

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему «Электроснабжение группы цехов тракторного завода»

Студент(ка)

В.Ю. РЫЖКОВ

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## **Аннотация**

В данной выпускной квалификационной работе бакалавра спроектирована электрическая часть группы цехов тракторного завода. В процессе проектирования был осуществлён выбор числа, типа и мощности силовых трансформаторов, главной электрической схемы предприятия, электрических аппаратов и проводников.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из пояснительной записки, объёмом 59 листов, дополняемой 7 рисунками и содержащей 18 таблиц, и графической части, выполненной на шести листах формата А1.

## Содержание

Введение .....	5
1. Краткая характеристика объекта проектирования.....	6
2. Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху (прессовому) и по предприятию, выбор схемы внутрицехового электроснабжения и оборудования цеха .....	9
3. Выбор числа, мощности и типа цеховых трансформаторных подстанций предприятия.....	29
4. Выбор схемы внешнего электроснабжения и трансформаторов главной понизительной подстанции.....	31
5. Выбор напряжения и схемы внутреннего электроснабжения предприятия.....	38
6. Расчет токов короткого замыкания.....	40
7. Выбор электрических аппаратов .....	43
8. Оперативный ток и собственные нужды подстанции.....	51
9. Расчёт заземления подстанции .....	52
10. Молниезащита подстанции .....	55
Заключение.....	57
Список использованных источников.....	58

## Введение

Электроэнергия производится на электростанциях энергосистемы и передается к месту потребления по ее сетям на высоком напряжении (110-220 кВ). Предприятие имеет понижающую трансформаторную подстанцию, на которой происходит ее преобразование до напряжения распределительных сетей предприятия (6-20 кВ), где электроэнергия распределяется по потребительским подстанциям, а от них - к низковольтным распределительным пунктам и электроприемникам [1-3].

Большинство электроприемников технологических установок, предприятия, населенного пункта предназначены для эксплуатации при напряжении до 1 кВ. Понижение напряжения происходит на подстанциях потребителей, а распределение электроэнергии выполняется по внутрицеховым электрическим сетям при напряжении 0,4-1 кВ. Наиболее распространенной является схема электроснабжения предприятий от энергосистемы, представленной ТЭЦ или ГЭС.

Систему электроснабжения (СЭС) можно разделить на три системы: систему внешнего электроснабжения предприятия; систему внутреннего электроснабжения; систему внутрицехового электроснабжения и электропотребления. Вместе с тем, СЭС предприятия является подсистемой общей энергосистемы и подсистемой технологической системы производства самого промышленного предприятия. Электроэнергию, которая передается по электрическим сетям в систему электроснабжения предприятия, можно рассматривать как составляющую производственного процесса предприятия наравне с сырьем, используемыми материалами и затраченными трудозатратами.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование надежной системы электроснабжения группы цехов тракторного завода, отвечающей всем требованиям безопасности и качества электроэнергии.

## 1 Краткая характеристика объекта проектирования

Задачей выпускной квалификационной работы является расчет и рациональное построение системы электроснабжения тракторного завода. На предприятии большинство потребителей относится ко второй категории по надежности электроснабжения. Большинство цехов с токопроводящей пыльной средой. Завод расположен на средней Волге, имеет 8 производственных цехов.

Проектирование следует учитывать современные требования к проектированию электроснабжения промышленных предприятий. Генплан завода представлен на рисунке 1.

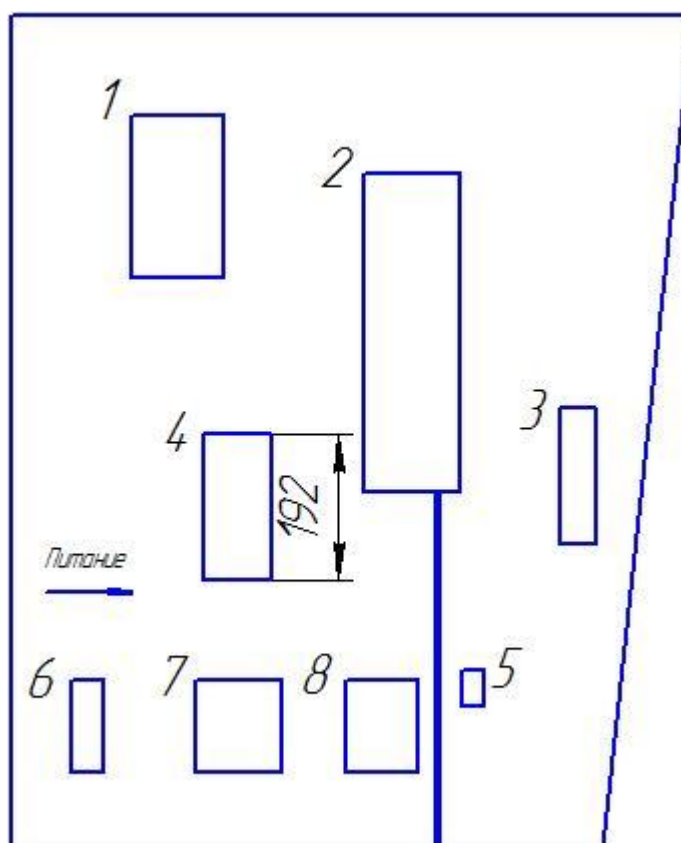


Рисунок 1 – Генеральный план предприятия

Прессовый цех (ПЦ) предназначен для штамповки деталей. Он является одним из производственных цехов завода. На нем предусмотрены: станочное отделение, где размещен станочный парк; ремонтная мастерская, служебные, вспомогательные и

бытовые помещения. Транспортные операции выполняются с помощью кран-балки и наземных электротележек.

Цех получает электроснабжение от собственной трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, расположенной в пристройке здания. Распределительные устройства (РУ) потребителей ПЦ размещены в станочном отделении. От этой же ТП получают электроснабжение еще два участка с дополнительной нагрузкой ( $S_{p.доп.}=250$  кВА,  $\cos\varphi=0,8$ ).

Все электроприемники относятся к 2 категории надежности электроснабжения. Количество рабочих смен – 3.

Размеры здания  $A \times B \times H=48 \times 30 \times 7$  м. Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,2 м.

Мощность электропотребления ( $P_{гасп}$ ) указана для одного электроприемника. Расположение основного оборудования показано на плане (рисунок 2).

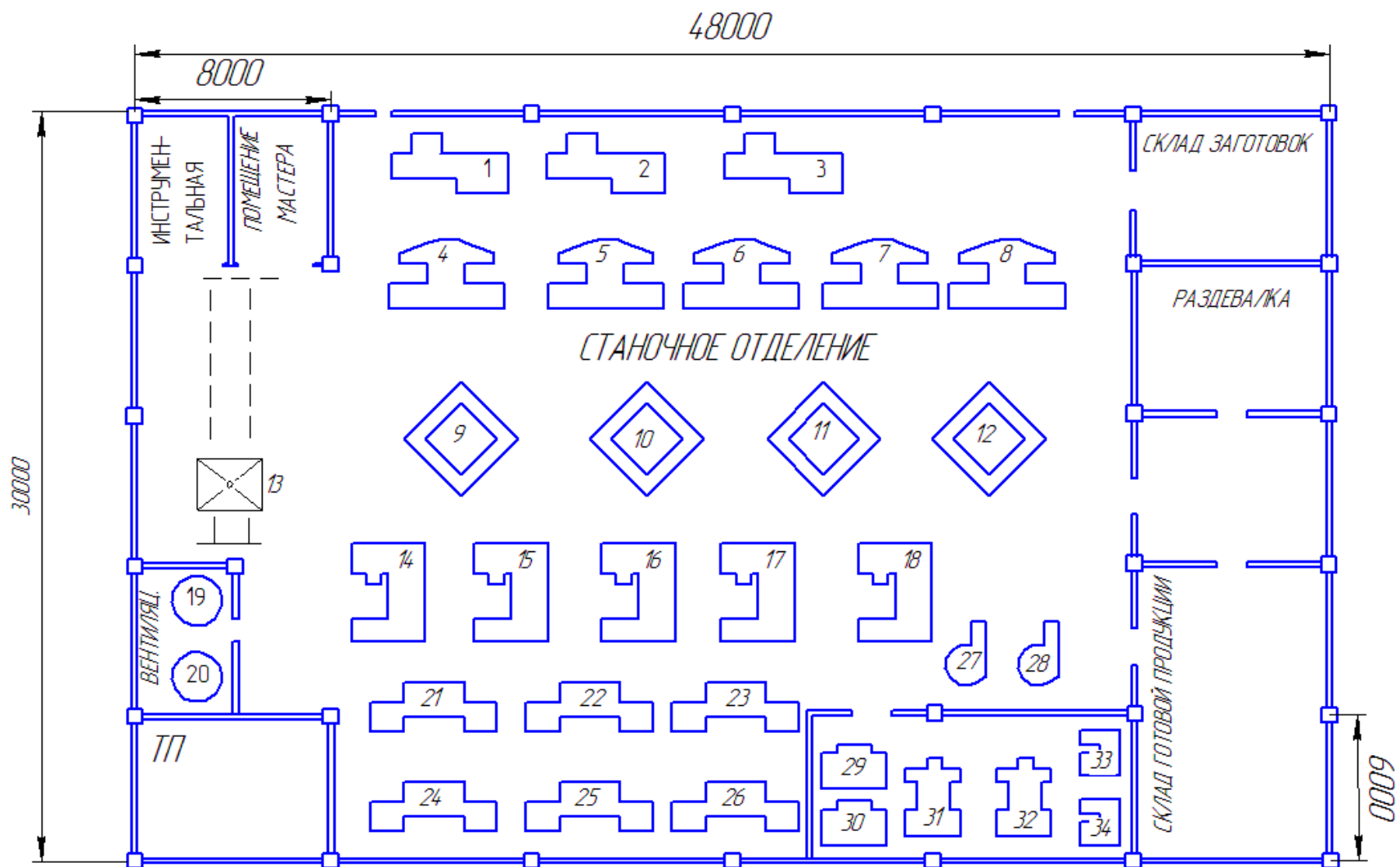


Рисунок 2 – План расположения оборудования прессового цеха

## 2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху (прессовому) и по предприятию, выбор схемы внутрицехового электроснабжения и оборудования цеха

### 2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей по прессовому цеху

Все электроприёмники, за исключением кран-балки и кривошипных прессов приведены к ПВ = 100%. Для крана определяем установленную мощность:

- кран-балка:

$$P_{ном} = P_{насп} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (2.1)$$

$$P_{ном} = 12,5 \cdot \sqrt{0,4} = 7,9 \text{ кВт}$$

- прессы кривошипные:

$$P_{ном} = 25 \cdot \sqrt{0,6} = 19,365 \text{ кВт}$$

Также в работе дана однофазная нагрузка – наждачные станки, подключенные на фазное напряжение. Для определения их установленной мощности определяем величину неравномерности:

$$H = \frac{P_{\phi.НАИБ} - P_{\phi.НАИМ.}}{P_{\phi.НАИМ.}} \cdot 100\% = \frac{3-0}{"0"} \cdot 100\% \quad H > 15\% \quad (2.2)$$

$$P_{H.\Sigma} = P_{\phi.НАИБ} \cdot 3 = 3 \cdot 3 = 9 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

$$P_{H.\Sigma} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ кВт}$$

Для каждого ЭП по [3] выписываем соответствующие коэффициенты использования ( $k_u$ ) и коэффициенты мощности ( $\cos \phi$ ).

