
ТП-9	2,031	5,245	5,625
ТП-11	0,864	2,239	2,400
ТП-14	1,701	4,020	4,365
ГПП	0,060	1,048	1,050

«Периодическая слагающая тока трехфазного КЗ:

$$I'' = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot z} \quad (34)$$

Ударный ток КЗ (с учетом апериодической составляющей):

$$I_y = I'' \sqrt{1 + 2(\kappa_y - 1)^2} \quad (35)$$

где  $\kappa_y$  – ударный коэффициент, равный

$$\kappa_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (36)$$

где  $T_a$  – постоянная затухания аperiodической слагающей» [13].

$$T_a = \sum X / 314 \sum R \quad (37)$$

Пример расчета токов КЗ на стороне 0,4 кВ ТП-2.

Сопротивления трансформаторов ГПП, приведенные к НН, по (32,33):

$$R_m = \frac{60000 \cdot 110^2}{10000^2} \cdot (10 / 110)^2 = 0,06 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{10,5 \cdot 110^2}{100 \cdot 10^2} \cdot (10 / 110)^2 = 1,05 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{1,05^2 - 0,06^2} = 1,048 \text{ Ом}$$

Сопротивления трансформатора ТП-2:

$$R_m = \frac{22500 \cdot 10^2}{2500^2} = 0,36 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{5,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 2,5^2} = 2,2 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{2,2^2 - 0,36^2} = 2,17 \text{ Ом}$$

Сопротивления ВЛ 110 кВ, приведенные к ступени 10 кВ [14]:

$$R_{\text{вл}} = 1480 \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 12,23 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{вл}} = 1532 \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 12,66 \text{ мОм}$$

«Эквивалентные сопротивления цепи, с учетом переходного сопротивления, сопротивления трансформаторов и линий» [13]:

$$\Sigma r = R_{\text{ВЛ}} + R_{\text{м.ГПП}} + R'_{(\text{ГПП-ТП})} + R_{\text{м.ТП}}, \quad (38)$$

$$\Sigma r = 12,23 + 60 + 8,26 + 360 = 440,486 \text{ мОм}$$

$$\Sigma x = X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{м.ГПП}} + X'_{(\text{ГПП-ТП})} + X_{\text{м.ТП}}, \quad (39)$$

$$\Sigma x = 12,66 + 1048 + 5,12 + 2170 = 3236,126 \text{ мОм}$$

$$z = \sqrt{440,486^2 + 3236,126^2} = 3265,966 \text{ мОм}$$

Проводим расчеты по формулам (34–37):

$$I'' = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 3265,966} = 1,768 \text{ кА}$$

$$T_a = 3236,126 / (314 \cdot 440,486) = 0,0234$$

$$\kappa_y = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0234}} = 1,652$$

$$I_y = 1,768 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,652 - 1)^2} = 2,405 \text{ кА}$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I'' \quad (40)$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,768 = 1,531 \text{ кА}$$

Расчет токов КЗ для других участков аналогичен, результаты показаны в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчетов токов КЗ

место КЗ	$I^{(3)}_{кз}, \text{кА}$	$I_y, \text{кА}$	$I^{(2)}_{кз}, \text{кА}$
ГПП--ТП-2	1,768	2,405	1,531
ТП-2--ТП-1	1,145	1,239	0,992
ГПП--ТП-4	1,148	1,245	0,994
ТП-4--ТП-9	1,043	1,084	0,903
ГПП--ТП-7	1,866	2,060	1,616
ТП-7--ТП-6	1,394	1,451	1,207
ТП-6--ТП-5	1,162	1,209	1,006
ГПП--ТП-14	1,409	2,208	1,220
ТП-14--ТП-11	1,127	1,767	0,976
ГПП--РУ-1	1,691	2,650	1,464
Точка К2(шины 10 кВ ГПП)	5,429	8,242	4,702
Точка К1(ОРУ 110 кВ ГПП)	11,426	18,579	9,895

## 2.7 Выбор электрооборудования ГПП

Выбор коммутационных аппаратов.

«Условия выбора выключателей:

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{кВ};$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{кВ}.$$

$$I_{ном.откл} \geq I_k, \text{кА}$$

где  $I_{ном.откл}$  – номинальный ток отключения выключателя, кА;

$I_k$  – ток трехфазного КЗ, кА.

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{кА}$$

где  $i_{пр.с}$  – амплитудное значение сквозного тока КЗ, кА;

$i_y$  – ударный ток КЗ, кА.

$$I_m^2 t_m \geq B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$$

где  $I_m$  – предельный ток термической стойкости, кА;

$t_m$  – время протекания тока термической стойкости, с;

$B_k$  – тепловой импульс тока КЗ, кА<sup>2</sup>/с» [16].

«Условия выбора разъединителей» [16]:

$$U_{н.анп.} \geq U_{н.уст.}$$

$$I_{н.анп.} \geq I_{раб.мах.}$$

$$I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.} \geq B_k$$

$$i_{дин} \geq i_y.$$

Выбор коммутационных аппаратов показан в таблице 18.

