

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 предприятия легкой промышленности ОАО "Труд", г.Гродно,  
Республика Беларусь

Студент

В.С. Хведук

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

И.В. Горохов

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является проектирование электроснабжения предприятия легкой промышленности.

Предметом исследования является электрооборудование предприятия легкой промышленности.

Целью выпускной квалификационной работы является спроектировать систему электроснабжения предприятия легкой промышленности, отвечающую всем правилам и стандартам.

В соответствии с этой целью был решен ряд взаимосвязанных задач.

Самой главной технико-экономической задачей, является выбор схемы электроснабжения предприятия легкой промышленности, она влияет на работу части оборудования предприятия и удовлетворенность потребителей электроэнергии.

Проведено всестороннее технико-экономическое сравнение схем электропитания и определены наиболее желательные варианты электроснабжения. Произведен расчет электрических нагрузок цехов, определения числа и мощности трансформаторов. Произведен расчет токов короткого замыкания.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ существующей системы электроснабжения предприятия легкой промышленности.....	6
1.1 Общие сведения о предприятии легкой промышленности и характеристика проблем его энергоснабжения .....	6
1.2 Характеристика источников и приемников электроэнергии .....	8
1.3 Расчет электрических нагрузок объекта.....	10
2 Построение картограммы электрических нагрузок.....	15
2.1 Выбор схем электроснабжения и заземления .....	15
2.2 Обоснование состава трансформаторной подстанции.....	22
2.3 Проектирование распределительной сети.....	22
3 Определение числа и мощности трансформаторов главной понизительной подстанции .....	28
3.1 Расчет токов короткого замыкания.....	29
3.2 Релейная защита трансформатора ТДН – 16000/35.....	38
3.3 Расчет молниезащиты главной понизительной подстанции .....	43
3.4 Организация технического обслуживания и ремонтов измерительных трансформаторов напряжения и комплектных трансформаторных подстанций.....	47
Заключение .....	54
Список используемых источников.....	55

## Введение

Система электроснабжения, должна соответствовать определенным техническим, эксплуатационным и экономическим требованиям. Для выполнения всех технических требований с минимальными затратами, обеспечивать необходимую надежность системы, быть удобными в эксплуатации и безопасном обслуживании, а также обладать особой гибкостью для обеспечения оптимальной работы в обычных аварийных ситуациях и вблизи них.

Конструкция внутренней системы электроснабжения состоит на общих принципах построения схем внутреннего распределения электроэнергии. Особой особенностью схем распределения мощности внутри станции является большая разветвленная сеть и наличие очень большого количества коммутационных и защитных устройств, что существенно влияет на технико-экономические показатели и надежность системы электроснабжения.

Электропитание для промышленных предприятий предназначены для обеспечения системным электроснабжением сварочных аппаратов, электродвигателей, осветительных приборов, печей и других машин.

Основными источниками электроэнергии на данный момент являются теплоэлектростанции и гидроэлектростанции. Там синхронные трехфазные генераторы вырабатывают электроэнергию.

По мере увеличения потребления энергосистемы всех промышленных предприятий становятся все более сложными. К ним относятся распределительные сети, высоковольтные сети и в некоторых случаях промышленные тепловые электростанции систем электроснабжения. Для этого необходимо внедрить автоматизацию энергосистем для производственных процессов и промышленных предприятий. С помощью телесигнализации и телеуправления, а также проводить активную работу по энергосбережению можно осуществлять планирование масштабных производственных процессов.

Проблема электромагнитной совместимости электрического приемника с электрическими сетями создает новые научно-технические проблемы при дизайне и использовании промышленных электрических сетей. Решение этой проблемы возможно путем освоения нескольких многофункциональных инструментов компенсации реактивной мощности, которые одновременно улучшают качество электроэнергии несколькими способами. Внедрение этих устройств приводит к снижению потерь энергии.

При проектировании распределительной сети промышленного предприятия необходимо учитывать компенсацию реактивной мощности и обеспечивать надежное снабжение потребителей промышленного предприятия.

ВКР – заключительный этап обучения, в которой студент применяет изученные основы. Она направлена на обогащение теоретических знаний студентов, улучшения аналитического мышления и навыков использования компьютерных технологий по выполнению как графической части, так и вычислительной части работы.

# **1 Анализ существующей системы электроснабжения предприятия легкой промышленности**

## **1.1 Общие сведения о предприятии легкой промышленности и характеристика проблем его энергоснабжения**

Легкая промышленность предприятия ОАО «Труд». «Гомельскому производственному обувному объединению «Труд», одному из ведущих производств легкой промышленности Беларуси, исполнилось – 87 лет.

В 70-е годы в цехах объединения «Труд» пошивалось пять видов рабочей обуви на семи фасонах колодок на пяти потоках, а также хромовая мальчишковая обувь и обувь с верхом из искусственной кожи, мужские сандалии на пористой подошве 20 моделей, из которых 15 были совершенно новыми.

В 1989 году оборачиваемость денежных средств превысила 49 дней и увеличилась на 6 по сравнению с предыдущим. Это позволило дополнительно вовлечь в хозяйственную деятельность немалую сумму — свыше 511 тыс. рублей.

Сбои производства в 1991 году замедлили оборачиваемость оборотных средств до 64 дней, обусловив серьезный экономический спад. Обременительные налоги, отчисления в госбюджет и другие фонды от прибылей превысили 60 процентов. Средства, оставленные трудовому коллективу на развитие производства, зарплату и социальные нужды в условиях свободных рыночных цен, – мизерные.

Свое 70-летие коллектив ПО «Труд» встречает как ответственный рубеж дальнейшего развития производства и решения социальных проблем. А их немало: завершить к 1995 году реконструкцию фабрики по пошиву хромовой обуви, внедрить новое оборудование и прогрессивную технологию, построить спортивный комплекс с бассейном, оборудовать физиотерапевтический кабинет и т. д. Планов много, и обувщики полны

решимости претворить их в жизнь» [13].

«После проведенной модернизации производства был освоен метод крепления подошвы из комбинированных материалов: термопластический полиуретан (ТПУ) – для ходовой поверхности и вспененный полиуретан (ПУ)- для промежуточного слоя, приливается непосредственно на заготовку верха, что позволяет создать обувь высокого качества. С 2016 г. предприятие наладило выпуск обуви с комбинированной подошвой ПУ/нитрил. Использование нитрильной резины позволяет выпускать обувь с улучшенными защитными характеристиками: повышенная устойчивость к высоким температурам до +300 градусов по Цельсию.

Вся продукция, выпускаемая на ОАО «Труд», сертифицирована.