Рассчитываем суммарную активную мощность каждой подгруппы электроприёмников:

$$P_{H.\Sigma} = P_{НОМ} \cdot n \quad (2.4)$$

Определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} \quad (2.5)$$



$$m = \frac{19,36}{2,5} = 7,74 \Rightarrow m > 3$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузки для каждой подгруппы электроприёмников:

$$P_C = K_H \cdot P_{H,\Sigma} \quad (2.6)$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (2.7)$$

Определяем средний коэффициент использования и среднее значение  $\operatorname{tg} \phi_{cp}$  и  $\cos \phi_{cp}$  :

$$K_{H,CP} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H,\Sigma}} \quad (2.8)$$

$$K_{H,CP} = \frac{81,35}{420,3} = 0,193$$

$$\operatorname{tg} \phi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C} \quad (2.9)$$

$$\operatorname{tg} \phi_{cp} = \frac{70,7}{81,35} = 0,87$$

Находим эффективное число электроприёмников:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_{H,\Sigma})^2}{\sum n P_{H,\Sigma}^2} \quad (2.10)$$

$$n_{\text{Э}} = 28 \text{ шт.}$$

По [2] находим коэффициент максимума:

$$K_M = 0,75$$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки трёхфазных электроприёмников:

$$P_P = K_M \cdot \sum P_{Cm} \quad (2.11)$$

$$P_p = 0,75 \cdot 81,35 = 61,02 \text{ кВт},$$

т.к.  $n_3 \geq 10$ , то

$$Q_p = \sum Q_{Cm} \quad (2.12)$$

$$Q_p = 70,7 \text{ квар}$$

Определяем полную расчётную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.13)$$

$$S_p = \sqrt{(61,02)^2 + (70,7)^2} = 93,4 \text{ кВА}$$

Определяем расчётный ток для электроприёмников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.14)$$

$$I_p = \frac{93,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 141,91 \text{ А}$$

## 2.2 Определение электрических нагрузок освещения прессового цеха

Светотехнический расчет - необходимый этап проектирования осветительной установки (ОУ), позволяющий от нормируемых количественных и качественных показателей освещения перейти к определению мощности, типа, числа и взаимного расположению СП с ИС [4]. Цели и задачи светотехнического расчета: 1. По нормируемой освещенности  $E_{норм}$  найти необходимое число СП - это прямой расчет. 2. Определение освещенности от СП, используемых в ОУ, - это задача обратная или поверочный расчет. Если результаты решения не соответствуют требованиям действующих норм, то выполняется корректировка светотехнического проекта. При расчете мощности ОУ и проведении поверочных расчетов на соответствие нормируемой

освещенности используются два метода: 1. Точечный метод, в котором исходными параметрами служат сила света излучателя в направлении расчетной точки, его положение относительно этой точки и ориентация в пространстве плоскости, в которой находится освещенность. 2. Метод коэффициента использования светового потока, в котором средняя освещенность определяется как отношение светового потока, установившегося на расчетной плоскости, к площади этой поверхности. Метод коэффициента использования применяется обычно при решении прямой задачи, когда распределение светового потока по освещаемой поверхности близко к равномерному. Проверочные расчеты освещенности выполняются, как правило, методом расчета по силе света. При расчете ОУ требуются, в общем случае, расчет распределения светового потока, подающего от светильников на рабочую поверхность (плоскость, на которой нормируется освещенность), потолок и стены, и расчет множества отражений этих световых потоков между поверхностями в рассматриваемом помещении.

Расчет освещения ведётся по методу коэффициента использования светового потока.

1) Станочное отделение.

$$S = a \cdot b = 32 \cdot 30 = 960 \text{ м}^2, \quad (2.15)$$

$$S = 32 \cdot 30 = 960 \text{ м}^2$$

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (a + b)}, \quad (2.16)$$

где:  $H$  – высота цеха, м;

$h_1$  – высота подвеса светильника;

$h_2$  – высота рабочей поверхности.

$$i = \frac{960}{(7 - 1,5 - 1) \cdot (32 + 30)} = 2,81$$

По [3] определяем коэффициент запаса и коэффициенты отражения потолка, стен и пола:

$$K_3 = 2$$

Потолок: 30%

Стены: 30%

Пол: 10%

Предполагаем к установке светильники НВО 400Н ( $\cos \varphi = 0,85$ ) с лампами ДРИ400-5

Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (2.17)$$

$E$  – требуемая горизонтальная освещённость, лк;

$S$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$\eta$  – коэффициент использования;

$n$  – количество ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток одной лампы.

$$N = \frac{200 \cdot 960 \cdot 2}{0,61 \cdot 1 \cdot 31000} = 20 \text{ шт.}$$

2) Трансформаторная, раздевалка, склад заготовок и безымянное.

$$S = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2$$

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{128}{(3,2 - 0,6 - 0) \cdot (8 + 6)} = 3,04$$

Определяем коэффициент запаса и коэффициенты отражения потолка, стен и пола:

$$K_3 = 1,5$$

Потолок: 50%

Стены: 50%

Пол: 10%

Предполагаем к установке светильники Lightnotechnologies Als. Opl 136.

Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{200 \cdot 48 \cdot 1,5}{0,34 \cdot 1 \cdot 5200} = 8 \text{ шт.}$$

3) Вентиляционная, инструментальная, помещение мастера.

$$S = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2$$

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{24}{(3,2 - 0,6 - 0) \cdot (6 + 4)} = 0,8$$

Определяем коэффициент запаса:

$$K_3 = 1,5$$

Определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола:

Потолок: 50%

Стены: 30%

Пол: 10%

Предполагаем к установке светильники Lightnotechnologies Als. Opl 136 и определяем их требуемое количество:

$$N = \frac{200 \cdot 24 \cdot 1,5}{0,34 \cdot 1 \cdot 5200} = 4 \text{ шт.}$$

4) Ремонтная мастерская.

$$S = 6 \cdot 13 = 78 \text{ м}^2$$

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{78}{(3,2 - 0,5 - 1) \cdot (13 + 6)} = 1,95$$

Определяем коэффициент запаса:

$$K_3 = 1,5$$

Предполагаем к установке светильники Lightnotechnologies Als. Opl 136.

Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{200 \cdot 78 \cdot 1,5}{0,18 \cdot 2 \cdot 5200} = 12 \text{ шт.}$$

5) Склад готовой продукции

$$S = 12 \cdot 8 = 96 \text{ м}^2$$

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{96}{(3,2 - 0,5) \cdot (8 + 12)} = 1,77$$

Определяем коэффициент запаса:

$$K_3 = 1,5$$

Предполагаем к установке светильники Lightnotechnologies Als. Opl 136

Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{200 \cdot 96 \cdot 1,5}{0,31 \cdot 2 \cdot 5200} = 9 \text{ шт.}$$

Определяем расчётные активную и реактивную осветительные нагрузки (итого по светильникам ДРИ):

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л} \quad (2.17)$$

$$P_{осв} = 20 \cdot 1 \cdot 0,4 = 8 \text{ кВт,}$$

где  $P_{л}$  – мощность одной лампы, Вт.

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,62$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.18)$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 8000 \cdot 0,62 = 4,96 \text{ квар}$$

Определяем расчётные активную и реактивную осветительные нагрузки (итого по люминесцентным светильникам):

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л} = 66 \cdot 0,072 = 4,752 \text{ кВт} \quad (2.19)$$

$$\cos \varphi = 0,96 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,29$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.20)$$

$$Q_{\text{осв}} = 4,752 \cdot 0,29 = 1,38 \text{ квар}$$

### 2.3 Определение суммарных электрических нагрузок по цеху

Определяем суммарные активную и реактивную мощности:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{р}} + P_{\text{осв}} + P_{\text{доп}} \quad (2.21)$$

$$P_{\Sigma} = 61,02 + 12,752 + 200 = 273,77 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{р}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{доп}} \quad (2.22)$$

$$Q_{\Sigma} = 70,7 + 6,34 + 150 = 227,04 \text{ квар}$$

Определяем полную суммарную нагрузку:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} \quad (2.23)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{(273,77)^2 + (227,04)^2} = 357,64 \text{ кВА}$$

Определяем суммарный ток:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (2.24)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{357,64}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 543,4 \text{ А}$$

Наименования ЭП, их количество и паспортные данные, а также результаты всех расчётов по приведённым выше формулам сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов нагрузок прессового цеха

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприёмников		Количество ЭП, п	Установленная мощность, приведённая к ПВ=100%		$m$	$K_{II}$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка		Эффективное число ЭП, $n_{Э}$	$K_M$	Расчётная нагрузка			$I_P, \text{А}$
				Одного ЭП $P_{H, \text{МАКС}}$ кВт	Всех ЭП $P_H,$ кВт				$P_C,$ кВт	$Q_C,$ квар			$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА	
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1..3	Кузнечно-штамповочные автоматы (КША)	3	12,4	37,2	-	0,17	0,65/0,89	6,324	5,63	-	-	-	-	-	-
2	4..8	Прессы электромеханические (ПЭ)	5	15,7	78,5	-	0,17	0,65/0,89	13,345	11,88	-	-	-	-	-	-
3	9..12	Прессы фрикционные (ПФ)	4	10,5	42	-	0,17	0,65/0,89	7,14	6,35	-	-	-	-	-	-
4	13	Кран-балка	1	7,9	7,9	-	0,25	0,5/1,5	1,975	2,96	-	-	-	-	-	-
5	14..18	Молоты ковочные (МК)	5	17,3	86,5	-	0,2	0,65/0,89	17,3	15,4	-	-	-	-	-	-
6	19,20	Вентиляторы (В)	2	3,8	7,6	-	0,7	0,8/0,45	5,32	2,39	-	-	-	-	-	-
7	21..26	Прессы кривошипные (ПК)	6	19,3	116,2	-	0,17	0,65/0,89	19,754	17,58	-	-	-	-	-	-
8	27,28	Насосы масляные	2	2,5	5	-	0,7	0,85/0,73	3,5	2,55	-	-	-	-	-	-
9	29,30	Наждачные станки	2	3	9	-	0,17	0,65/0,89	1,53	1,36	-	-	-	-	-	-
10	31,32	Шлифовальные станки (ШС)	2	12	24	-	0,17	0,65/0,89	4,08	3,63	-	-	-	-	-	-
11	33,34	Сверлильные станки	2	3,2	6,4	-	0,17	0,65/0,89	1,088	0,97	-	-	-	-	-	-
	Итого без освещения		34	19,3/2,5	420,3	> 3	0,193	0,65/0,87	81,356	70,7	28	0,75	61,02	70,7	93,4	141,9
	Осветительная нагрузка												12,75	6,34	14,24	
	Дополнительная нагрузка												200	150	250	
	Итого с освещением												273,77	227,04	357,64	543,4



## **2.4 Определение ожидаемых электрических нагрузок по всему предприятию**

Остальные цеха рассчитываем аналогичным образом. Считаем сменные активную и реактивную мощности; предварительно выбрав из таблиц значения коэффициента максимума,  $\text{tg}\varphi$  и  $\text{cos}\varphi$ , считаем расчетные активную и реактивную мощности, определив нагрузки освещения для каждого цеха. Отдельно считается нагрузка освещения по территории завода. Затем суммируем результаты расчетов по цехам. Все расчеты производятся по формулам приведенным выше в пунктах 2.1, 2.2, 2.3.

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.

## **2.5 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения**

В данной выпускной квалификационной работе питание ЦТП осуществляется кабелем от ГПП завода. Цеховой трансформатор защищен от токов короткого замыкания автоматическим выключателем. Трансформатор соединен с РУ, от которого отходят два распределительных шинпровода, а также кабель, который соединяет РУ с РП.

На рисунке 2 изображена внутрицеховая сеть электроснабжения 0,4 кВ.