Таблица 18 – Выбор коммутационных аппаратов

Место	Параметры расчетные		Выкл.	Паспортные параметры		Разъед.	Паспортные параметры	
	У <sub>уст</sub> , кВ.			У <sub>н</sub> , кВ			У <sub>уст</sub> , кВ.	
ГПП, ОРУ 110 кВ	У <sub>уст</sub> , кВ.	110	ВВБ- 110/2000	У <sub>н</sub> , кВ	110	РНДЗ- 110/1000	У <sub>уст</sub> , кВ.	35
	I <sub>мах р</sub> , А	50,8		I <sub>н</sub> , А	630		I <sub>мах р</sub> , А	1000
	I <sub>пт</sub> , кА	11,426		I <sub>отк</sub> , кА	31,5		I <sub>пт</sub> , кА	40
	I <sub>уд</sub> , кА	18,579		i <sub>дин</sub> , кА	90		I <sub>уд</sub> , кА	50
	B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> /с	16,32		I <sub>дин</sub> , кА	36		B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> /с	2500
			I <sub>Г</sub> <sup>2</sup> ·t <sub>Г</sub> , кА <sup>2</sup> /с	3600				
ГПП, шины 10 кВ	У <sub>уст</sub> , кВ.	10	ВВ/TEL- 10/20-630	У <sub>н</sub> , кВ	10	-	-	-
	I <sub>мах р</sub> , А	298,55		I <sub>н</sub> , А	630			
	I <sub>пт</sub> , кА	5,429		I <sub>отк</sub> , кА	20			
	I <sub>уд</sub> , кА	8,242		i <sub>дин</sub> , кА	80			
	B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> /с	3,68		I <sub>дин</sub> , кА	31,5			
			I <sub>Г</sub> <sup>2</sup> ·t <sub>Г</sub> , кА <sup>2</sup> /с	3600				
ГПП, фидеры 10 кВ	У <sub>уст</sub> , кВ.	10	ВВ/TEL- 10/20-630	У <sub>н</sub> , кВ	10	РВ-10/400	У <sub>уст</sub> , кВ.	10
	I <sub>мах р</sub> , А	60,26		I <sub>н</sub> , А	630		I <sub>мах р</sub> , А	600
	I <sub>пт</sub> , кА	5,429		I <sub>отк</sub> , кА	20		I <sub>пт</sub> , кА	20
	I <sub>уд</sub> , кА	8,242		i <sub>дин</sub> , кА	80		I <sub>уд</sub> , кА	50
	B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> /с	3,68		I <sub>дин</sub> , кА	31,5		B <sub>к</sub> = I <sub>н(0)</sub> <sup>2</sup> · Тоткл, кА <sup>2</sup> /с	3600
			I <sub>Г</sub> <sup>2</sup> ·t <sub>Г</sub> , кА <sup>2</sup> /с	3600				

Выбор ОПН.

«Выбираются ограничители перенапряжения серии ОПН. Для защиты трансформатора со стороны 110 кВ устанавливаем ОПН-110/88/10/450-У1. Со стороны 10 кВ устанавливаем ОПН-10/11,5-10/400-У1» [16].

Выбор трансформаторов тока.

«Согласно напряжениям в местах установки и полученным расчетным токам выбираем следующие трансформаторы тока (ТТ)» [16]:

- на фидерах 10 кВ: ТПЛК10-10..75/5;
- на вводах и секционной перемычке ЗРУ 10 кВ: ТПЛК10-600/5;
- на ОРУ 110 кВ: ТФНД-110 – 75/5.

Проведем проверку выбранных ТТ в режиме КЗ:

- в ЗРУ 10 кВ:

По динамической стойкости:  $i_{дин.} = 74,5 \text{ кА} > i_{уд} = 8,242 \text{ кА}$

По термической стойкости:  $I_T^2 \cdot t_T = 2900 \text{ кА}^2/\text{с} > B_K = 3,68 \text{ кА}^2/\text{с}$

- на ОРУ 110 кВ:

$$i_{дин.} = 42 \text{ кА} > i_{уд} = 18,579 \text{ кА}$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 3600 \text{ кА}^2/\text{с} > B_K = 16,32 \text{ кА}^2/\text{с}$$

«ТТ проходят проверку» [16].

«Выбор трансформаторов напряжения» [16].

«Условия выбора трансформаторов напряжения (ТН)» [16]:

$$U_{ном} \geq U_{уст}$$

$$S_{ном} \geq S_{2\Sigma}$$

Принимаем ТН типа НАМИ-10-95.

$$U_{н.ап.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ.}$$

$$S_{ном} = 200 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 43 \text{ ВА.}$$

ТН типа НАМИ-10-95 проходят проверку.

Далее проведем выбор терминалов релейной защиты и автоматики (РЗА).

## 2.8 Релейная защита и автоматика

Предполагается установка современных микропроцессорных терминалов серии Сириус производства АО «РАДИУС Автоматика».