На предприятии внедрена система менеджмента качества соответствующая СТБ ISO 9001-2009 разработаны:

- 21 стандарт предприятия СМК;
- Руководство по качеству;
- программа «Качество» предприятия» [13].

Основные производственные мощности предприятия легкой промышленности работают в две смены с равным графиком загрузки и количеством часов использования максимальной нагрузки 4700.

По степени надежности и требованиям к источникам бесперебойного питания большинство электроустановок относятся к потребителям второй категории. Потребители первой категории включают компрессорную станцию, оснащенную четырьмя двигателями мощностью 1600 кВт каждый.

К потребителям третьей категории относится оставшаяся часть электрооборудования, согласно ПУЭ.

## 1.2 Характеристика источников и приемников электроэнергии

Электроприемник – это особое устройство, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электричества в другой вид энергии для его использования.

Потребитель электроэнергии – это электроприемник или группа электроприемников, интегрированных в технологический процесс и расположенных на определенной территории.

В соответствии с ТКП в отношении обеспечения надежности энергоснабжения приемники энергии делятся на следующие три категории:

«Электроприемники I категории – это электроприемники, перебои в подаче электроэнергии могут привести к: опасности для жизни человека, значительному ущербу для народного хозяйства, повреждению дорогостоящего основного оборудования, массовым выходам из строя продукции, нарушению сложных процессов и неисправности критических объектов. Особую группу энергоприемников характеризует состав электроприемников I категории, бесперебойная работа которых необходима для срочной остановки производства с целью предотвращения угроз жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования» [17].

«Электрические устройства категории II – это электрические устройства, в которых отключение электроэнергии приводит к огромной нехватке продуктов питания, огромному скоплению рабочих, автомобилей и промышленных транспортных средств и нарушению нормальной работы значительного числа городских и сельских жителей. Такие приемники также должны иметь резервный источник питания, но переключение на них может производиться дежурным персоналом вручную или оперативной группой на местах» [17].

Потребители электрической энергии III категории – все прочие потребители электрической энергии, не подпадающие под основное

определения I и II категорий. Это главные электроприемники вспомогательных цехов, серийного производства и т.д. Для них электроэнергия может подаваться от одного источника питания при условии, что перебои в подаче электроэнергии, связанные с необходимостью ремонта или замены поврежденного элемента энергосистемы, не должны превышать 24 часов.

Сведения об электрических нагрузках по цехам предприятия легкой промышленности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Электрические нагрузки предприятия легкой промышленности

Наименование	Количествоэл. энергии	Установленная мощность, кВт	
		Одногoэл. приёмника	Суммарная
1. Главный корпус	30	5–150	3100
2. Склад №2	30	5–50	1000
3. Металлообработка	40	5–150	3820
4. Компрессорная:			
а) 0,4 кВ,	20	1–40	550
б) синхронный двигатель 10 кВ	4	1600	6400
5. Бытовой корпус №1	20	5–50	800
6. Бытовой корпус №2	20	5–50	800
7. Вспомогательный корпус	50	5–100	3310
8. Склад №1	25	10–30	425
9. Центральный тепловой пункт			
а) 0,4 кВ,	25	5–30	600
б) синхронный двигатель 10 кВ	2	800	1600

Схема ген плана предприятия легкой промышленности представлена на рисунке 1.

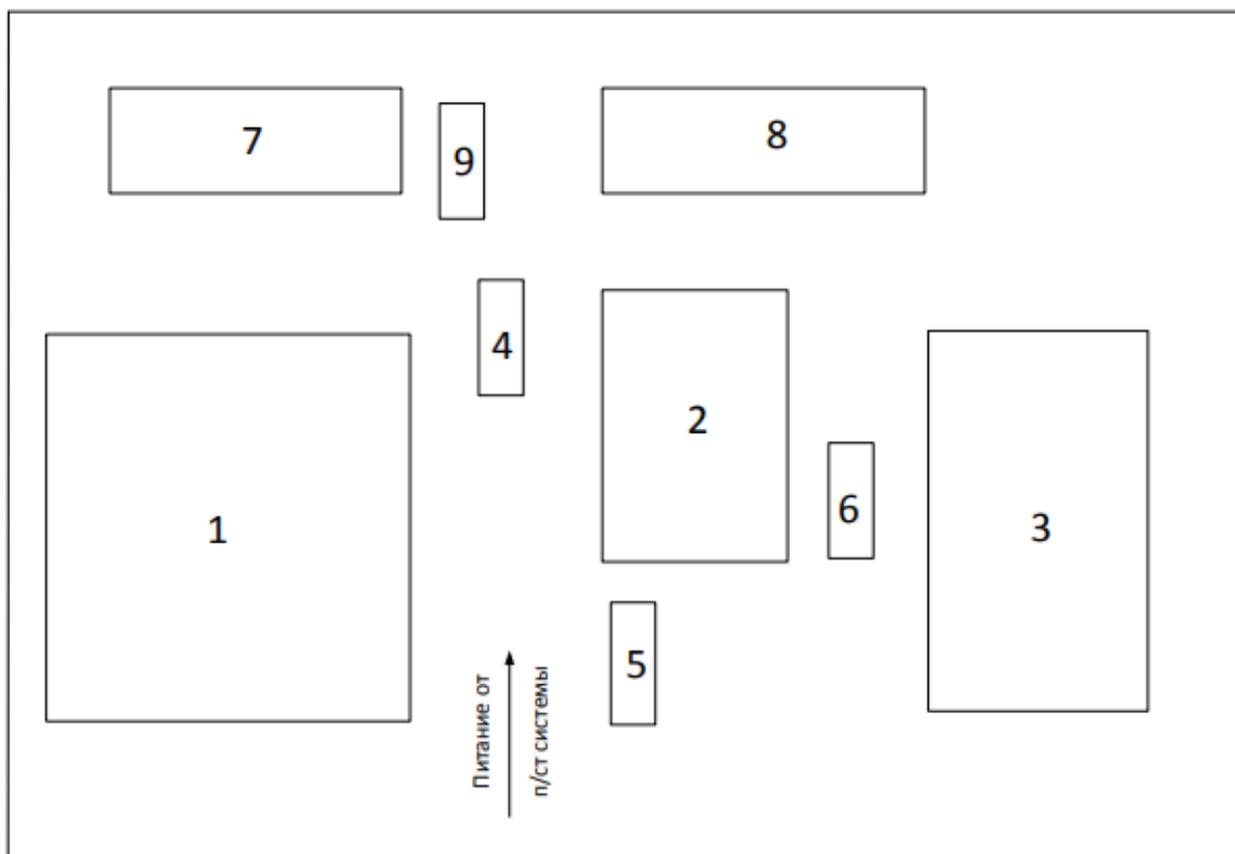


Рисунок 1 – Генплан предприятия легкой промышленности

### 1.3 Расчет электрических нагрузок объекта

Правильное определение основных электрических нагрузок - основа рационального эксплуатации и построения систем электроснабжения промышленных предприятий. Расчетная нагрузка – это постоянная нагрузка, эквивалентная фактической постоянной тепловой нагрузке. Подбирать оборудование и сечение проводников необходимо по условиям нагрева длительно допустимым током.