## **2.6 Выбор оборудования внутрицеховой сети**

Для расчёта токов КЗ на разных участках сети внутреннего электроснабжения нужно знать параметры всех элементов сети. Предварительный выбор шинпроводов, кабельных линий, автоматов и прочего оборудования делаем по расчётным значениям номинальных токов.

Таблица 2 - Результаты расчетов нагрузок по всему предприятию

№ пп	Наименование цехов и узлов СЭС ПП	$P_n$ кВт	$P_{н.э}$ кВт	$n_э$	$K_n$	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	$P_c$ кВт	$Q_c$ кВт	$K_m$	$P_p$ кВт	$P_{p.o.}$ кВт	$P_p+P_{p.o.}$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВ А
1	Ремонтно-литейный цех	4945	206	24	0,7	0,8/0,75	3461,5	2596,1	1,1	3807	15,78	3822,78	2596,1	4621
2	Агрегатный цех	6900	69	100	0,45	0,6/1,33	3105	4129,6	1,08	3253,4	23,42	3276,82	4129,6	5272
3	Ремонтно-механический цех	356	14,83	24	0,6	0,85/0,62	213,6	132,4	1,14	243,5	13,25	256,75	132,4	288,9
4	Сварочно-сборочный цех	22690	315,14	72	0,7	0,8/0,75	15883	11912,25	1,06	16836	14,37	16850,37	11912,25	20640
5	Прессовый цех	980	35	28	0,19	0,65/1,16	189,15	220,7	1,38	261,02	12,75	273,77	220,7	351,6
6	Электроцех	925	25	37	0,6	0,6/1,33	555	738,15	1,12	621,6	14,12	635,72	738,15	974,17
7	Чугунолитейный цех	10240	165,1	62	0,7	0,8/0,75	7168	5376	1,03	7383	16,37	7399,37	5376	9146
8	Кузнечный цех	19500	103,7	188	0,6	0,5/1,73	4875	8433,7	1,08	5265	14,63	5279,63	8433,7	9950
	Освещение территории	-	-	-	-	-	-	-	-	-	84,72	-	-	84,72
	<b>Итого по нагрузке 0,4 кВ</b>	66536	25.. 933,8	535	0,52	0,71/0,973	34450,25	33538,9	1,12	38584,28	209,41	38793,7	33538,9	51280
	<b>Итого по предприятию</b>	66536	25.. 933,8	535	0,52	0,71/0,973	34450,25	33538,9	-	38584,28	209,41	38793,7	33538,9	51280

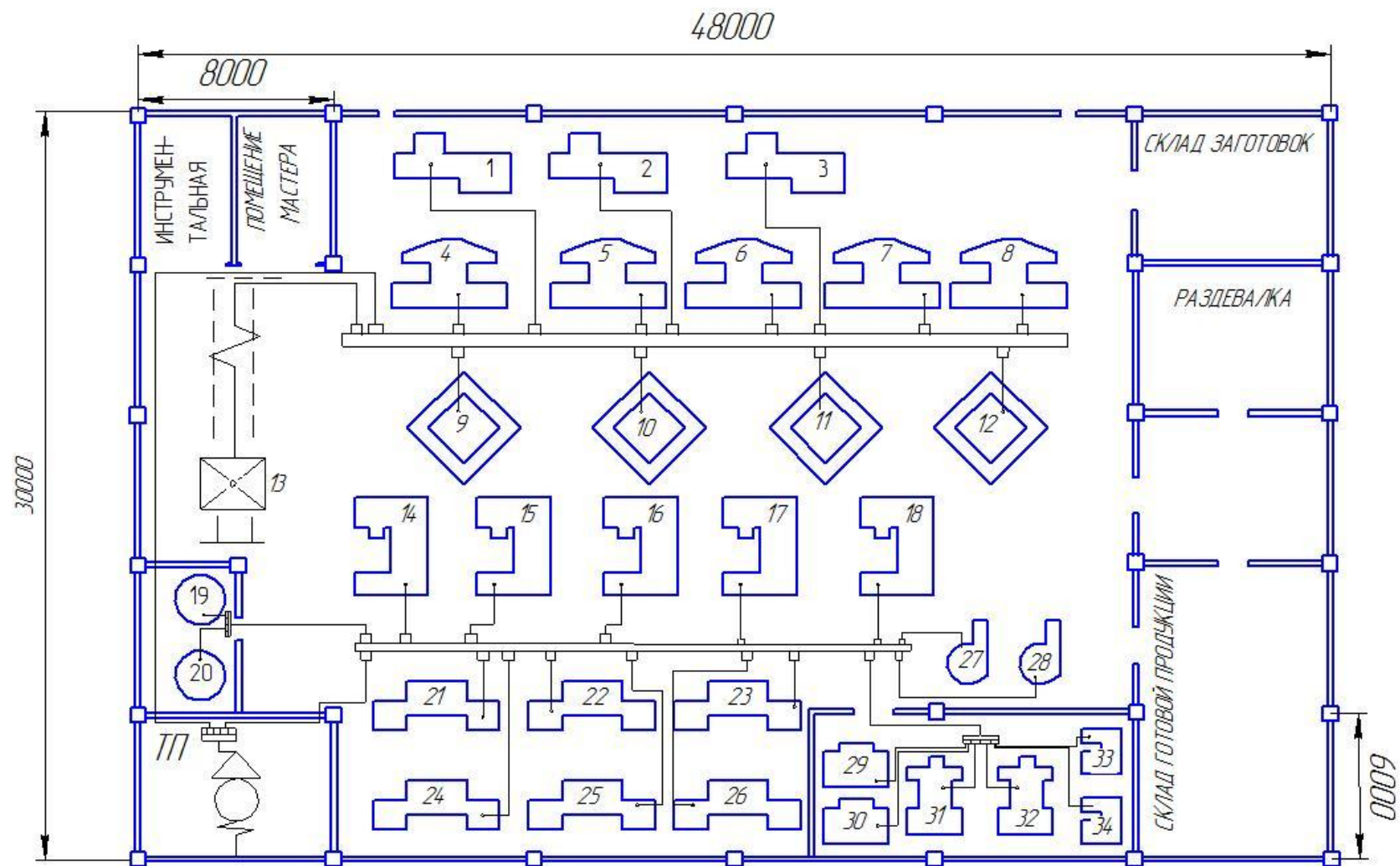


Рисунок 2 – Схема электроснабжения прессового цеха

### 2.6.1 Выбор шинопроводов

Выбор распределительных шинопроводов:

Для выбора шинопроводов нужно провести расчёт токов аналогично разделу 2 данной выпускной квалификационной работы с учётом деления ЭП.

Результаты расчётов сведены в таблицу 3.

По расчётным данным выбираем:

- распределительный шинопровод ШР1 марки ШРА4 – 250;
- распределительный шинопровод ШР2 марки ШРА4 – 250.

### 2.7 Выбор кабельных линий

Для запитки электрооборудования цеха от ТП и от шинопроводов для механического цеха производства фруктового сока выбираем кабели марки АВВГ. Сечение проводников выбираем исходя из расчётных значений токов ЭП по условию нагрева согласно ПУЭ (глава 1.3; таблица 1.3.7).

Для каждого типа ЭП по формулам 2.13 и 2.14 находим номинальный рабочий ток:

Кузнечно-штамповочный автомат:

$$I_p = \frac{\sqrt{12,4^2 + (12,4 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 25,22 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Таблица 3 – Расчет нагрузок с учетом разделения ЭП

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприёмников		Количество ЭП, n	Установленная мощность, приведённая к ПВ=100%		m	K <sub>И</sub>	cosφ/tgφ	Средняя нагрузка		Эффективное число ЭП, n <sub>Э</sub>	K <sub>М</sub>	Расчётная нагрузка			I <sub>P</sub> , А
				Одного ЭП P <sub>н.макс</sub> P <sub>н.мин</sub> , кВт	Всех ЭП P <sub>н</sub> , кВт				P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар			P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>ШР1</b>																
1	14..18	Молоты ковочные	5	17,3	86,5	-	0,2	0,65/0,89	17,3	15,4	-	-	-	-	-	-
2	21..26	Прессы кривошипные	6	19,4	116,2	-	0,17	0,65/0,89	19,75	17,58	-	-	-	-	-	-
3	18,19,20	Насосы масляные	2	2,5	5	-	0,7	0,85/0,73	3,5	2,55	-	-	-	-	-	-
4	19,20	Вентиляторы	2	3,8	7,6	-	0,7	0,8/0,45	5,32	2,39	-	-	-	-	-	-
5	29,30	Наждачные станки	2	3	9	-	0,17	0,65/0,89	1,53	1,36	-	-	-	-	-	-
6	31,32	Шлифовальные станки	2	12	24	-	0,17	0,65/0,89	4,08	3,63	-	-	-	-	-	-
7	33,34	Сверлильные станки	2	3,2	6,4	-	0,17	0,65/0,89	1,09	0,97	-	-	-	-	-	-
		ИТОГО:	21	19,4/2,5	254,7	>3	0,2	-/0,835	52,57	43,88	16	0,8	42	43,88	60,74	92,3
<b>ШР2</b>																
1	13	Кран-балка	1	7,9	7,9	-	0,25	0,5/1,5	1,975	2,96	-	-	-	-	-	-
2	9..12	Прессы фрикционные	4	10,5	42	-	0,17	0,65/0,89	7,14	6,35	-	-	-	-	-	-
3	4..8	Прессы электромеханические	5	15,7	78,5	-	0,17	0,65/0,89	13,345	11,88	-	-	-	-	-	-
4	1..3	Кузнечно-штамповые автоматы	3	12,4	37,2	-	0,17	0,65/0,89	6,32	5,63	-	-	-	-	-	-
		ИТОГО:	13	15,7/7,9	165,6	<3	0,173	-/0,93	28,78	26,82	13	0,95	27,34	26,82	38,3	58,19
<b>РП1</b>																
1	19,20	Вентиляторы	2	3,8	7,6	-	0,7	0,8/0,45	5,32	2,39	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		ИТОГО:	2	3,8/3,8	7,6	<3	0,7	-/0,45	5,32	2,39	2	1	5,32	2,63	5,93	9
	<b>РП2</b>															
1	29,30	Наждачные станки	2	3	9	-	0,17	0,65/0,89	1,53	1,36	-	-	-	-	-	-
2	31,32	Шлифовальные станки	2	12	24	-	0,17	0,65/0,89	4,08	3,63	-	-	-	-	-	-
3	33,34	Сверлильные станки	2	3,2	6,4	-	0,17	0,65/0,89	1,09	0,97	-	-	-	-	-	-
		ИТОГО:	6	12/3	39,4	>3	0,17	-/0,89	6,7	5,96	5	1,06	9,54	6,55	11,57	17,58

Электромеханический пресс:

$$I_p = \frac{\sqrt{15,7^2 + (15,7 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 31,93 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×6+1×1,4

Пресс фрикционный:

$$I_p = \frac{\sqrt{10,5^2 + (10,5 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 21,357 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Кран-балка:

$$I_p = \frac{\sqrt{7,9^2 + (7,9 \cdot 1,5)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 21,64 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Молот ковочный:

$$I_p = \frac{\sqrt{17,3^2 + (17,3 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 35,2 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×10+1×6

Кривошипные прессы:

$$I_p = \frac{\sqrt{19,365^2 + (19,365 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 39,38 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×10+1×6

Вентилятор:

$$I_p = \frac{\sqrt{3,8^2 + (3,8 \cdot 0,45)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,33 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Насос масляный:

$$I_p = \frac{\sqrt{2,5^2 + (2,5 \cdot 0,73)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4,7 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Наждачный станок:

$$I_p = \frac{\sqrt{3^2 + (3 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,1 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Шлифовальный станок:

$$I_p = \frac{\sqrt{12^2 + (12 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 24,4 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Сверлильный станок:

$$I_p = \frac{\sqrt{3,2^2 + (3,2 \cdot 0,89)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,5 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

Номинальный расчётный ток от трансформатора РУ до РП :

$$I_p = 17,58 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×4+1×2,5

От РУ до ШР1 ШРА4 – 250:

$$I_p = 92,3 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×50+1×25

От РУ до ШР2 ШРА4 – 250:

$$I_p = 58,19 \text{ А}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3×16+1×10

От ТП до РУ:

$$I_p = 141,91 \text{ А}$$

Выбираем 1 кабель АВВГ - 3×95+1×50.