Внешний вид терминалов РЗА показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид терминалов РЗА

РЗ силовых трансформаторов ГПП выполняется на терминалах «Сириус-Т», схема РЗ приведена в Приложении Б.

РЗ КЛ 10 кВ обеспечивается терминалами Сириус-2-Л-02, схема РЗ приведена в Приложении В.

Вывод по разделу 2.

Выполнено проектирование СЭС предприятия. Проведены расчет электрических нагрузок; построение картограммы нагрузок и определение местоположения ГПП; выбор цеховых ТП и силовых трансформаторов; выбор силовых трансформаторов ГПП; расчет распределительной сети, выбор кабелей; расчет токов КЗ; выбор электрооборудования ГПП; выбор средств релейной защиты и автоматики.

## 3 Охрана труда, обеспечение безопасности

### 3.1 Обеспечение охраны труда

«В целом охрана труда (ОТ) и техника безопасности (ТБ) при монтаже, эксплуатации, обслуживании, ремонте системы электроснабжения обеспечиваются согласно действующему ГОСТ 12.0.004-2015» [4].

«Обеспечение ОТ на предприятии осуществляется организационными и техническими мероприятиями. В целом за организацию и обеспечение охраны труда отвечает специальная служба охраны труда (СОТ), являющаяся самостоятельным структурным подразделением предприятия. Персонал СОТ включает штат специалистов по ОТ во главе с руководителем службы» [10].

«Для обеспечения безопасности технологического процесса в первую очередь необходимо проводить инструктажи и проверки по работе с оборудованием и использованию СИЗ» [10]. На всех производственных участках предусмотрена установка плакатов по ТБ, ОТ и СИЗ, пример плаката приведен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Плакат по использованию СИЗ



### 3.2 Заземление и молниезащита ТП

Заземление цеховых ТП.

«Максимально допустимое сопротивление со стороны 0,4 кВ  $R_3=4$  Ом» [12]. «Удельное сопротивление грунта  $\rho_p$  для вертикальных и горизонтальных электродов с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (41)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта (известняк), 2000 Ом · м;

$K_c$  – коэффициент сезонности» [17].

$$\rho_{pe} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{pz} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Используем контурное заземление. Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50x50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50x5 мм» [17],

«Сопротивление растеканию для одного вертикального заземлителя  $R_{овз}$  (Ом) определяется по формуле:

$$R_{овз} = \frac{\rho_{pe}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (42)$$

где  $l$  – длина ВЭ, м;

$d$  – диаметр (для угловой стали приведенный диаметр) вертикального электрода, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (43)$$

где  $b$  – ширина уголка, м» [17].

Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,962 \text{ Ом}$$

«Расчетное число вертикальных электродов определяется по формуле:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_{\text{н}} \quad (44)$$

где  $R_{\text{н}} = 4$  Ом – максимально допустимое сопротивление заземления, Ом» [12].

$$n' = 60,962 / 4 = 15,2 \approx 16 \text{ шт}$$

«Длина горизонтальной полосы определяется по формуле:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n' \quad (45)$$

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n' \quad (46)$$

где  $l_{\text{пер}}$  – периметр здания ТП, м» [17].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (7,3 + 6,5) = 27,6 \text{ м}$$

$$a = 27,6 / 16 = 1,73 \text{ м}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 1,73 \cdot 16 = 28,98 \text{ м}$$

«Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя  $R_{23}$  (Ом) определяется по формуле [17]:

$$R_{23} = \frac{\rho_{p2}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{l^2}{d \cdot t} \right) \quad (47)$$

где  $l$  – длина горизонтального электрода, м;

$d$  – диаметр (для полосы расчетный диаметр) электрода, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (48)$$

где  $b$  – ширина полосы, м» [17].

Сопротивление растеканию для ГЭ:

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м}$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м}$$

$$R_{23} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 28,98} \cdot \ln \left( \frac{28,98^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,757 \text{ Ом}$$

«Эквивалентное сопротивление группового заземлителя:

$$R_{zp} = \frac{R_{огэ} \cdot R_{23}}{R_{огэ} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{23} \cdot \eta_2} \quad (49)$$

где  $\eta_6$  – коэффициент использования вертикальных электродов;

$\eta_2$  – коэффициент использования горизонтальных электродов» [17].

$$R_{zp} = \frac{60,962 \cdot 2,757}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,757 \cdot 0,3} = 3,792 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

«Используемые КТПН в металлическом корпусе не требует дополнительных мер по молниезащите ввиду полностью металлического корпуса, соединенного с контуром заземления» [27].

### 3.3 Заземление и молниезащита ГПП

Расчет заземления ГПП.

«На стороне 110 кВ режим работы нейтрали сети – эффективно заземленная, максимально допустимое сопротивление заземления 0,5 Ом. Используем контурное заземление. Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50х50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50х5 мм» [17].