«Для расчетов на этапе проектной задачи при сравнении вариантов и других приблизительных расчетах, при отсутствии точных данных по силовым приемникам, расчетная активная нагрузка будет определяться по

формуле, кВт

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}}; \quad (1)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$P_{\text{ном}}$  – суммарная номинальная мощность электроприемников цеха, кВт.

Расчетную реактивную нагрузку определим по формуле, квар:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi; \quad (2)$$

где  $\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности, который соответствует  $\cos$  данной группы приемников.

Нагрузка освещенности находится по формуле, кВт

$$P_{po} = P_{\text{ном.о}} \cdot K_{co}; \quad (3)$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса на осветительную установку;

$P_{\text{ном.о}}$  – номинальная мощность осветительной установки.

$$P_{\text{ном.о}} = P_{\text{уд}} \cdot F; \quad (4)$$

где  $P_{\text{уд}}$  – удельная плотность нагрузки на 1 м<sup>2</sup> производственной площади, кВт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь соответствующего цеха, м<sup>2</sup>.

Полная расчетная мощность цеха, кВт·А

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + Q_p^2}. \quad (5)$$

Освещение цеха и территории завода рассчитывается исходя из площади» [17]. Рассмотрим расчет на примере Главного корпуса (№1 в генплане). Номинальная мощность  $P_{\text{ном}} = 700$  кВт, коэффициент потребления  $K_c = 0,85$ ,  $\cos\varphi = 0,7$ ,  $\text{tg}\varphi = 1,02$ . Площадь застройки  $6836$  м<sup>2</sup>. Коэффициент потребности в освещении  $K_{\text{со}} = 0,7$ , удельная плотность нагрузки на  $1$  м<sup>2</sup>  $P_{\text{уд}} = 0,015$  кВт/м<sup>2</sup>.

$$P_p = 0,7 \cdot 3100 = 2170,0 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 2170,0 \cdot 0,75 = 1627,5 \text{ квар};$$

$$P_{\text{ном}} = 0,014 \cdot 57810,0 = 809,3 \text{ кВт};$$

$$P_{po} = 809,3 \cdot 0,85 = 687,939 \text{ кВт};$$

$$S_p = \sqrt{(2170,0 + 687,939)^2 + 1627,5^2} = 3288,856 \text{ кВА}.$$

Аналогичным образом рассчитывается загрузка остальных цехов предприятия. Вычисленные значения вносим в таблицу 2, затем рассчитывается общая нагрузка потребителей энергии  $0,4$  кВт и  $10$  кВт.

Таблица 2 – Результаты расчета цехов предприятия легкой промышленности

Наименование	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка							Суммарная нагрузка		
	$P_{ном}$ , кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$F$ , м <sup>2</sup>	$P_{уд.о.}$ , кВт/м <sup>2</sup>	$P_{к.о.}$ , кВт	$P_{р.о.}$ , кВт	$K_{с.о.}$	$Q_{р.о.}$ , квар	$tg\varphi_0$	$P_p+P_{р.о.к}$ , Вт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Потребители 0,4 кВ																
1. Главный корпус	3100	0,7	0,8	0,75	2170	1627,5	57810	0,014	809,3	687,9	0,85	225,6	0,33	2858	1853,1	3406,2
2. Склад №2	1000	0,5	0,8	0,75	500	375	20780	0,014	291	247,3	0,85	81,1	0,33	747,3	456,1	875,5
3. Металлообработка	3820	0,6	0,8	0,75	2292	1719	33515	0,015	503	427,3	0,85	140,2	0,33	2719	1859,2	3294,1
4. Компрессорная	550	0,8	0,8	0,75	440	330	1900	0,014	26,5	22,6	0,85	7,4	0,33	462,6	337,4	572,6
5. Бытовой корпус №1	800	0,45	0,8	0,75	360	270	2030	0,014	28,4	24,2	0,85	7,9	0,33	384,2	277,9	474,2
6. Бытовой корпус №2	800	0,45	0,65	1,17	360	420,9	1900	0,014	26,7	22,6	0,85	7,4	0,33	382,6	428,3	574,3
7. Вспомогательный корпус	3310	0,55	0,7	1,02	1820,5	1857,3	12150	0,015	182,1	154,9	0,85	50,8	0,33	1975	1908,1	2746,5
8. Склад №1	425	0,5	0,75	0,88	212,5	187,41	13670	0,014	191,2	162,7	0,85	53,4	0,33	375,2	240,8	445,8
9. Центральный тепловой пункт	600	0,8	0,8	0,75	480	360	940	0,015	14,1	12	0,85	3,9	0,33	492	363,9	611,9
Освещение территории	-	-	-	-	-	-	437400	0,00016	69,9	69,9	1	22,9	0,33	69,9	22,9	73,7
Итого по 0,4 кВ	14405	-	-	-	8635	7147,1	-	-	-	1831,4	-	-	-	1046,6	7747,7	13074,8
Потребители 10 кВ																
Компрессорная: б) синхронный двигатель 10 кВ	6400	0,8	0,8	0,75	5120	0	-	-	-	-	-	-	-	5120	0	5120
Центральный тепловой пункт: б) синхронный двигатель 10 кВ	1600	0,8	0,8	0,75	1280	0	-	-	-	-	-	-	-	1280	0	1280
Итого по 10 кВ	8000	-	-	-	6400	0	-	-	-	-	-	-	-	6400	0	6400
Итого по предприятию	22405	-	-	-	15035	7147	-	-	-	1831,4	-	-	-	16866	7748	19474,8

## **Выводы по разделу 1:**

Подбирать оборудование и сечение проводников необходимо по условиям нагрева длительно допустимым током. Представлены общие сведения о предприятии легкой промышленности и характеристика проблем его энергоснабжения.

Основная часть оборудования, по степени надежности и бесперебойности относится ко второй категории потребителей. К потребителям первой категории отнесем компрессорную станцию, с четырьмя двигателями 1600 кВт каждый.

Рассчитаны электрические нагрузки по цехам предприятия (таблица 2). И по этим данным рассчитывается общая нагрузка потребителей энергии 0,4 кВт и 10 кВт.

## **2 Построение картограммы электрических нагрузок**

### **2.1 Выбор схем электроснабжения и заземления**

Для внутреннего электроснабжения электрические схемы промышленных предприятий и общественных зданий работают по смешанной и основной схеме. Участок сетки, поставляемый отдельным приемником энергии, называется ветвью.