## 2.8 Выбор защитной аппаратуры

Выбор выключателей к шинопроводам:

Номинальный расчётный ток от трансформатора РУ до РП согласно данным таблицы 3:

$$I_p = 17,58 \text{ А} \leq I_{н.р.} = 25 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51 – 25.



От РУ до ШР1 (ШРА4 – 250):

$$I_p = 92,3 \text{ A} \leq I_{н.р.} = 100 \text{ A}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51 – 31.

От РУ до ШР2 (ШРА4 – 250):

$$I_p = 58,19 \text{ A} \leq I_{н.р.} = 63 \text{ A}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51 – 29.

От трансформатора до РУ :

$$I_p = 141,9 \text{ A} \leq I_{н.р.} = 160 \text{ A}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА52 – 33.

## 2.9 Выбор измерительного трансформатора тока на стороне 10 кВ

ТА1: Рассчитываем длительный ток:

$$I_{дл} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.25)$$

$$I_{дл} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,43 \text{ A}$$

К установке предполагаем ТТ с коэффициентом трансформации 20/5, класс точности 1, частота 50Гц.

ТА2: Рассчитываем длительный ток:

$$I_{дл} = 141,9 \text{ A}$$

К установке предполагаем два ТТ с коэффициентом трансформации 150/5, класс точности 1, частота 50Гц.

ТА3: Рассчитываем длительный ток:

$$I_{дл} = 92,3 \text{ A}$$

К установке предполагаем ТТ с коэффициентом трансформации 100/5, класс точности 1, частота 50Гц.

ТА4: Рассчитываем длительный ток:

$$I_{дл} = 58,19 \text{ A}$$

К установке предполагаем ТТ с коэффициентом трансформации 75/5, класс точности 1, частота 50Гц.

ТА5: Рассчитываем длительный ток:

$$I_{дл} = 17,58 \text{ А}$$

К установке предполагаем ТТ с коэффициентом трансформации 20/5, класс точности 1, частота 50Гц.

## 2.10 Расчет картограммы электрических нагрузок предприятия

Радиус окружности и углы секторов для каждого цеха определяются по формулам:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (2.26)$$

$$a_{Hi} = 360 \frac{P_{PHi}}{P_{Pi}}, \quad a_{OCBi} = 360 \frac{P_{OCBi}}{P_{Pi}}, \quad (2.27)$$

где  $P_{pi}$ ,  $P_{PHi}$ ,  $P_{OCBi}$  – расчетные активные нагрузки соответственно всего цеха, электроприемников до 1000В и электрического освещения,  $m$ –выбранный масштаб.

Рассчитаем радиус и углы секторов для самого большого по мощности цеха.

Сварочно-сборочный цех:

Радиус окружности:

$$R_4 = \sqrt{\frac{16850,37}{3,14 \cdot 53}} = 10 \text{ см},$$

Угол сектора для приемников до 1000 В:

$$a_{H4} = 360 \frac{16836}{16580,37} = 359,7^\circ$$

Угол сектора электрического освещения:

$$a_{OCB4} = 360 \frac{14,37}{16580,37} = 0,3^{\circ}$$

Производим аналогичный расчет для каждого цеха. Результаты расчетов сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Радиусы и углы окружностей для всех цехов

Цех	R <sub>i</sub> , см	α <sub>ни</sub> , °	α <sub>освi</sub> , °
Ремонтно-литейный цех	4,8	358,5	1,5
Агрегатный цех	4,4	357,4	2,6
Ремонтно-механический цех	1,25	341,4	18,6
Сварочно-сборочный цех	10	359,7	0,3
Прессовый цех	1,3	343,2	16,8
Электроцех	2	352	8
Чугунолитейный цех	6,7	389,2	0,8
Кузнечный цех	5,6	359	1

Найдем центр электрических нагрузок предприятия

Координаты центра определяются по формулам:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{Pi} \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^n P_{Pi}}, Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{Pi} \cdot Y_i)}{\sum_{i=1}^n P_{Pi}}, \quad (2.28)$$

где X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub> – координаты i-го цеха на плане предприятия.

Отыскав все координаты и подставляя их в формулы, получаем координаты центра электрических нагрузок:

$$X_0 = 3,4, Y_0 = 4,1,$$

Так как центр электрических нагрузок получился внутри цеха, сдвигаем его в сторону подходящего питания, где позже расположим ГПП предприятия.

### 3 Выбор числа, мощности и типа цеховых трансформаторных подстанций предприятия

Плотность  $\sigma$  электрической нагрузки цеха определяем:

$$\sigma = \frac{S_P}{F_{ц}}, \quad (3.1)$$

где  $F_{ц}$  – площадь цеха.

Количество трансформаторов всех подстанций цеха:

$$N_0 = \frac{P_P}{K_3 S_{ном.т}}, \quad (3.2)$$

где  $K_3$  – допустимый коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы;  $S_{ном.т}$  – выбранная мощность цеховых ТП.

$K$  установке принимается ближайшее целое число  $N$ .

Количество ТП можно определить по формуле:

$$M_0 = \frac{N_0}{n},$$

где  $n$  – количество трансформаторов одной подстанции.

Для примера рассчитаем кузнечный цех:

$$\sigma_8 = \frac{9950}{96 \cdot 120} = 0,86 \text{ кВА} / \text{м}^2.$$

Т.к.  $\sigma$  получилась больше 0,3, то мощность одного трансформатора на подстанциях кузнечного цеха будет составлять 1600 кВА.

Количество трансформаторов всех подстанций кузнечного цеха:

$$N_8 = \frac{5279,63}{0,8 \cdot 1600} = 3,971.$$

Округляем до целого числа и получаем 4 трансформатора.

Количество ТП:

$$M_8 = \frac{3,971}{2} = 1,96$$

Округляем до целого числа и получаем 2 ТП.

Итак, у нас получилось, что кузнечный цех имеет 2 ТП на которых установлены 2 трансформатора мощностью 1600 кВА.

Рассчитываем каждый цех аналогичным образом, результаты расчетов сводим в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов по выбору трансформаторов и ТП

№ цеха	Цех	Уд. Плотность нагрузки, $\sigma$ , кВА/м <sup>2</sup>	Расчетная активная нагрузка $P_p$ , кВт	Категория надежности	Принято		
					Мощность тр-ров на ТП	Число тр-ров на ТП	Кол-во ТП
1	Ремонтно-литейный цех	0,21	3822,78	2	1600	2	2
2	Агрегатный цех	0,09	3276,82	2	630	2	3
3	Ремонтно-механический цех	0,05	256,75	3	630	1	1
4	Сварочно-сборочный цех	1,19	16850,37	1	2500	2	4
5	Прессовый цех	0,24	273,77	2	1600	2	1
6	Электроцех	0,07	635,72	2	630	2	1
7	Чугунолитейный цех	0,79	7399,37	2	2500	2	2
8	Кузнечный цех	0,86	5279,63	2	1600	2	2

#### 4 Выбор схемы внешнего электроснабжения и трансформаторов главной понизительной подстанции

Из всех вариантов системы внешнего электроснабжения необходимо при проектировании системы электроснабжения предприятия выбрать вариант, обладающий наилучшими технико-экономическими показателями. Для этого определяем величину рационального напряжения по формуле Стилла:

$$U_{рацi} = 4.34 \sqrt{L_i + 0.016 P_{рн}}, \quad (4.1)$$

где  $L_i$  – длина питающей линии до ГПП предприятия;  $P_{рн}$  – расчетная нагрузка завода на стороне НН ГПП.

Расчетная нагрузка завода:

$$P_{рн} = P_{рн} + P_{осв} + \Delta P_{m\Sigma 0}, \quad (4.2)$$

где  $\Delta P_{m\Sigma 0}$  – суммарные потери активной мощности в силовых трансформаторах цеховых ТП.

Определим значение  $U_{рацi}$

$$U_{рацi} = 4.34 \sqrt{4,5 + 0.016 \cdot 40293,7} = 110,6 \text{ кВ}$$

Полная расчетная нагрузка завода:

$$S_{рПi} = \sqrt{P_{рП}^2 + Q_{ЭCi}^2}, \quad (4.3)$$

где  $Q_{ЭCi}$  – экономически целесообразная величина реактивной мощности на стороне ВН ГПП, получаемая предприятием из электроэнергосистемы.

Для нашего предприятия:

$$Q_{ЭCi} = 11282,24 \text{ квар}$$

Полная расчетная нагрузка завода, необходимая для выбора трансформаторов главной понизительной подстанции, определяется по формуле 4.3:

$$S_{рПi} = 41843.4 \text{ кВА}.$$

Двухтрансформаторная ГПП выбирается при наличии потребителей 1-й, 2-й категории без резервирования по стороне НН, номинальная мощность каждого силового трансформатора:

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{S_{ПИ} \cdot K_{1-2}}{K_{пер}}, \quad (4.4)$$

где  $K_{1-2}$  – коэффициент участия в нагрузке потребителей 1-й и 2-й категории по надежности электроснабжения (для ГПП равен 0,75...0,85).  $K_{пер} = 1,4$ .

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{41843,4 \cdot 0,8}{1,4} = 23910,5 \text{ кВА}$$

По полученному значению  $S_{НОМ.Т}$  по шкале номинальных мощностей силовых трансформаторов выбираем два ближайших больших по мощности трансформатора с учетом соблюдения условия:

$$S_{НОМ.Т2} > S_{НОМ.Т1} \geq S_{НОМ.Т} \quad (4.5)$$

Расчет загрузки силового трансформатора производится согласно графику, изображенному на рисунке 3.

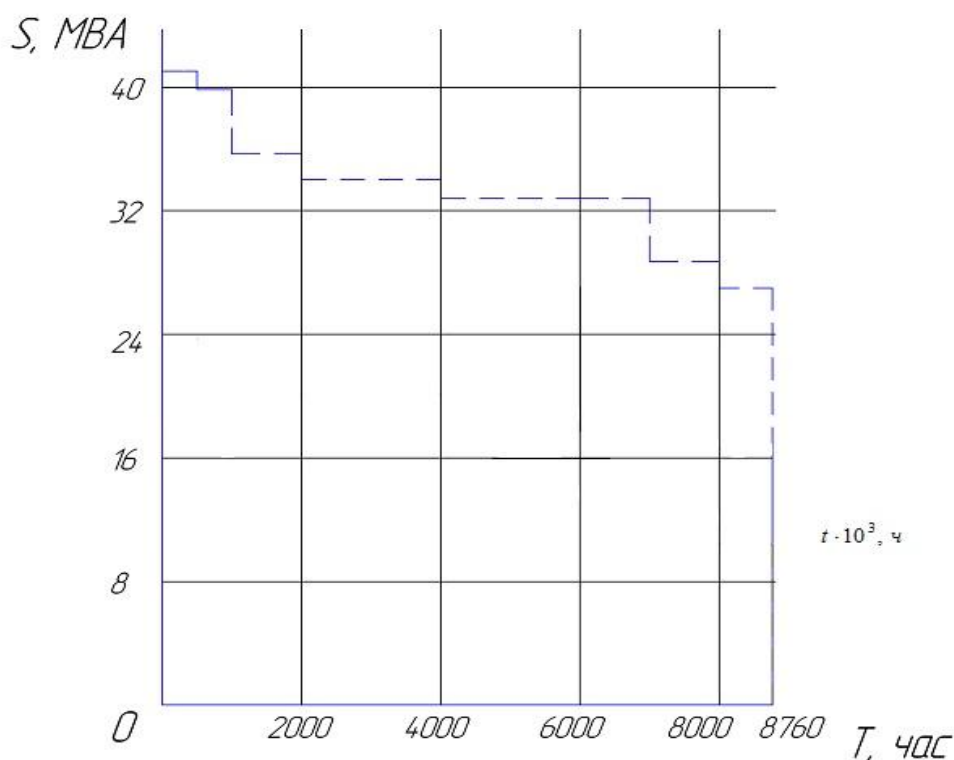


Рисунок 3 - График годовых нагрузок по предприятию

Для дальнейшего рассмотрения принимаем трансформаторы мощностью 25 МВА и 40 МВА.