Проводим расчет по формулам (43-49):

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3,5 / 2 + 0,8 = 2,55 \text{ м}$$

$$R_{\text{вэз}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3,5}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,55 + 3,5}{4 \cdot 2,55 - 3,5} \right) \right] = 21,855 \text{ Ом}$$

$$n' = 21,855 / 0,5 = 43,7 \approx 44 \text{ шт}$$

$$l_{\text{неп}} = 2 \cdot (35 + 45) = 160 \text{ м}$$

$$a = 160 / 44 = 3,64 \text{ м}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 3,64 \cdot 44 = 168 \text{ м}$$

$$R_{23} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 168} \cdot \ln \left( \frac{168^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 0,211 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{зп}} = \frac{21,855 \cdot 0,211}{21,855 \cdot 0,41 \cdot 44 + 0,211 \cdot 0,21} = 0,423 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом}$$

Расчет молниезащиты ГПП.

«Рассчитаем защитную зону двух двойных стержневых молниеотводов высотой  $h=22$  м при расстоянии между молниеотводами  $a=27,5$  м. Защищаемое сооружение имеет максимальную высоту оборудования  $h_x=10$  м и габариты  $35 \times 45$  м» [14].

«Расчет зоны защиты для одного молниеотвода:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_a \cdot K_p}{1 + \frac{h_x}{h}} \quad (50)$$

где  $h_a$  – активная высота молниеотвода, м;

$K_p$  – коэффициент, учитывающий высоту молниеотвода;

$h_x$  - высота точки на границе защищаемой зоны, м» [11].

Активная высота молниеотвода определяется:

$$h_a = h - h_x \quad (51)$$
$$h_a = 22 - 10 = 12 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий высоту молниеотвода, определяется:

$$K_p = \frac{5,5}{\sqrt{h}} \quad (52)$$
$$K_p = \frac{5,5}{\sqrt{22}} = 1,173$$

Зона защиты для одного молниеотвода, по (50):

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 12 \cdot 1,173}{1 + \frac{10}{22}} = 15,48 \text{ м}$$

Определяем соотношения, необходимые для определения поправочного коэффициента для расчета наименьшей ширины защитной зоны для двух молниеотводов:

$$a / h_a = 27,5 / 12 = 2,29$$

$$h_x / h = 10 / 22 = 0,45$$

Значения наименьшей ширины зоны защиты  $b_x$  двух стержневых молниеотводов показаны на рисунке 6 [11].

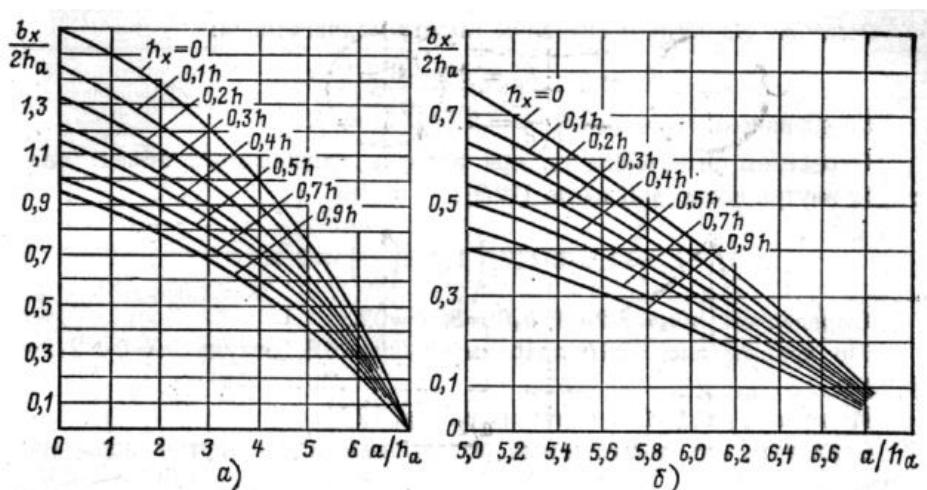


Рисунок 6 – Значения наименьшей ширины зоны защиты  $b_x$  двух стержневых молниеотводов: а) для  $a/h_a=0\dots7$ ; б) для  $a/h_a=5\dots7$

Соотношение  $h_x/h=0,45$ . Кривая  $0,45h$  на рисунке 6 пересекается с ординатой, восстановленной из точки  $2,29$  абсциссы, на уровне  $b_x/2h_a=0,89$ . Теперь находим наименьшую ширину защитной зоны  $b_x$  на высоте  $h_x$ :

$$b_x = 0,89 \cdot 2 \cdot h_a \quad (53)$$

$$b_x = 0,89 \cdot 2 \cdot 12 = 21,36 \text{ м}$$

План молниезащиты ГПП показан на рисунке 7.