Магистральным называется источник энергии для группы потребителей энергии.

«Распределительные сети обычно выполняются по радиальным схемам, а питающие сети – по радиальной и магистральной схемам.

Радиальные цепи характеризуются линиями, которые питают большие приемники энергии или точки распределения вдали от источника питания, а независимые линии, которые питают другие маломощные приемники, отклоняются от них. Радиальные цепи обеспечивают относительно высокую надежность мощности (разрыв цепи или повреждение одной линии). На них легко наносятся элементы автоматики и защиты» [21].

Главными недостатками радиальных схем являются: повышенный расход кабелей и проводов, большое количество коммутационных и защитных устройств, необходимость дополнительного места для установки распределительных щитов, распределителей, распределителей, распределителей.

«Главный контур чаще всего применяется при равномерном распределении нагрузки по поверхности помещения. Так называемая схема цепи используется для питания неразветвленных электрических приемников, а также приемников, соединенных общим процессом, вдали от распределительных шкафов или шин. Сеть не рекомендует привлекать более 3-4 потребителей электроэнергии» [21].

В главных цепях несколько приемников питаются от одной основной

сети, что помогает сэкономить проводящий материал, что значительно снижает стоимость электрической цепи. Цепочка багажника позволяет использовать комплектные шины применяемая в системе. Сетка характеризуется большой гибкостью, позволяющей перемещать технологическое оборудование без существенных изменений в энергосистеме.

Недостатками главных цепей являются: сниженная надежность (если линия повреждена, все приемники теряют мощность), высокий ток короткого замыкания.

Учитывая характеристики двух цепей, на практике обычно используются смешанные схемы. Большие и критичные приемники питаются отдельно от радиальных цепей, а остальные - от сети.

Выбор конкретной цепи определяется многими факторами, такими как расположение технологического оборудования, источники энергии, размер и характер нагрузки на приемники, требования к источнику бесперебойного питания, технические и экономические соображения, а также условия окружающей среды.

Выбираем как основную радиальную схему.

Схема состоит из четырёх РП. (рисунок 2). Расчет нагрузок схемы электроснабжения прессового цеха приведен в таблице 3.

«Тип кабеля и его поперечное сечение определяются средой мастерской и величиной номинального тока. Сечение кабеля выбирается в соответствии с указанным допустимым длительным током:

$$I_{\text{дл.доп.}} = \frac{K_3 \cdot I_3}{K_t \cdot K_n}, \quad (6)$$

где  $I_{\text{дл.доп.}}$  – длительно-допустимый ток кабеля с учетом всех коррекций;

$K_3$  – коэффициент защиты;

$K_t$  – температурный коэффициент;

$K_n$  – поправочный коэффициент» [3].

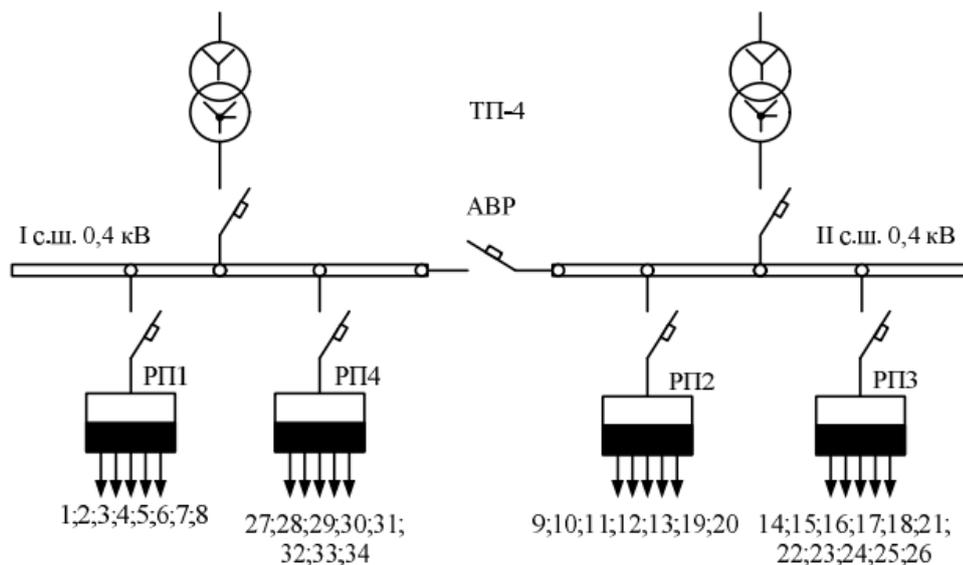


Рисунок 2 – Схема электроснабжения прессового цеха

Выбранные сечения проводов согласно ПУЭ по допустимой потере напряжения не проверяются ввиду малой протяженности.

Так как все линии, отходящие от магистрали, защищаются автоматическими выключателями, то для сетей, не требующих защиты от перегрузки для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой  $K_{зашщ}=1$  [3]. «Так как температура в помещении цеха равна  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то поправочный коэффициент  $K_n=1,04$ » [3]. Ток  $I_3$  равен расчетному току.

Выбираем тип и сечение кабельной линии, которая проходит от главной шины до РП1. Для этого определяем по формуле допустимый длительный ток кабеля.

Выбираем кабели АВВГ с алюминиевой жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ для прокладки в воздухе. Тип и сечение выбранных кабелей внесены в таблицу 3 и в таблицу 4.

Поскольку трансформаторы цеха и ГПП еще пока не выбраны, приблизительно потери мощности в них определяются из приведенных соотношений

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot S; \quad (7)$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot S; \quad (8)$$

$$S_p = \sqrt{\left(\sum P_p + \sum P_{po}\right)^2 + \sum Q_p^2}; \quad (9)$$

Таблица 3 – Выбор кабельных линий для РП

Линия 1	I <sub>p</sub> , А	I <sub>доп</sub> , А		Тип кабеля
		расчетный	принятый	
РП1	157,9	173,8	193	АВВГ 4x70
РП2	170,2	187,1	193	АВВГ 4x70
РП3	417,2	458,8	465	АВВГ 4x240
РП4	22,11	24,2	64	АВВГ 4x16