Выбираем трансформаторы марок: ТРДН–25000/110/10 и ТРДН–40000/110/10.

а) Рассмотрим вариант ГПП с трансформаторами типа ТРДН – 25000/110/10, каталожные данные которых представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Каталожные данные силового трансформатора ТРДН-25000/110/10.

Тип	$S_{НОМ Т},$ МВА	Каталожные данные					
		$U_{НОМ}$ обмоток, кВ		$u_k, \%$	$\Delta P_{к},$ кВт	$\Delta P_{х},$ кВт	$I_x,$ %
		ВН	НН				
ТРДН-25000/110	25	115	10,5	10,5	120	29	0,8

Коэффициенты загрузки обмоток трансформатора:

$$k_{з.в.i} = \frac{S_{Bi}}{S_{НОМ Т}} \quad (4.6)$$

$$k_{з.в.i} = \frac{41843,4}{25000} = 1,64$$

$$k_{з.н1.i} = k_{з.н2.i} = \frac{S_{н1i}}{S_{НОМ Т}} \quad (4.7)$$

$$k_{з.н1.i} = k_{з.н2.i} = \frac{20921,7}{25000} = 0,83$$

Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме холостого хода (х.х.):

$$P'_x = \Delta P_x + k_{ин} \cdot Q_x \quad (4.8)$$

$$P'_x = 29 + 0,05 \cdot 200 = 39 \text{ кВт}$$

$$Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \cdot S_{НОМ Т} \quad (4.9)$$

$$Q_x = \frac{0,8}{100} \cdot 25000 = 200 \text{ квар}$$

$$P'_T = P'_x + k_{з.в}^2 \cdot P'_{к.в} + k_{з.н1}^2 \cdot P'_{к.н1} + k_{з.н2}^2 \cdot P'_{к.н2} \quad (4.10)$$



$$P_{к.в} = 0 \quad (4.11)$$

$$P_{к.н.1} = P_{к.н.2} = 2 \cdot \Delta P_{к}$$

$$P_{к.н.1} = P_{к.н.2} = 2 \cdot 120 = 240 \text{ кВт}$$

$$Q_{к.в} = \frac{U_{к.в}(\%)}{100} \cdot S_{ном.т} \quad (4.12)$$

$$Q_{к.в} = \frac{1,3125}{100} \cdot 25000 = 328.1 \text{ квар}$$

$$U_{к.в} = 0,125 \cdot u_{к} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125 \%$$

$$Q_{к.н1} = Q_{к.н2} = \frac{U_{к.н1,2}(\%)}{100} \cdot S_{ном.т} \quad (4.13)$$

$$Q_{к.н1} = Q_{к.н2} = \frac{18,375}{100} \cdot 25000 = 4593,75 \text{ квар}$$

$$U_{к.н1} = U_{к.н2} = 1,75 \cdot u_{к} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375 \%$$

$$P_{к.в}' = P_{к.в} + k_{un} \cdot Q_{к.в} \quad (4.14)$$

$$P_{к.в}' = 0 + 0,05 \cdot 328.1 = 16.4 \text{ кВт}$$

$$P_{к.н1}' = P_{к.н2}' = P_{к.н} + k_{un} \cdot Q_{к.н} \quad (4.15)$$

$$P_{к.н1}' = P_{к.н2}' = 240 + 0,05 \cdot 4593.75 = 469.69 \text{ кВт}$$

$$P'_T = 414,32 \text{ кВт}$$

На основании расчетных графиков нагрузки определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС и их стоимость:

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \left( \frac{1}{n} \cdot k_{з.вi}^2 \cdot P'_{к.вi} \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot k_{з.н1i}^2 \cdot P'_{к.н1i} \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot k_{з.н2i}^2 \cdot P'_{к.н2i} \cdot T_i \right) \quad (4.16)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Расчёт потерь электроэнергии в трансформаторе 25 МВА

i	S <sub>вi</sub> , МВА	S <sub>н1i</sub> , МВА	S <sub>н2i</sub> , МВА	n <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> , ч	ΔW <sub>xi</sub> , кВт·ч	k <sup>2</sup> <sub>з.вi</sub>	k <sup>2</sup> <sub>з.н1i</sub>	k <sup>2</sup> <sub>з.н2i</sub>	ΔW <sub>к.вi</sub> , кВт·ч	ΔW <sub>к.н1i</sub> , кВт·ч	ΔW <sub>к.н2i</sub> , кВт·ч
1	41.84	20,9	20,9	2	500	39000	1.64	0.83	0.83	11058.5	80933.85	80933.85
2	39.87	19,9	19,9	2	500	39000	1.59	0.79	0.79	10431.9	75879.2	75879.2
3	35.76	17.88	17.88	2	1000	78000	1.43	0.72	0.72	16784	121993.8	121993.8
4	34.02	17.01	17.01	2	2000	156000	1.36	0.68	0.68	30380.7	224661	224661
5	32.84	16.42	16.42	2	3000	234000	1.31	0.66	0.66	42464.6	311026.5	311026.5
6	28.73	14.36	14.36	2	1000	78000	1.14	0.57	0.57	10833.5	79347.4	79347.4
7	26.99	13.48	13.48	2	760	59280	1.08	0.54	0.54	7266.39	54689.3	54689.3
						ΣΔW <sub>xi</sub> = 683280 МВт·ч				129220	948591	948591
ΣΔW <sub>к</sub> = 2709682,2 МВт·ч												

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторе:

$$I_{\text{э}} = \Delta W_{\text{nc}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.16)$$

где  $C_{\text{э}} = \frac{\alpha}{T_M} + \beta = \frac{270 \cdot 12}{7186,8} + 0,9 = 1,27$

$$I_{\text{э}} = 2709682 \cdot 2 \cdot 1,27 = 3441296 \cdot 4$$

Определяются приведенные затраты:

$$Z_{\text{np}} = E_n \cdot K + I_0 + I_{\text{э}}, \quad (4.17)$$

$$Z_{\text{np}} = 0.15 \cdot 12880000 \cdot 2 + 2421440 + 3440925 \cdot 2 = 7150365 \cdot 2 \text{ руб}$$

б) Рассматривается вариант, при котором подстанция будет укомплектована трансформаторами ТРДН-40000/110/10/10. Данные о трансформаторе сведены в таблицу 8.

Таблица 8 - Каталожные данные трансформатора 40 МВА

Тип трансформатора	S <sub>НОМ.Т</sub> , МВА	Каталожные данные					
		U <sub>НОМ.</sub> обмоток, кВ		u <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
		ВН	НН				
ТРДН-40000/110	40	115	10,5	10,5	172	36	0,65

Потери мощности на холостом ходу:

$$P'_x = 36 + 0,05 \cdot 260 = 49 \text{ кВт}$$

$$Q_x = \frac{0,65}{100} \cdot 40000 = 260 \text{ квар}$$

Коэффициенты загрузки обмоток трансформатора:

$$k_{з.в.i} = \frac{41843,4}{40000} = 1,026$$

$$k_{з.н1.i} = k_{з.н2.i} = \frac{20921,7}{40000} = 0,52$$

Находим приведенные потери мощности из выражения:

$$P_{к.в} = 0$$

$$P_{к.н1} = P_{к.н2} = 2 \cdot 172 = 344 \text{ кВт}$$

$$Q_{к.в} = \frac{1,3125}{100} \cdot 40000 = 525 \text{ квар}$$

$$U_{к.в} = 0,125 \cdot u_k = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3125 \%$$

$$Q_{к.н1} = Q_{к.н2} = \frac{18,375}{100} \cdot 40000 = 7350 \text{ квар}$$

$$U_{к.н1} = U_{к.н2} = 1,75 \cdot u_k = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375 \%$$

$$P_{к.в}' = 0 + 0,05 \cdot 525 = 26,25 \text{ кВт}$$

$$P_{к.н1}' = P_{к.н2}' = 344 + 0,05 \cdot 7350 = 711,5 \text{ кВт}$$

$$P'_T = 262 \text{ кВт}$$

Расчетные данные по потерям электроэнергии в трансформаторах сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Расчёт потерь электроэнергии в трансформаторе 40 МВА

i	S <sub>вi</sub> , МВА	S <sub>н1i</sub> , МВА	S <sub>н2i</sub> , МВА	n <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> , ч	ΔW <sub>xi</sub> , кВт·ч	k <sup>2</sup> <sub>з.вi</sub>	k <sup>2</sup> <sub>з.н1i</sub>	k <sup>2</sup> <sub>з.н2i</sub>	ΔW <sub>к.вi</sub> , кВт·ч	ΔW <sub>к.н1i</sub> , кВт·ч	ΔW <sub>к.н2i</sub> , кВт·ч
1	41.84	20,9	20,9	2	500	49000	1,02	0.52	0.52	6911.553	47926.62	47926.62
2	39.87	19,9	19,9	2	500	49000	0.99	0.5	0.5	6519.913	44900.23	44900.23
3	35.76	17.88	17.88	2	1000	98000	0.89	0.48	0.48	10489.97	72187.75	72187.75
4	34.02	17.01	17.01	2	2000	196000	0.85	0.42	0.42	18987.94	132939.4	132939.4
5	32.84	16.42	16.42	2	3000	294000	0.82	0.41	0.41	26540.36	184044.9	184044.9
6	28.73	14.36	14.36	2	1000	98000	0.71	0.36	0.36	6770.965	46952.6	46952.6
7	26.99	13.48	13.48	2	760	74480	0.67	0.34	0.34	4541.493	32361.5	32361.5
						ΣΔW <sub>xi</sub> = 858480 МВт·ч				80762.21	561313	561313
ΣΔW <sub>к</sub> = 2061868,2 МВт·ч												

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторе:

$$I_s = 261868 \cdot 2 \cdot 1.27 = 2618290 \text{ руб.},$$

где  $C_s = \frac{\alpha}{T_M} + \beta = \frac{270 \cdot 12}{7186,8} + 0,9 = 1,27$

Определяются приведенные затраты:

$$Z_{np} = 0.15 \cdot 20165000 \cdot 2 + 3791020 + 2618290 \cdot 1 = 8425810 \text{ руб}$$

На основании экономических расчётов выбираем для дальнейшего рассмотрения и установки на проектируемой подстанции трансформатор ТРДН-25000/110/10/10.

## 5 Выбор напряжения и схемы внутреннего электроснабжения предприятия

### 5.1 Схема электроснабжения предприятия

В данной ВКР мы используем прокладку кабелями, проложенными в специальных каналах по площади всего предприятия. При пересечении с железной дорогой кабели прокладываем в асбестоцементных трубах по всей ширине зоны отчуждения на глубине 1,2м от полотна дороги.