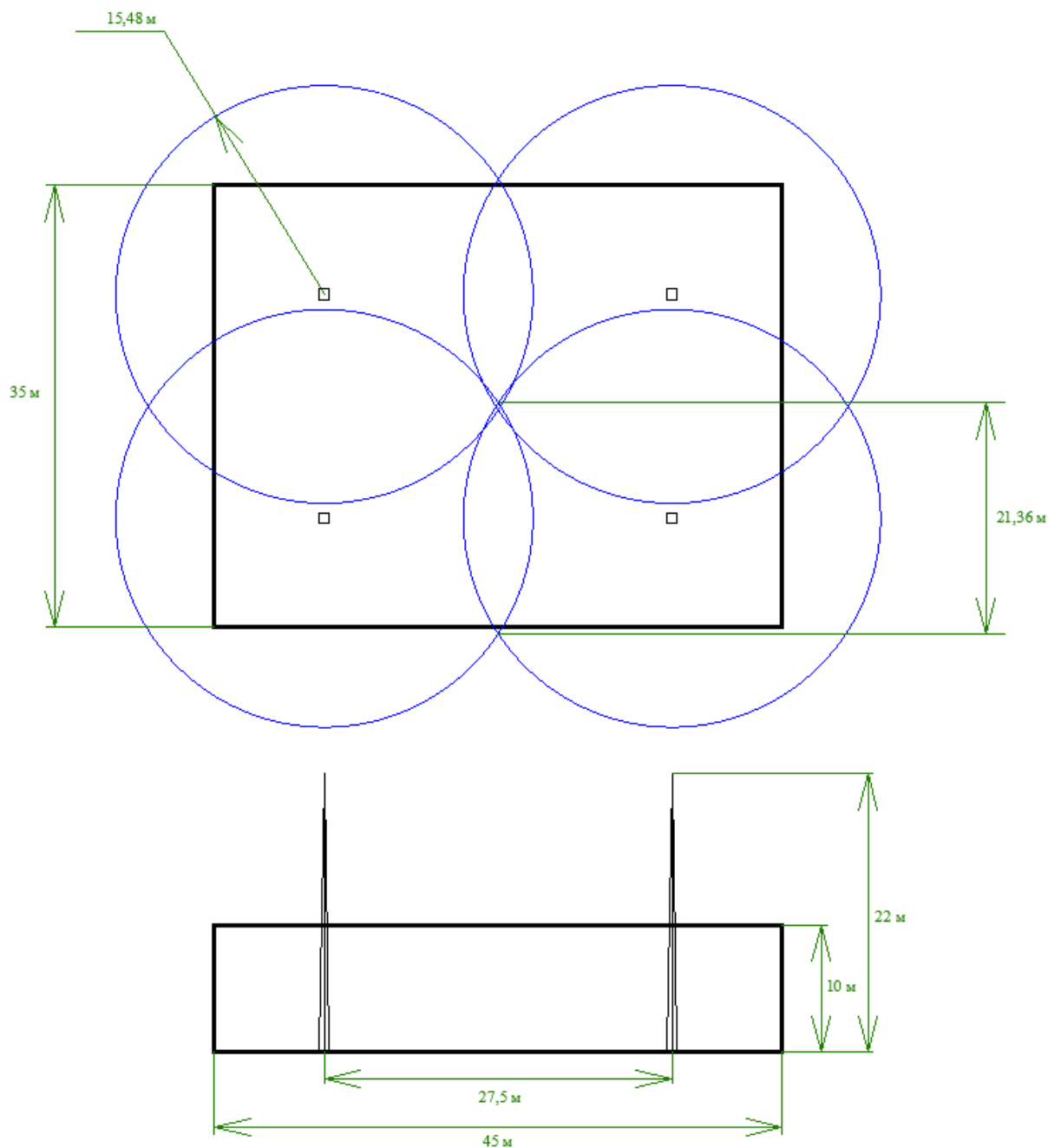


Рисунок 7 – План молниезащиты ГПП

Вывод по разделу 3.

Рассмотрены ключевые вопросы охраны труда, обеспечения безопасности; рассчитаны системы заземления и молниезащиты цеховых ТП и ГПП. Составлен план молниезащиты ГПП, защита обеспечивается по всей территории ГПП.

## Заключение

В данной работе проведена разработка СЭС производственной базы деревообрабатывающего предприятия ООО «ЛДК «Сегежский». Выполнены следующие задачи:

- приведена краткая характеристика предприятия и производства;
- систематизированы исходные данные на проектирование, составлен генеральный план производственной базы;
- выполнен расчет силовых электрических нагрузок;
- выполнен расчет нагрузки освещения;
- построена картограмма нагрузок и определено оптимальное местоположение ГПП;
- рассчитана КРМ, выбраны компенсирующие устройства;
- проведен выбор цеховых ТП и силовых трансформаторов;
- выбраны силовые трансформаторы ГПП;
- проведены расчет распределительной сети, выбор кабелей;
- составлена схема замещения, рассчитаны токи КЗ;
- выбрано основное электрооборудование ГПП;
- проведен выбор терминалов РЗА для защиты силовых трансформаторов и линий распределительной сети, составлены схемы подключения терминалов;
- рассмотрены обеспечение ОТ и безопасности труда;
- рассчитаны заземление и молниезащита ТП;
- рассчитаны заземление и молниезащита ГПП.