Таблица 4 – Выбор кабельных линий для ЭП

Линия 1	I, А	I <sub>доп</sub> , А		Тип кабеля
		расч.	прин.	
1, 2, 3 Кузнечно-штамповочные автоматы	36,4	38,9	42	АВВГ 4x6
4, 5, 6, 7, 8 Прессы электромеханические	41,3	44	64	АВВГ 4x10
9, 10, 11, 12 Прессы фрикционные	42,9	45,6	64	АВВГ 4x10
13 Кран-балка	31,2	33,2	35	АВВГ 4x4
14, 15, 16, 17, 18 Молоты ковочные	68,7	73	83	АВВГ 4x16
19, 20 Вентиляторы	22,9	24,2	27	АВВГ 4x2,5
21, 22, 23, 24, 25, 26 Прессы кривошипные	46,8	49,8	64	АВВГ 4x10
27, 28 Насосы масляные	20,8	22	27	АВВГ 4x2,5
29, 30 Наждачные станки	32,2	34,3	42	АВВГ 4x6
31, 32 Шлифовальные станки	63,8	68	83	АВВГ 4x16
33, 34 Сверлильные станки	17	18,1	27	АВВГ 4x2,5

В нашем случае для подстанций цехов, кВ·А (кВт, квар)

$$S_p = \sqrt{(8635 + 1831,47)^2 + 7747,8^2} = 13022,1 \text{ кВА};$$

$$\Delta P_{\text{цт}} = 0,02 \cdot 13022,11 = 260,44 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{цт}} = 0,1 \cdot 13022,11 = 1302,21 \text{ квар.}$$

Примерная нужная мощность компенсирующих устройств по заводу в целом находится из выражения, квар

$$Q_{\text{кy}} = Q_p'' - Q_{\text{э1}}, \quad (10)$$

где

$$Q_p'' = \sum Q_p + \sum Q_p' + \Delta Q_{\text{цт}}; \quad (11)$$

$$Q_{\text{э1}} = K_a \cdot P_p, \quad (12)$$

где  $K_a = 0,29$  для напряжения питания 110 кВ и 0,24 для 35 кВ.

$$Q_{\text{э1}} = 0,29 \cdot 8635 = 2504,15 \text{ квар};$$

$$Q_p'' = 7747,8 + 0 + 1302,21 = 9050,01 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{кy}} = 9050,01 - 2504,15 = 6545,86 \text{ квар.}$$

По рассчитанной мощности выбираем по [20, с.109] КУ типа – 4×УКЛ 57-6,3(10,5)-1800УЗ(У1).

Не скомпенсированная мощность на шинах 10кВ ГПП, квар

$$Q = Q_{p\Sigma} - Q_{\text{кy}}, \quad (13)$$

где  $Q_{p\Sigma}$  – расчетная реактивная суммарная мощность завода, отнесенная к шинам 10 кВ ГПП с учетом коэффициента разности максимальной мощности нагрузки  $K_{pм} = 0,95$ ;

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p\Sigma} + \sum Q'_p) \cdot K_{pм} + \Delta Q_{цт}; \quad (14)$$

$$Q_{p\Sigma} = (7747,8 + 0) \cdot 0,95 + 1302,21 = 8662,62 \text{ квар};$$

$$Q = 8662,62 - 6545,86 = 2116,76 \text{ квар}.$$

Статические конденсаторы принимаются в качестве компенсационных устройств. В них мы находим потерю активной мощности, кВт

$$\Delta P_{ку} = P_{уд} \cdot Q_{ку}, \quad (15)$$

где  $P_{уд}$  – удельные потери активной мощности, кВт составляющие 0,2 % от  $Q_{ку}$ ;

$$\Delta P_{ку} = 0,002 \cdot 6545,86 = 13,09 \text{ кВт}.$$

Общая активная мощность с учетом потерь в компенсирующих устройствах на шинах подстанции, кВт

$$P = P_{p\Sigma} + \Delta P_{ку}; \quad (16)$$

$$P = 13675,16 + 13,09 = 13688,25 \text{ кВт},$$

где  $P_{p\Sigma}$  – расчетная активная мощность завода, кВт, отнесенная к шинам 10 кВс учетом коэффициента разности максимальной мощности нагрузки  $K_{pм} = 0,95$ ;

$$P_{p\Sigma} = (P_{p\Sigma} + \sum P'_p) \cdot K_{pм} + \sum P_{po} + \Delta P_{цт}; \quad (17)$$

$$P_{p\Sigma} = (8635 + 6400) \cdot 0,95 + 1831,47 + 260,44 = 16375,16 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка на шинах 10 кВ ГПП с учетом компенсации

реактивной мощности, кВА

$$S'_p = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (18)$$

$$S'_p = \sqrt{16388,25^2 + 2116,76^2} = 16524,39 \text{ кВА.}$$

Предполагаем, что на прессовом автозаводе будет предусмотрена ГПП. Потери мощности в трансформаторах ГПП ориентировочно определяются, кВт, квар

$$\Delta P'_m = 0,02 \cdot S'_p; \quad (19)$$

$$\Delta Q'_m = 0,1 \cdot S'_p; \quad (20)$$

$$\Delta P'_m = 0,02 \cdot 16524,39 = 330,49 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q'_m = 0,1 \cdot 16524,39 = 1652,44 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность автозавода на стороне высшего напряжения ГПП, кВА

$$S_p = \sqrt{(P + \Delta P'_m)^2 + (Q + \Delta Q'_m)^2}; \quad (21)$$

$$S_p = \sqrt{(16388,25 + 330,49)^2 + (2116,76 + 1652,44)^2} = 17138,35 \text{ кВА.}$$

Полная расчетная мощность автозавода на стороне высшего напряжения ГПП, равна 17138,35 кВА.

## 2.2 Обоснование состава трансформаторной подстанции

Чтобы выбрать рациональное напряжение внешнего источника питания для предприятия легкой промышленности, сначала нужно рассчитать нестандартное напряжение по формуле Стилла, кВ

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{L + 16P}; \quad (22)$$
$$U = 4,34 \cdot \sqrt{5,5 + 16 \cdot 17,138} = 72,58 \text{ кВ},$$

где  $L$  – расстояние от источника питания, км.

$P$  – мощность передачи равна расчетной нагрузке предприятия и связана с шинами ВН главной понизительной подстанции, МВт.

По стандартной шкале отбирают два близлежащих значения номинального напряжения, кВ

$$U'_{cm} \leq U \leq U''_{cm}; \quad (23)$$
$$35,0 \leq 72,58 \leq 110,0 \text{ кВ},$$

Отбираем значения номинального напряжения в 35 кВ и 110 кВ.

## 2.3 Проектирование распределительной сети

Таблица 5 – Координаты расположения цехов предприятия легкой промышленности

Цех	1	2	3	4	5	6	7	8	9
х, м	32	100	150	72	91	123	36	110	66
у, м	44	59	45	72	24	48	101	101	98

Если принять для как наименьшей нагрузки, равной 48,21 кВт (цех №

17), радиус,  $r = 8,0$  мм, то

$$m = \frac{P_p + P_{po}}{\pi \cdot r_{10}^2}; \quad (24)$$
$$m = \frac{215,5 + 162,673}{3,14 \cdot 8,0^2} = 1,867 \text{ кВт/мм.}$$

Принимаем масштаб  $m = 2$  кВт/мм.