В одной траншее, согласно п. 2.3.25 [1], рекомендуется прокладывать не более шести силовых кабелей. На нашем предприятии от ГПП отходят 14 кабельных линий. Шесть из них запитываются от трансформатора Т1 и восемь от Т2. Соответственно, кабели прокладываются группами в отдельных траншеях, с расстоянием между ними 0,5м.

### 5.2 Расчет питающих линий

Расчетный ток кабельной линии:

$$I_{P.K} = \frac{S_{P.K}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (5.1)$$

где  $S_{P.K}$  - мощность, передаваемая по кабельной линии.

Для магистральной линии мощность  $S_{P.K}$  должна определяться для каждого участка путем суммирования расчетных нагрузок соответствующих трансформаторов, питающихся по данному участку магистральной линии.

Для запитки трансформаторных подстанций выбираем кабели марки АВВГ, ВВГ.

Сечение проводников выбираем исходя из расчётных значений токов по условию нагрева согласно ПУЭ (глава 1.3; таблицы 1.3.6, 1.3.7).

Для каждой ТП, находим номинальный рабочий ток, учитывая экономическую плотность тока. По результатам расчета выбирается кабель, имеющий стандартное меньшее сечение по отношению к  $F_{\Sigma}$ .

Магистральная линия до ТП5, ТП6:

$$I_{P.K} = \frac{4573}{17.32} = 264 \text{ A}$$

Рассчитывая Fэ, подбираем ближайший по значению кабель:

Выбираем кабель АВВГ – 3 х 95 + 1 х 50

Магистральные линии до ТП1, ТП2 и ТП3:

$$I_{P.K} = \frac{5150.08}{17.32} = 297.35 \text{ A}$$

Выбираем кабель ВВГ – 3 х 150 + 1 х 70

Линия до ТП4:

$$I_{P.K} = 28.13 \text{ A}$$

Выбираем кабели АВВГ – 3 х 35 + 1 х 16

Магистральные линии до ТП11, ТП12, ТП13, ТП15:

$$I_{P.K} = 160,53 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3 х 120 + 1 х 95

Магистральные линии до ТП14, ТП16:

$$I_{P.K} = 133,4 \text{ A}$$

Выбираем кабель АВВГ – 3 х 120 + 1 х 95

Магистральные линии до ТП7, ТП8:

$$I_{P.K} = 297,92 \text{ A}$$

Выбираем кабель ВВГ – 3 х 150 + 1 х 70

Магистральные линии до ТП9, ТП10:

$$I_{P.K} = 297,92 \text{ A}$$

Выбираем кабель ВВГ – 3 х 150 + 1 х 70.

## 6 Расчет токов короткого замыкания

Проведём расчет трехфазного к.з. для схемы, представленной на рисунке

4. Значения сверхпереходной ЭДС для системы  $E''_{\sigma,c} = 1$ ,  $S_{\sigma} = 1000$  МВА.

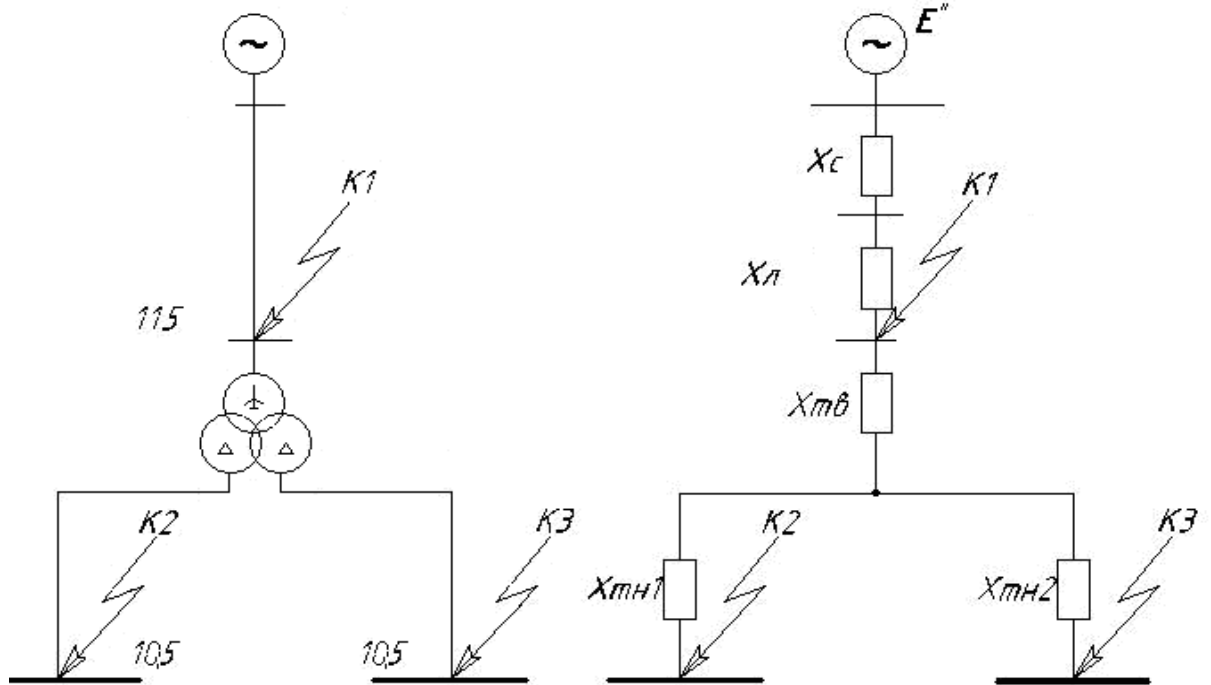


Рисунок 4 - Расчётная схема и схема замещения

Расчёт сопротивлений элементов:

$$x_{\sigma,c} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}} \quad (6.1)$$

$$x_{\sigma,c} = \frac{1000}{4000} = 0,25$$

$$x_{\sigma,T\sigma} = \frac{u_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{н}}} \quad (6.2)$$

$$x_{\sigma,T\sigma} = \frac{1,3125}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 0,525$$

$$x_{\bar{\sigma},T_H} = \frac{u_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_H} \quad (6.3)$$

$$x_{\bar{\sigma},T_H} = \frac{18,375}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,35$$

$$x_{\bar{\sigma},L} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_H^2} \quad (6.4)$$

$$x_{\bar{\sigma},L} = 0,4 \cdot 4,5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,136$$

$$x_{\Sigma K1} = x_{\bar{\sigma},C} + x_{\bar{\sigma},L} \quad (6.5)$$

$$x_{\Sigma K1} = 0,25 + 0,136 = 0,386$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (6.6)$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,05 \text{ кА}$$

$$x_{\Sigma K2} = x_{\bar{\sigma},C} + x_{\bar{\sigma},L} + x_{\bar{\sigma},T_6} + x_{\bar{\sigma},T_H} \quad (6.7)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,25 + 0,136 + 0,525 + 7,35 = 8,261$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99 \text{ кА}$$

К1 (на стороне ВН):

1) Трёхфазное КЗ

$$I_{\kappa 3}^3 = \frac{1}{0,386} \cdot 5,05 = 13,08 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 3}^3 \quad (6.8)$$

$$i_{y\partial} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,08 = 33,2 \text{ кА}$$

2) Однофазное КЗ

$$\Delta x^{(1)} = x_{2\Sigma K1} + x_{0\Sigma K1} \quad (6.9)$$



$$x_{2\Sigma K1} = x_{1\Sigma K1} = x_{\Sigma K1} = 0,386$$

Схема для расчёта сопротивления нулевой последовательности приведена на рисунке 5.

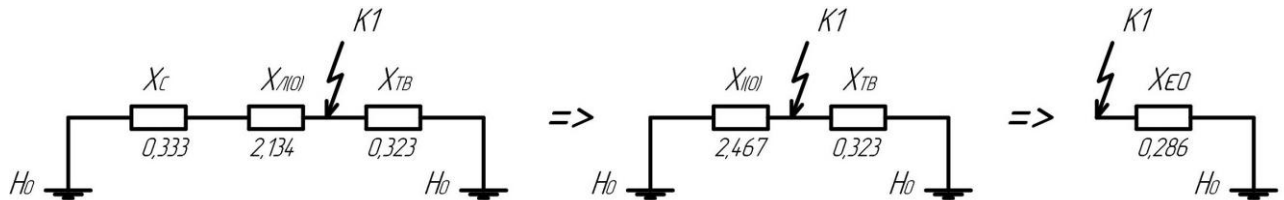


Рисунок 5 - Схема нулевой последовательности

$$x_{0\Sigma K1} = \frac{(x_{0л} + x_c) \cdot x_{Tв}}{x_{0л} + x_c + x_{Tв}} \quad (6.10)$$

$$x_{0\Sigma K1} = \frac{(0,136 + 0,25) \cdot 0,525}{0,136 + 0,25 + 0,525} = 0,222$$

$$I_{кз}^1 = \frac{1 \cdot 3}{0,386 + 0,386 + 0,222} \cdot 5,05 = 15,24 \text{ кА}$$

К2 и К3(на стороне НН):

Трёхфазное КЗ:

$$I_{кз}^3 = \frac{1}{8,261} \cdot 54,99 = 6,65 \text{ кА}$$

$$i_{y0} = 1,93 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,65 = 18,11 \text{ кА}$$

## 7 Выбор электрических аппаратов

Выбор аппаратов и проводников для проектируемой подстанции проводится по заданной электрической схеме и расчетным условиям.

Расчетные величины сопоставляются с соответствующими номинальными параметрами аппаратов, выбираемых по каталогам и справочникам.

Выбор аппаратов на стороне ВН:

### 7.1 Выбор выключателя

Предварительно выбираем выключатель ВЭБ-110/УХЛ1 [7] и проверяем его по следующим параметрам:

- 1) Номинальному напряжению.
- 2) Номинальному току.
- 3) Отключающей способности.
- 4) Предельному сквозному току к.з. – на электродинамическую стойкость.
- 5) Тепловому импульсу – на термическую стойкость.

Расчетные и каталожные данные сведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Данные выключателя

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 110 кВ$	$U_{.ном} = 126 кВ$
$I_{max} = 175,7 А$	$I_{ном} = 2500 А$
$I_{п,о}^3 = 13,08 кА$	$I_{откл.ном} = 40 кА$
$i_{a,т} = 12,35 кА$	$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 40 = 28,3 кА$
$I_{п,о} = 13,08 кА$	$I_{прс} = 40 кА$
$i_{y\delta} = 33,2 кА$	$i_{прс} = 102 кА$
$B_{к} = 22,24 кА^2 \cdot с$	$B_{к.ном} = 48 кА^2 \cdot с$

Выключатель ВЭБ-110/УХЛ1 удовлетворяет данным параметрам.

## 7.2 Выбор разъединителей

Предварительно выбираем разъединитель РПД - 110 [7] и проверяем его по следующим параметрам:

- 1) Номинальному напряжению.
- 2) Номинальному току.
- 3) Предельному сквозному току К.З. – на электродинамическую стойкость.
- 4) Тепловому импульсу – на термическую стойкость.

Расчетные и каталожные данные сведены в таблицу 11.

Таблица 11 - Данные разъединителя

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 110 кВ$	$U_{сет.ном} = 126 кВ$
$I_{max} = 175,7 А$	$I_{ном} = 1250 А$
$I_{н.о} = 13,08 кА$	$I_{нрс} = 63 кА$
$i_{уд} = 33,2 кА$	$i_{нрс} = 80 кА$
$B_{к} = 22,24 кА^2 \cdot с$	$B_{к.ном} = 38,75 кА^2 \cdot с$

Разъединитель РПД - 110 удовлетворяет заданным параметрам.