Разработка СЭС предприятия выполнена в соответствии требованиями актуальных нормативно-технических документов, спроектированная СЭС обеспечит надежное электроснабжение потребителей и безопасную эксплуатацию электрооборудования.



## Список используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах / В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 2017. 256 с.
2. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю.Е. Гуревич. – Москва: Торус Пресс, 2019. 408 с.
3. ГОСТ 14209-85. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – М.: Энергия, 2021. 39 с.
4. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. – М.: Энергия, 2021. 45 с.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2016. 412 с.
6. Кудрин Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2017. 352 с.
7. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / А. Куско, М. Томпсон. - М.: Додэка XXI, 2016. 336 с.
8. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения / Г.Р. Миллер. - М.: Государственное энергетическое издательство, 2016. 176 с.
9. Можяева С.В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. 208 с., ил.
10. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. – М.: Энергопромиздат, 2017. 376 с.
11. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. – М.: Лань, 2017. 400 с.
12. Правила устройства электроустановок, издание 7. – М.: Энергия, 2021. 648 с.

13. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования - М.: Энергия, 2018. 69 с.
14. Техническая документация. Электроснабжение производственной базы ООО «ЛДК Сегежский».: - Сегежа, 2021. 198 с.
15. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2018. 480 с.
16. Хорольский В. Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Форум, Инфра-М, 2017. 128 с.
17. Хорольский В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Дрофа, 2016. 288 с.
18. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2017. 216 с.
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2016. 136 с.
20. Юндин М. А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению / М.А. Юндин, А.М. Королев. - М.: Лань, 2016. 320 с.
21. Biegelmeier G. Electro supply system. – Bulletin. Int. Sek IVSS Verhüt Arbeitsall und Berufskrankh Elek, 2017. 428 p.
22. Dalziel C.F., Lee W. Electricity and power supply – “IEEE Spectrum”, 2018, №2. p. 44-50.
23. Discussion on construction of green power grid enterprises. Zhang Hong;Guiyang Power Supply Bureau. Guizhou Electric Power Technolog. 2017-06. P 87–91.
24. Khomiakov K. A. and Ustinov D. A. Improving the accuracy of calculations of electrical loads for industrial enterprises. Journal of Physics: Conference Series 1333 (2019) 062009, DOI: 10.1088/1742-6596/1333/6/062009; 06 October 2019.
25. Vlasyuk, I.V. Paramonov, S.Yu. Belov, S.I. The influence of reactive power compensation on energy saving by agricultural enterprises. AGRIS:

International information system for the agricultural science and technology, 2018, P 40–46.

26. ООО «ЛДК Сегежский». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – <https://old.segezha-group.com/> (дата обращения: 03.10.2021).

27. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 01.10.2021).

28. Энергосети России. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <https://energoceti.ru/> (дата обращения: 02.10.2021).