Находим радиус для наибольшей нагрузки при принятом масштабе, мм

$$r_{2(10кВ)} = \sqrt{\frac{P_{P12} + P_{PO12}}{\pi \cdot m}}; \quad (25)$$
$$r_{2(10кВ)} = \sqrt{\frac{5120,0 + 0}{3,14 \cdot 2}} = 28,55 \text{ мм,}$$

Создание картограмм в таком масштабе возможно, и мы отказываемся от этого масштаба. Угол сектора ( $\alpha$ ) находится из отношения рассчитанных активных ( $P_p$ ) и осветительных ( $P_{po}$ ) цехов:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{po}}{P_p + P_{po}}. \quad (26)$$

Произведем расчет характеристик картограммы для цеха № 1:

$$r_1 = \sqrt{\frac{2170,0 + 687,939}{3,14 \cdot 2}} = 21,33 \text{ мм.}$$

Итоги расчетов для цеха № 1 вносим в таблицу 6. Расчеты для других цехов рассчитываются так же.

Рассчитываем

$$\sum (P_P + P_{PO}); \quad \sum (P_P + P_{PO}) \cdot x; \quad \sum (P_P + P_{PO}) \cdot y. \quad (27)$$

И заносим в таблицу 6.

Находим координаты центра активных электрических нагрузок

$$x_0 = \frac{\sum_i^n (P_{Pi} + P_{POi}) \cdot x_i}{\sum_i^n (P_{Pi} + P_{POi})}; \quad (28)$$

$$x_0 = \frac{1293680,373}{15035 + 1831,469} = 76,7 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum_i^n (P_{Pi} + P_{POi}) \cdot y_i}{\sum_i^n (P_{Pi} + P_{POi})}; \quad (29)$$

$$y_0 = \frac{1137003,859}{15035 + 1831,469} = 67,41 \text{ м}.$$

Нагрузки в виде кругов наносим на генплан, в круге выделяем сектор осветительной нагрузки. Нагрузки 0,4 кВ наносятся сплошной линией, 10 кВ – пунктирной (рисунок 3).

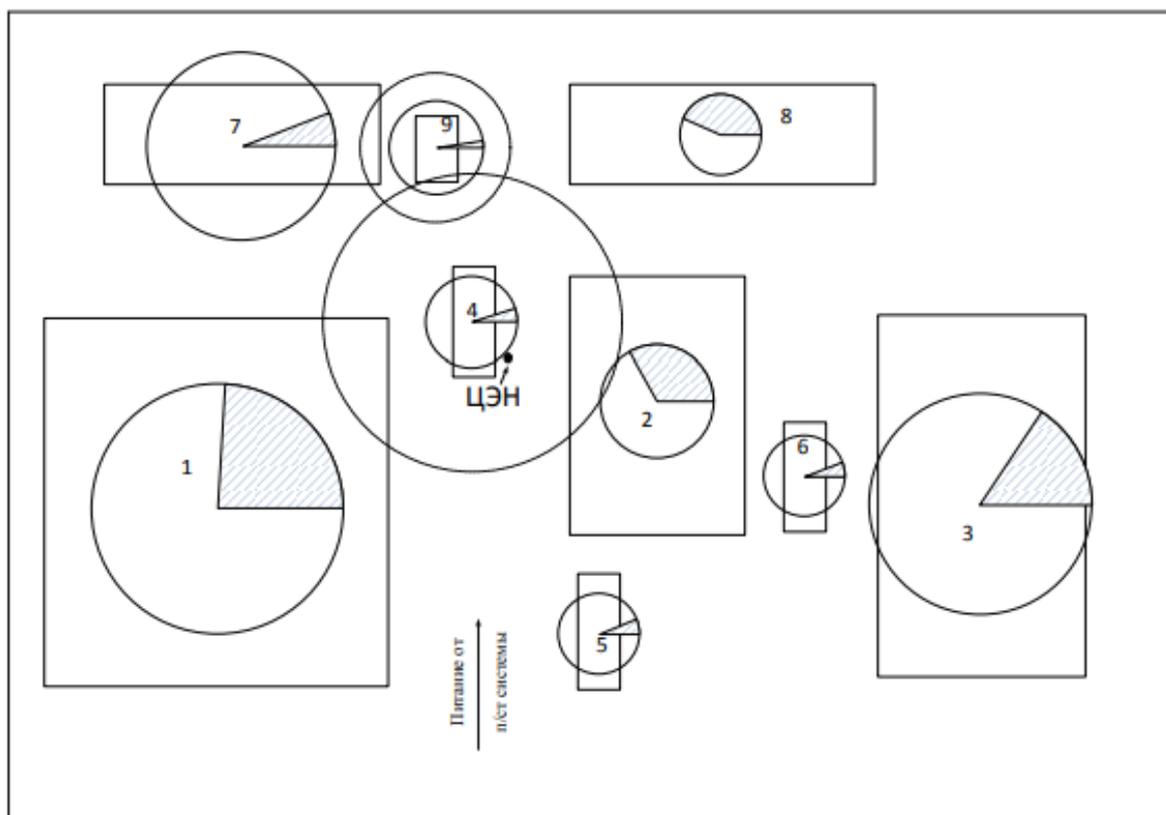


Рисунок 3 – Картограмма электрических нагрузок электроснабжения предприятия легкой промышленности

ГПП не может быть расположен в месте расположения проектных координат, поэтому мы разместим ГПП в более подходящем месте, в основном обращая внимание на тяжесть расположения ГПП к геометрически найденному центру нагрузки, учитывая «удобство запитки главной понизительной подстанции с ТЭЦ и размеры открытого распределительного устройства 110/10 кВ выбирается согласно» [10, с. 193].