## 7.3 Выбор трансформатора тока

Предварительно выбираем трансформатор тока ТВТ - 110 - 1 - 300/5 [5] и проверяем его по следующим условиям:

- 1) Номинальному напряжению.
- 2) Номинальному длительному (рабочему) току.
- 3) Электродинамической стойкости.
- 4) Термической стойкости.
- 5) Вторичной нагрузке.

На высокой стороне контроль за работой трансформатора ведут с помощью амперметра.

$$S_{\text{приб}} = 0,1 \text{ ВА}$$

Сопротивление приборов:

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_2^2 \quad (7.1)$$

$$R_{\text{приб}} = 0,1 / 5^2 = 0,004 \text{ Ом}$$

Сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\kappa} \quad (7.2)$$

$$R_{\text{пр}} = 1,2 - 0,004 - 0,1 = 1,096 \text{ Ом}$$

Сечение соединительных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}}} \quad (7.3)$$

$$s = \frac{0,0283 \cdot 65}{1,096} = 1,678 \text{ мм}^2$$

Принятое сечение алюминиевых проводов 2,5 мм<sup>2</sup>.

Трансформатор тока ТВТ - 110 - 1 - 300/5 удовлетворяет данным параметрам.

#### 7.4 Выбор гибких шин и токопроводов

Гибкие шины выполняются в основном проводами типа АС. Сечение гибких шин проверяется по следующим параметрам:

1. Экономической плотности тока;
2. Длительному допустимому току;
3. Проверка по условиям коронирования.

Выбираем провода АС - 185/24.

#### 7.5 Ограничитель перенапряжений

Предлагаем к установке ОПН-110 УХЛ1. [5]

#### 7.6 Заземлители

Предлагаем к установке ЗОН-110М-1 УХЛ1. [14]

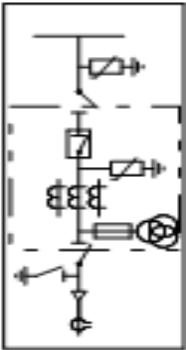
## Выбор оборудования на стороне 10 кВ:

Так как нагрузкой является завод, а, следовательно, стесненные условия и загрязненная атмосфера, к установке предполагается ячейка КРУ. Произведём расчёт ячейки КРУ 10 кВ - КРУ-СЭЩ-75 и встраиваемого в неё оборудования.

[13] [16]

Каталожные данные сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Каталожные данные ячейки КРУ-СЭЩ-75.

Схема главных соединений	КРУ-СЭЩ-75		
	Номинальное напряжение, кВ	10	
	Номинальный ток сборных шин, А	1000	
Ток шкафа	А		1000
Назначение шкафа	Тип		Ввод
Выключатель	LF		LF2
	ВВМ-СЭЩ		ВВМ-СЭЩ-10
Трансформатор тока	Тип, класс точности, количество		ТОЛ-СЭЩ-800/5-0.5S/10P=3 шт.
Трансформатор напряжения	Тип, количество		3×ЗНОЛ-СЭЩ-10-1
Трансформатор тока нулевой последовательности	Тип, количество		ТЗЛК=3 шт.
ОПН	Тип, количество		ОПН-П-10/7.2= 6 шт.
Трансформатор собственных нужд	Тип		-
Электромагнитная блокировка	наличие		-
Учёт	тех / комм.		комм.
Тип счётчиков	Тип		СЭТ 4ТМ 03М.01
Амперметр	Тип		Э42703 600/5
Тип микропроцессорного устройства	Тип		БМР3

## 7.7 Выбор выключателей

Выключатель выбирается по таким же параметрам, что и выключатель на высокой стороне. Рассмотрим 2 выключателя, которые используются в данном КРУ и сравним их между собой.

Рассмотрим выключатель вакуумный ВВМ-СЭЦ-10.[13] Данные о нем приведены в таблице 13.

Расчетные токи продолжительного режима с учетом 40 % перегрузки:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 5 \cdot 2} = 384,9 \text{ A}$$

Термическая стойкость с продолжительностью к.з.  $t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с}$ .

$$B_k = 5,25^2 (0,06 + 0,12) = 4,96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Максимальное значение аperiodической составляющей:

$$\tau = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с}$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 5,25 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,12}} = 5,32 \text{ кА}$$

Таблица 13 – Параметры выключателя ВВМ-СЭЦ-10

Выключатель вакуумный ВВМ-СЭЦ-10	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 384,9 \text{ A}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ A}$
$I_{n,o}^3 = 5,25 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном.}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} = 5,32 \text{ кА}$	$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot \beta \cdot I_{\text{откл.ном.}} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 31,5 = 17,8 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{n,\tau} + i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 5,25 + 5,32 = 12,72 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном.}} (1 + \beta) = \sqrt{2} \cdot 31,5 \cdot 1,4 = 62,4 \text{ кА}$
$I_{n,o} = 5,25 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 14,06 \text{ кА}$	$i_{\text{прс}} = 79 \text{ кА}$
$B_k = 4,96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$t_{\text{откл}} \langle t_T, \text{мо} \ I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 31,5^2 \cdot 0,07 = 59,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Сравним этот выключатель с другой маркой оборудования, встраиваемого в рассматриваемое КРУ. Данные о нем сведены в таблицу 14.

Таблица 14 - Параметры выключателя LF2

Выключатель вакуумный LF2	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 384,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{н,о}^3 = 5,25 \text{ кА}$	$I_{откл.ном} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{а,т} = 5,32 \text{ кА}$	$i_{а,н} = \sqrt{2} \cdot \beta \cdot I_{откл.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 31,5 = 15,54 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{н,т} + i_{а,т} = \sqrt{2} \cdot 5,25 + 5,32 = 12,72 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{откл.ном} \cdot (1 + \beta) = \sqrt{2} \cdot 31,5 \cdot 1,35 = 59,9 \text{ кА}$
$I_{н,о} = 5,25 \text{ кА}$	$I_{пр.с} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{уд} = 14,06 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 50 \text{ кА}$
$B_k = 4,96 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$t_{откл} < t_T, \text{то } I_T^2 \cdot t_{откл} = 31,5^2 \cdot 0,04 = 59,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

По расчётным данным характеристик, используем вакуумный выключатель ВВМ-СЭЩ-10 [13], т. к. использование элегазового выключателя на 10 кВ нецелесообразно.

### 7.8 Проверка трансформатора тока

Рассмотрим трансформатор тока: ТОЛ-СЭЩ-10-800/5.[13] Все каталожные и расчетные величины сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Параметры трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ-10-800/5

Трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-800/5	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{пик} = 384,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 800 \text{ А}$
$i_{уд} = 14,06 \text{ кА}$	$K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} = 11,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,8 = 15 \text{ кА}$
$B_{к} = 4,68 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{д}}^2 \cdot t_{\text{ид}} = 89,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Для проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке, пользуясь схемой включения и каталожными данными приборов, определяем нагрузку по фазам для наиболее загруженного трансформатора тока. Наибольшая нагрузка приходится на трансформатор фазы *A* (таблица 16).

Таблица 16 – Загрузка фаз трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, $B \cdot A$		
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Амперметр	Э42703 600/5	-	0,5	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Варметр	Д-335	0,5	0,5	0,5
Счётчик активной энергии	СЭТ 4ТМ 03М.01	2,5	-	2,5
Счётчик реактивной энергии	СЭТ 4ТМ 03М.01	2,5	2,5	2,5
Итого		6	3,5	6

Общее сопротивление приборов фазы *A*:

$$R_{\text{приб.}} = S_{\text{приб.}} / I_2^2 = 3,5 / 5^2 = 0,14 \text{ Ом.}$$

Сопротивление контактов  $R_{к} = 0,1 \text{ Ом}$ , тогда сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2ном} - R_{\text{приб}} - R_{к} = 1 - 0,14 - 0,1 = 0,76 \text{ Ом.}$$

Принимая длину соединительных проводов 40 м. с медными жилами, определяем сечение:

$$s = \frac{0,0175 \cdot 26}{0,76} = 0,6 \text{ мм}^2,$$

$l_p = l$  – расчетная длина, зависящая от схемы соединения ТА.



Принимаем стандартное сечение  $2,5 \text{ мм}^2$ .

По расчётным данным характеристик, используем ТА ТОЛ-10-800/5.

### 7.9 Проверка трансформатора напряжения

Устанавливаем трансформатор напряжения типа ЗНОЛ-СЭЩ-1,[13] к которому присоединяются измерительные приборы и приборы контроля изоляции. Подсчет нагрузки приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Параметры трансформатора напряжения

Прибор	Типы приборов	Потребляемая мощность одной катушки, <i>ВА</i>	Число катушек	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							<i>P, Вт</i>	<i>Q, вар</i>
Вольтметр	Э47756	2	1	1	0	1	2	-
Вольтметр фазный	Э47756	2	1	1	0	1	2	-
Варметр	Д – 365	1,5	3	1	0	1	4,5	-
Ваттметр	Д – 365	1,5	2	1	0	1	3	-
Счетчик реактивной энергии	СЭТ 4ТМ 03М.01	3	3	0,35	0,936	1	3,15	8,424
Счетчик активной энергии	СЭТ 4ТМ 03М.01	2	2	0,38	0,925	1	1,52	3,7
Итого:							16,15	12,124

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos \varphi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin \varphi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (7.4)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{16,15^2 + 12,124^2} = 20,2 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Выбранный трансформатор ЗНОЛ-СЭЩ-1 имеет номинальную мощность в классе точности 0,5, необходимом для присоединения счетчиков. Таким образом,  $S_{2\Sigma} = 20,2 < S_{\text{ном.}} = 50 \text{ В} \cdot \text{А}$ , трансформатор будет работать в выбранном классе точности.

### 7.10 Выбор ограничителей перенапряжения

Предлагаем к установке ОПН-ЭС-10/12,7-10/1 УХЛ 2.[13]

## 8 Оперативный ток и собственные нужды подстанции

Управление высоковольтными выключателями, системами сигнализации, автоматики и связи осуществляется оперативным током. На главной понизительной подстанции выбираем выпрямленный оперативный ток.

Выпрямленный оперативный ток применяется на подстанциях с высшим напряжением 35 – 220 кВ с выключателями на стороне ВН. Таким образом, на проектируемой ПС используем выпрямленный оперативный ток от блоков питания, подключаемых к трансформаторам тока и напряжения.

На двухтрансформаторных ПС 110 кВ устанавливают два ТСН, мощность которых определяется суммированием потребителей всех собственных нужд, результаты сведены в таблицу 18.

Таблица 18 - Расчёт нагрузки ТСН

№ п/п	Наименование потребителей	Общая потребляемая мощность, кВт
1	Электродвигатели охлаждения трансформаторов	4
2	Подогрев выключателей	1,72
3	Подогрев шкафов КРУ	1,1
4	Подогрев разъединителей	0,4
5	Подогрев релейного шкафа	1,5
7	Освещение ОРУ 110 кВ	7
8	Эксплуатационные, ремонтные нагрузки	19
Итого:		34,72
С учетом коэффициента загрузки:		0,7
Всего:		24,204

Выбираем для установки 2 ячейки КРУ собственных нужд с трансформаторами ТМ - 25/10/0,4, мощностью по 25 кВА каждый.

## 9 Расчёт заземления подстанции

Схема заземляющего устройства приведена на рисунке 6.