# Приложение А

## План прокладки КЛ

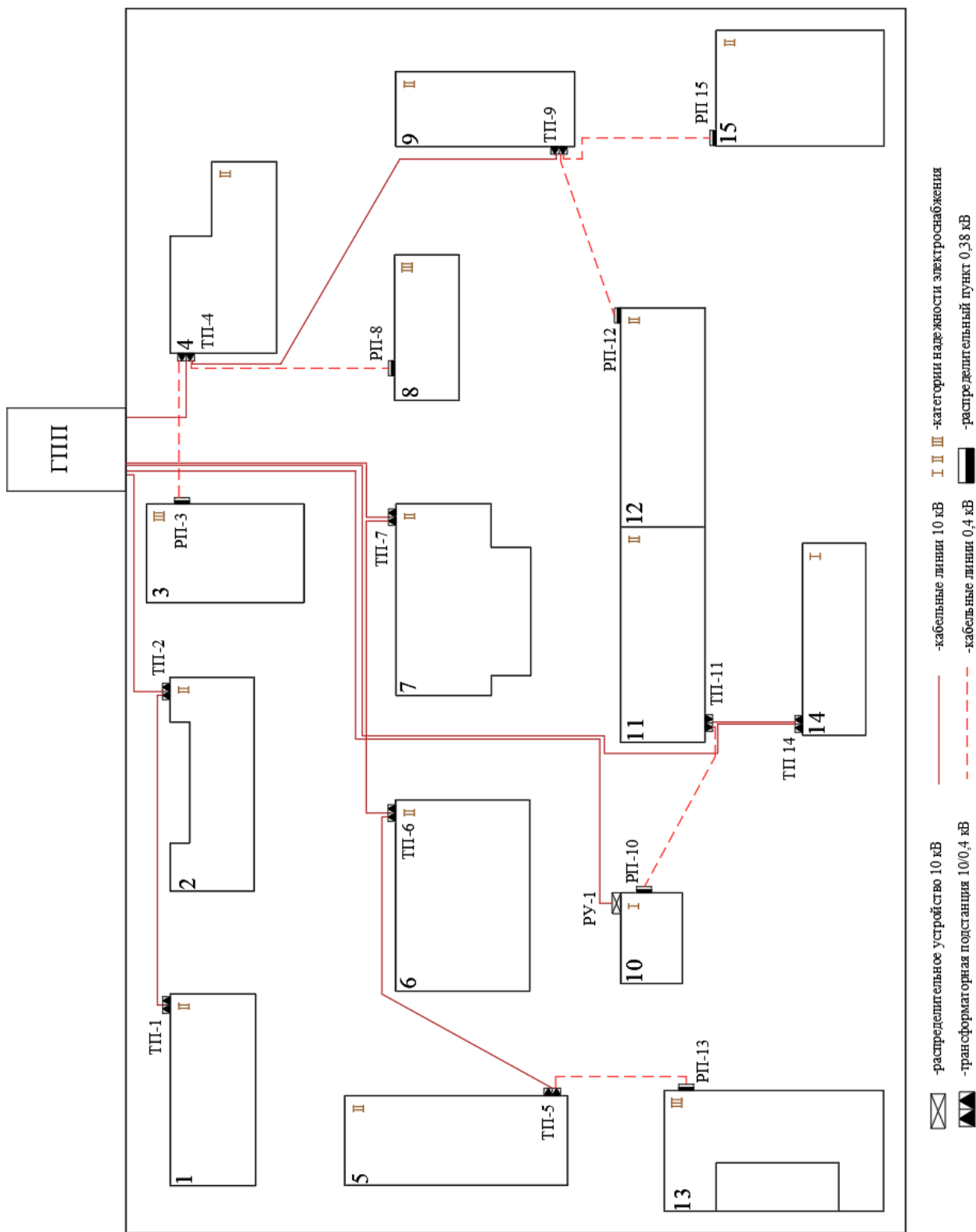


Рисунок А.1 – План прокладки КЛ

## Приложение Б

### Схема релейной защиты силовых трансформаторов ГПП

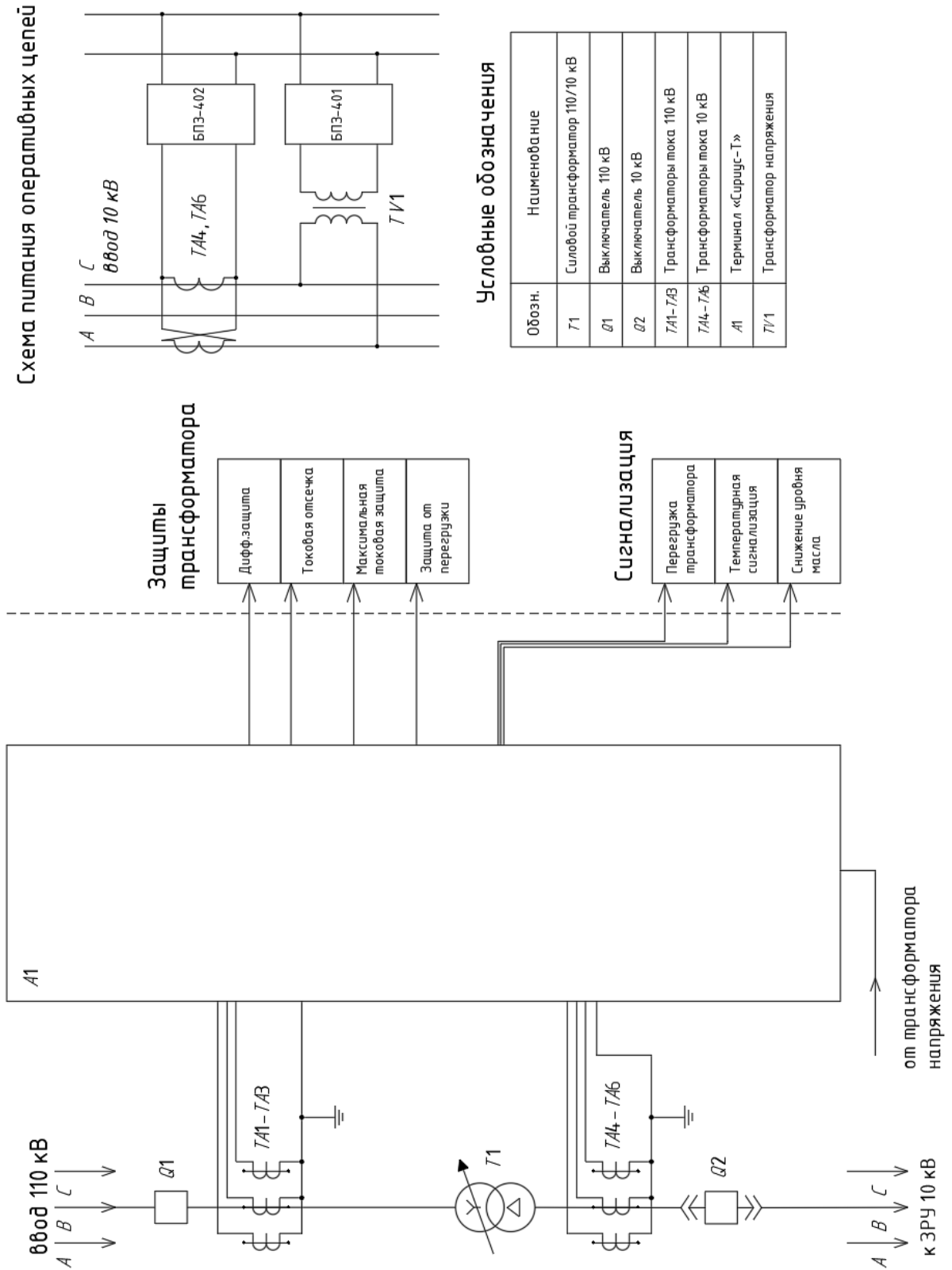