Таблица 6 – Исходные данные и расчетные результаты

№	$P_p$	$P_{po}$	$r_i$	$\alpha$	$x_i$	$y_i$	$(P_p+P_{po}) \cdot x_i$	$(P_p+P_{po}) \cdot y_i$
по ГП	кВт	кВт	мм	гр	м	м	кВт*м	кВт*м
0,4 кВ								
1. Главный корпус	2170	687,94	21,33	86,66	32	44	91454,05	125749,32
2. Склад №2	500	247,28	10,91	119,1	100	59	74728,2	44089,64
3. Металлообработка	2292	427,32	20,81	56,57	150	45	407897,44	122369,23
4. Компрессорная: а) 0,4 кВ	440	22,61	8,583	17,59	72	72	33307,92	33307,92
5. Бытовой корпус №1	360	24,157	7,821	22,64	91	24	34958,29	9219,77
6. Бытовой корпус №2	360	22,61	7,805	21,27	123	48	47061,03	18365,28
7. Вспомогательный корпус	1820,5	154,91	17,74	28,23	36	101	71114,85	199516,66
8. Склад №1	212,5	162,67	7,729	156,1	110	101	41269,03	37892,47
9. Центральный тепловой пункт: 0,4 кВ	480	11,985	8,851	8,77	66	98	32471,01	48214,53
Освещение территории	0	69,984	3,338	360	90	60	6298,56	4199,04
Итого по 0,4 кВ	8635	1831,47	-	-	-	-	840560,37	642923,86
10 кВ								
Компрессорная: б) синхронный двигатель 10 кВ	5120	0	28,55	0	72	72	368640	368640
Центральный тепловой пункт: б) синхронный двигатель 10 кВ	1280	0	14,28	0	66	98	84480	125440
Итого по 10 кВ	6400	0	-	-	-	-	453120	494080
Итого по предприятию	15035	1831,47	-	-	-	-	1293680,37	1137003,86

Схема внутреннего электроснабжения предприятия представлена на рисунке 4.

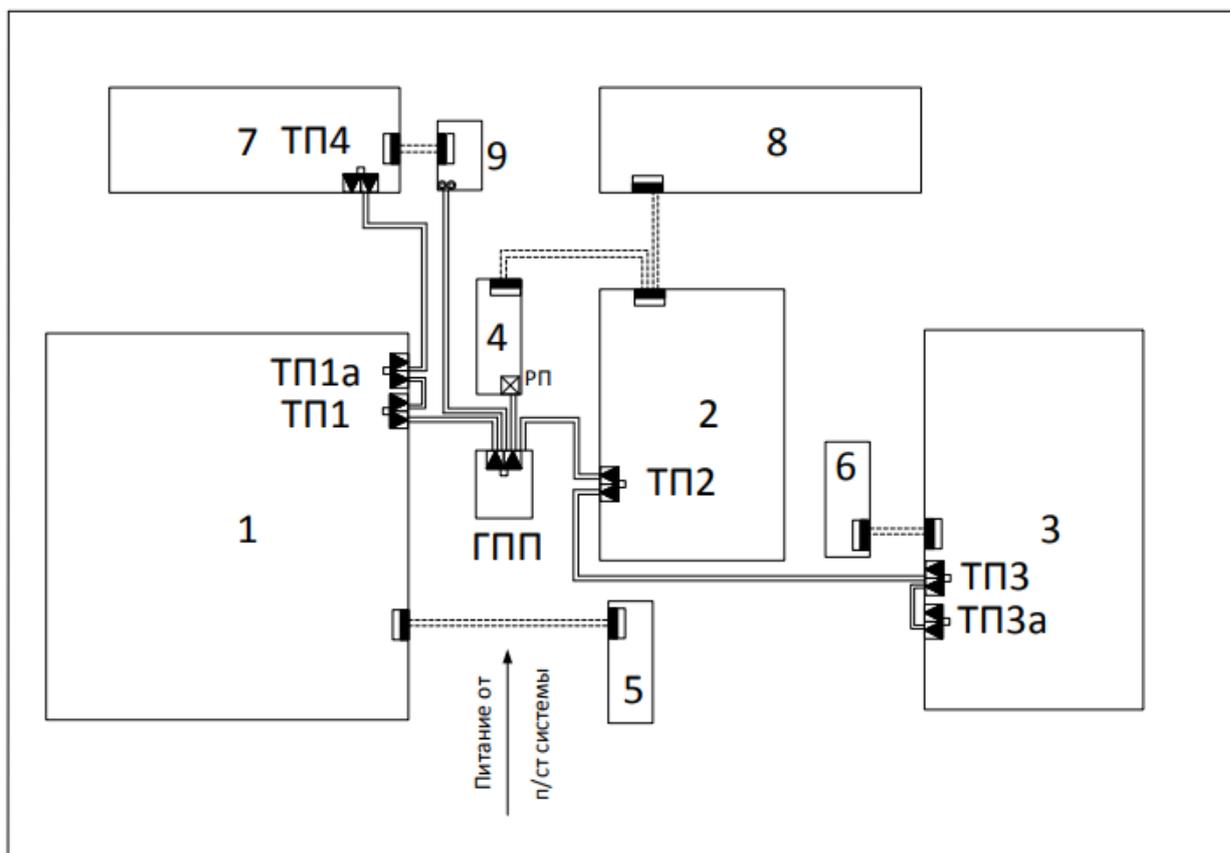


Рисунок 4 – Схема внутреннего электроснабжения предприятия

### Выводы по разделу 2:

Выбрали тип и сечение кабельной линии, которая проходит от главной шины до РП1. Выбрали кабели с алюминиевой жилой в пропитанной бумажной изоляции в алюминиевой оболочке, помещенной в воздух. Тип и сечение выбранных кабелей представлены в таблице 3 и таблице 4. Выбор этих кабелей обеспечит максимальную энергоэффективность, а также безопасность.

Построена картограмма электрических нагрузок электроснабжения предприятия легкой промышленности и спроектирована схема внутреннего электроснабжения предприятия. В таблице 6 представлены значения по мощности нагрузки.

### 3 Определение числа и мощности трансформаторов главной понизительной подстанции

«Промышленные предприятия чаще всего управляются двух-трансформаторными подстанциями. Одно– или трех- трансформаторные подстанции используются реже и требуют более серьезного технико-экономического обоснования.

Мощность подстанции подбирается исходя из проектной нагрузки автозавода при нормальной работе, с учетом организации подачи реактивной энергии. В аварийном режиме, когда один трансформатор выключен, потребитель получает надежное питание от трансформаторов, которые остаются в работе. В то же время часть безответственных потребителей по снижению нагрузки на трансформатор могут быть устранены.

В системах электроснабжения промышленных предприятий мощность силовых трансформаторов должна обеспечивать мощность при нормальных условиях для всех приемников. Надежность электроснабжения предприятия достигается за счет установки на подстанции двух трансформаторов. В случае аварии одного трансформатора другой охватит всю мощность потребителей 1-й и 2-й категории с учетом перегрузочной способности трансформатора» [7].

Мощность трансформаторов ГПП выбирается по формуле, МВА

$$S_{\text{т.ном}} = \frac{S_{p\Sigma}}{K_3 \cdot n_{\text{т}}}; \quad (30)$$

$$S_{\text{т.ном}} = \frac{17138,35}{0,7 \cdot 2} = 12241,68 \text{ МВА.}$$

где  $S_{p\Sigma}$  – полная расчетная мощность завода, кВА;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

$n_{\text{т}}$  – число трансформаторов.