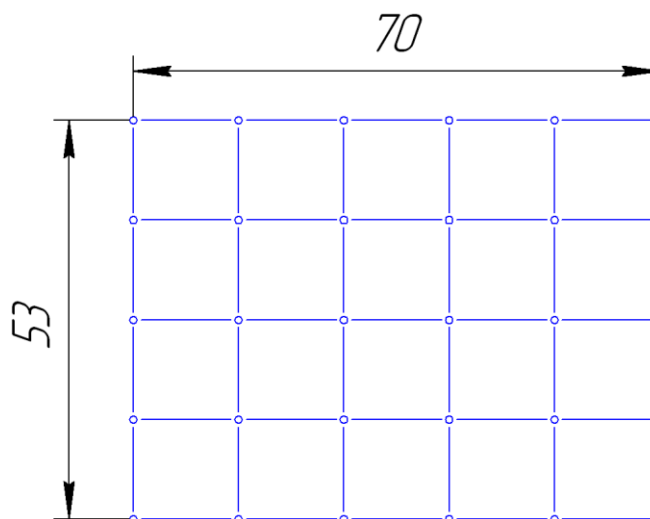


Рисунок 6 - Схема заземления

Для  $\tau = 0,01 + 0,03 = 0,04$  с находим  $U_{np.дон} = 500$  В

Для сложных заземлителей, состоящих из горизонтальных и вертикальных проводников определим коэффициент напряжения прикосновения:

$$\kappa_{II} = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_g \cdot L_2}{a \cdot \sqrt{S}}\right)^{0,45}} \quad (12.1)$$

$$\kappa_{II} = \frac{0,5 \cdot 0,97}{\left(\frac{5 \cdot 668}{14 \cdot \sqrt{70 \cdot 53}}\right)^{0,45}} = 0,262$$

где  $M = 0,5$  - параметр, зависящий от  $\rho_1/\rho_2$ . Т.к. грунт принят однородным, то  $\rho_1/\rho_2 = 1$

$$l_g = 5 \text{ м};$$

$$L_2 = 300 \text{ м};$$

$$a = 14 \text{ м};$$

$$S = 3719 \text{ м}^2;$$

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c} = \frac{1000}{1000 + 1,5\rho_{г.с}} \quad (12.2)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 20} = 0,97$$

$$U_3 = \frac{U_{нр.дон}}{\kappa_{П}} = \frac{500}{0,262} = 1908 \text{ В} - \text{ в пределах допустимого (ниже 10 кВ)}$$

$$R_{3,дон} = \frac{U_3}{I_3} \quad (12.3)$$

$$R_{3,дон} = \frac{1908}{13730} = 0,139 \text{ Ом}$$

Расчетная модель заземлителя представляет собой квадрат со сторонами:

$$\sqrt{S} = \sqrt{70 \cdot 53} = 60,91 \text{ м}$$

Число ячеек по стороне квадрата может быть определено по формуле:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1; \quad (12.4)$$

$$m = \frac{1336}{2 \cdot 60,91} - 1 = 9,967$$

принимаем  $m = 10$ .

Длина полос в расчетной модели:

$$L'_2 = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1) \quad (12.5)$$

$$L'_2 = 2 \cdot 60,91 \cdot 11 = 1340,46 \text{ м}$$

Длина сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} \quad (12.6)$$

$$b = \frac{60,91}{10} = 6,09 \text{ м}$$

Число вертикальных заземлителей может быть определено по формуле:

$$n_г = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_г} \quad (12.7)$$

$$n_г = \frac{60,91 \cdot 4}{5} = 48,73,$$

принимая  $n_6 = 49$ .

Общая длина вертикальных заземлителей находится:

$$L_6 = l_6 \cdot n_6 \quad (12.8)$$

$$L_6 = 5 \cdot 49 = 245 \text{ м}$$

Относительная глубина погружения вертикальных электродов находится:

$$\frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{60,91} = 0,094 < 0,1$$

$$A = (0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_6 + t}{\sqrt{S}}) \quad (12.9)$$

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{5 + 0,7}{60,91} = 0,365$$

Общее сопротивление сложного заземлителя может быть определено по формуле:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_6} \quad (12.10)$$

$$R_3 = 0,365 \cdot \frac{10}{60,91} + \frac{10}{1336 + 245} = 0,066 \text{ Ом},$$

что меньше  $R_{3,доп} = 0,139 \text{ Ом}$

Найдем напряжение прикосновения:

$$U_{np} = \kappa_{II} \cdot I_3 \cdot R_3 \quad (12.11)$$

$$U_{np} = 0,262 \cdot 13730 \cdot 0,066 = 237,4 \text{ В}$$

что меньше допустимого значения 500 В.

## 10 Молниезащита подстанции

Здание и сооружение подстанции с достаточной степенью надежности должны защищаться молниеотводами от поражений прямыми ударами молнии.

Молниеотводы бывают стержневые и тросовые. Стержневые применяются для защиты от прямых ударов молнии в здания, сооружения; тросовые – для защиты линий электропередач.

Расчет защиты от прямых ударов молний заключается в определении зон защиты, типов защиты и параметров.

$$h = 30 \text{ м};$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ м};$$

$$h_x = 15 \text{ м};$$

$$r_0 = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ м};$$

$$L = 45 \text{ м} \leq 4h;$$

$$L_{\max} = 4,25 \cdot 30 = 127,5 \text{ м};$$

$$L_c = 2,25 \cdot 30 = 67,5 \text{ м};$$

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} \cdot h_0 \quad (12.12)$$

$$h_c = \frac{127,5 - 45}{127,5 - 67,5} \cdot 25,5 = 35,06 \text{ м}$$

Определяем максимальную полуширину зоны  $r_x$  в горизонтальном сечении на высоте  $h_x$ :

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0}; \quad (12.13)$$

$$r_x = \frac{36 \cdot (25,5 - 15)}{25,5} = 15 \text{ м}$$

$$l_x = \frac{45}{2} = 22,5 \text{ м};$$

$$r_{cx} = \frac{r_0 \cdot (h_c - h_x)}{h_c} \quad (12.14)$$

$$r_{cx} = \frac{36 \cdot (35,06 - 15)}{35,06} = 20,6 \text{ м}$$

На подстанции устанавливаем двойной стержневой молниеотвод, зона защиты которого представлена на рисунке 7.

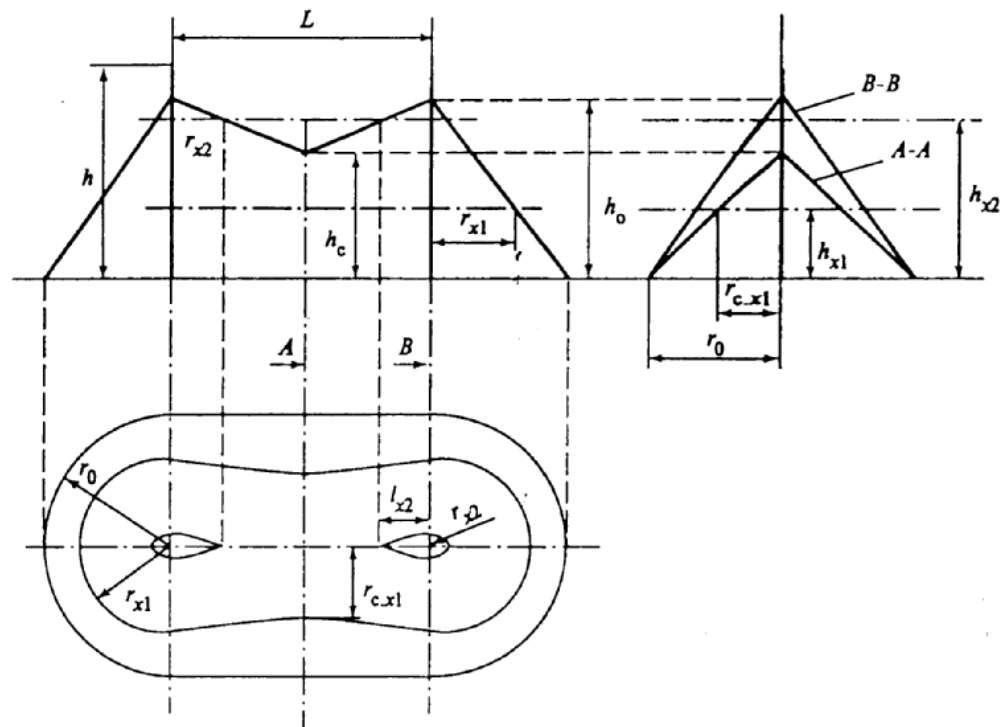


Рисунок 7 - Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

## Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована и рассчитана система электроснабжения группы цехов тракторного завода. Рассчитаны нагрузки во всех цехах предприятия: низковольтные электроприемники, а также освещение всего предприятия. Была построена картограмма электрических нагрузок. По ней определен центр электрических нагрузок, где позже была расположена ГПП предприятия. Далее составлялась схема электроснабжения с последующим расчетом токов короткого замыкания и выбором электрического оборудования.

В результате расчета было выбрано оборудование ГПП:

1. Трансформаторы ТРДН-25000/110/10/10;
2. Выключатели ВЭБ-110/УХЛ 1 и ВВМ-СЭЩ-10;
3. Разъединители РПД-110;
4. Трансформаторы тока ТВТ-110-1-300/5 и ТОЛ-СЭЩ-10-800/5;
5. ОПН-110 УХЛ 1 и ОПН-ЭС-10/12,7-10/1 УХЛ 2;
6. КРУ-СЭЩ-75;
7. Трансформаторы напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-1.

Также были выбраны трансформаторы собственных нужд ТМ-25/10/0,4.

Был произведен расчет с последующим выбором кабелей и использованы марки кабелей АВВГ и ВВГ.

Составленная система электроснабжения полностью удовлетворяет всем современным техническим требованиям и ГОСТам.



## Список использованных источников

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). –7-е изд. 2008.
2. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков – Москва: Форум, 2014.
3. Гвоздев, С.М. Энергоэффективное электрическое освещение. Учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
4. Куликов, В.Д. Электрические станции и подстанции систем электроснабжения. Методические указания по курсовому проектированию.- Саратов:СГТУ,2004.-35с.
5. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб.–метод. пособие для курсового и дипломного проектирования.–Тольятти: ТГУ, 2007.
6. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: учеб.пособие / Г.Н. Ополева.-М. : Форум-Инфа-М, 2006
7. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков – Москва: МЭИ, 2015.
8. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
9. Электроэнергетика. Учебное пособие / под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Форум, 2013.
10. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
11. Старшинов, В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
12. Справочник энергетика. Учебник./В.И. Григорьев – М.: Колос,2006.
13. Степкина, Ю.В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций: учеб.пособие/ Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина.- Тольятти : ТГУ, 2006.
14. Вахнина, В.В. Проектирование системы электроснабжения цеха

предприятия: методические указания по курсовому проектированию / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти : ТГУ, 2008.

15. Справочник по электрическим сетям 110-1150 кВ 4-6 тома/ Под ред. Е.Ф. Макарова.- М.: ПАПИРУС ПРО, 2005.

16. Jianping, G. Power supply reliability analysis and improvement measures of regional power grid / G. Jianping, W. Guopei, L. Zhenhai. - 2008 China International Conference on Electricity Distribution, Guangzhou, 2008, pp. 1-7.

17. Goyal, U. Design of low power multiple output power supply for embedded systems / U. Goyal, N. R. Prakash. - Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), 2013 Fourth International Conference on, Tiruchengode, 2013, pp. 1-5.

18. Wang, C. S. An evaluation method for power supply capacity of distribution system / C. S. Wang. - Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008, DRPT 2008, Third International Conference on, Nanjuing, 2008, pp. 1244-1248.

19. Popovich, M. On-Chip Power Distribution Grids With Multiple Supply Voltages for High-Performance Integrated Circuits / M. Popovich, E. G. Friedman, M. Sotman, A. Kolodny. – IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 16, no. 7, 2008, pp. 908-921.

20. Ou S. Y. Analysis and Design of a Novel Single-Stage Switching Power Supply With Half-Bridge Topology / S. Y. Ou, H. P. Hsiao. - IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 11, 2011, pp. 3230-3241.