Рисунок Б.1 – Схема релейной защиты силовых трансформаторов ГПП

## Приложение В

### Схема релейной защиты линий 10 кВ

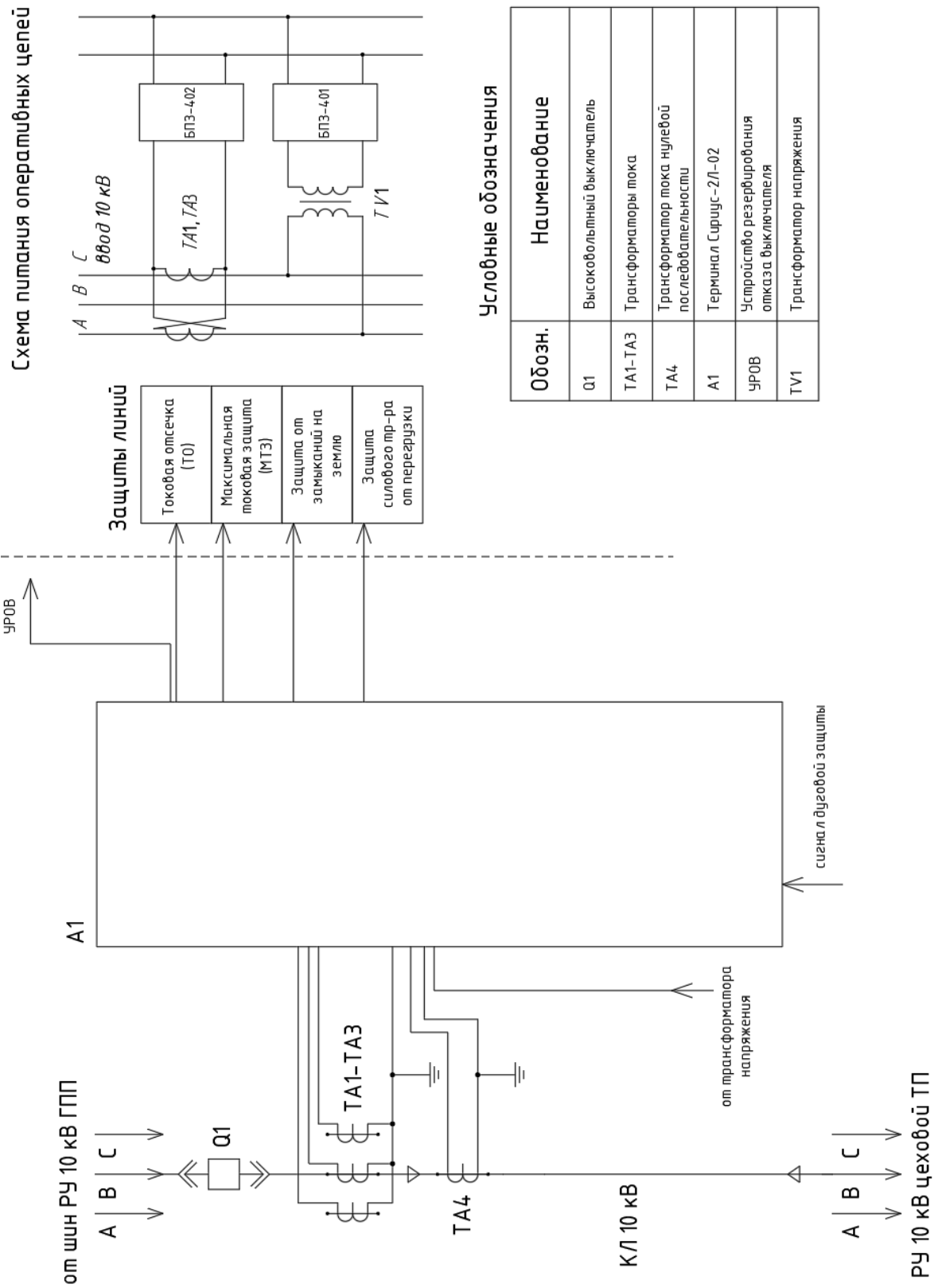


Рисунок В.1 – Схема релейной защиты линий 10 кВ