Принимаем согласно [12] трансформатор ТДН-16000/35 и трансформатор ТДН-16000/110.

Оставшийся трансформатор, при крайней необходимости, в рамках аварии, нужно проверить на допустимую перегрузку с учетом отключения потребителей, кВА:

$$1,4 \cdot S_{T, \text{НОМ}} \geq S_{p\Sigma}; \quad (31)$$

$$1,4 \cdot 16000 = 22400 \geq 17138,35 \text{ кВА.}$$

Таблица 7 – Каталожные данные трансформатора

Тип	S <sub>НОМ</sub> , МВА	Напряжение обмоток			Потери, кВт		U <sub>кз</sub> , % ВН-НН	I <sub>хх</sub> , %	Цена тыс. руб.
		ВН	СН	НН	P <sub>хх</sub>	P <sub>кз</sub>			
ТДН-16000/35	16	38,5	–	10,5	17,7	90,1	8,0	0,65	13,2
ТДН-16000/110	16	115	–	11,0	21,1	90,1	10,5	0,85	41,6

Так как на заводе не планируется увеличение производственных мощностей, то выбираем трансформатор ТДН-16000/35.

### 3.1 Расчет токов короткого замыкания

Принимаем за базисные единицы S<sub>б</sub> = 100 МВ·А и среднее напряжение U<sub>б1</sub> = 37 кВ, U<sub>б2</sub> = 10,5 кВ. Находим базисный ток, кА

$$I_{бi} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{б}}; \quad (32)$$

$$I_{б1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА};$$

$$I_{б2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Составляем схему замещения (рисунок 5) и находим сопротивления элементов в базисных единицах:

Сопротивление трансформатора Т1:

$$x_1 = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.Т}}}; \quad (33)$$
$$x_1 = \frac{10,4}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,26.$$

Сопротивление линий:

$$x_i = x_{\text{уд}} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2}; \quad (34)$$

$$r_i = r_{\text{уд}} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2}; \quad (35)$$

Сопротивление линии  $L_1$ :

$$x_2 = 0,4 \cdot 5,5 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,16;$$

$$r_2 = 0,25 \cdot 5,5 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,1.$$

Сопротивление трансформатора Т2:

$$x_3 = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,5.$$

Сопротивление линии  $L_3$ :

$$x_5 = 0,16 \cdot 0,35 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,051;$$

$$r_5 = 0,16 \cdot 0,35 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,051.$$

Сопротивление синхронного двигателя

$$x_{дв} = x_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{ном.дв}}; \quad (36)$$

$$x_{дв} = 0,11 \cdot \frac{100}{2,0} = 5,6,$$

где

$$S_{ном.дв} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi}; \quad (37)$$

$$S_{ном.дв} = \frac{1600}{0,8} = 2,0.$$

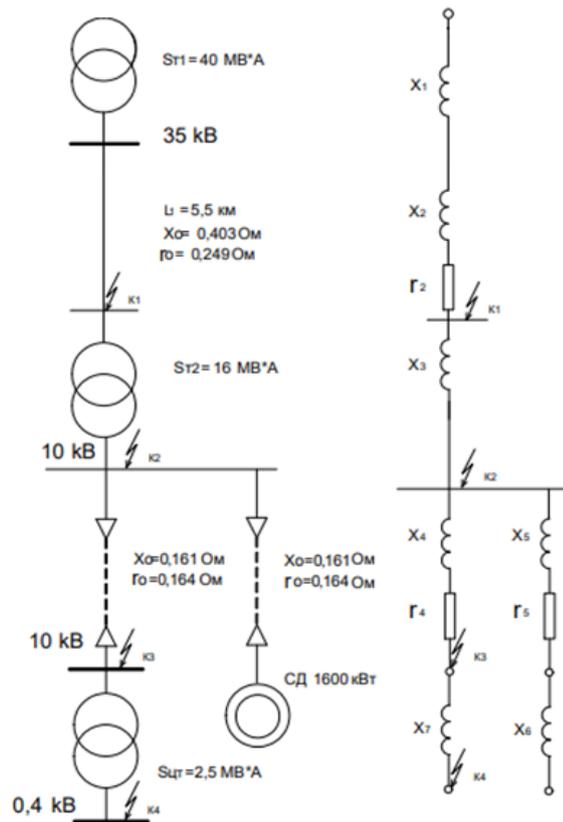


Рисунок 5 – Исходная схема и схема замещения

Находим суммарное сопротивление со стороны генератора до точки К1

$$x_{\Sigma\Gamma1*} = x_1 + x_2; \quad (38)$$

$$x_{\Sigma\Gamma1*} = 0,26 + 0,16 = 0,42;$$

$$r_1 = 0,1.$$

Сопротивление линии  $L_2$ :

$$x_4 = 0,16 \cdot 0,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0363;$$

$$r_4 = 0,16 \cdot 0,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0363.$$

Находим ток К3 в точке К1. Так как условие  $r_{\Sigma} < x_{\Sigma}/3$  для точки К1

выполняется, то не учитываем в расчетах активное сопротивление, кА

$$I_{к.гК1} = \frac{I_{61}}{x_{\Sigma\Gamma1*}}; \quad (39)$$

$$I_{к.гК1} = \frac{1,56}{0,42} = 3,7 \text{ кА.}$$

До точки К2 находим со стороны генератора суммарное сопротивление и со стороны синхронного двигателя.

$$x_{\Sigma\Gamma2*} = x_{\Sigma\Gamma1*} + x_3; \quad (40)$$

$$x_{\Sigma\Gamma1*} = 0,42 + 0,5 = 0,92;$$

$$x_{\Sigma\text{сд}2*} = x_6 + x_5; \quad (41)$$

$$x_{\Sigma\text{сд}2*} = 5,6 + 0,051 = 5,651.$$

В точке К2 находим ток короткого замыкания. Так как для точки К2 выполняется условие  $r_{\Sigma} < x_{\Sigma}/3$ , то в расчетах активное сопротивление не учитываем, кА

$$I_{к.гК2} = \frac{I_{62}}{x_{\Sigma\Gamma2*}}; \quad (42)$$

$$I_{к.гК2} = \frac{5,5}{0,92} = 5,978 \text{ кА;}$$

$$I_{к.сдК2} = \frac{5,5}{5,651} = 0,989 \text{ кА.}$$

Суммарный ток в точке К2, кА

$$I_{к.К2} = I_{к.гК2} + I_{к.сдК2}; \quad (43)$$

$$I_{к.К2} = 5,978 + 0,989 = 6,967 \text{ кА.}$$

Определяем итоговое сопротивление в точке К3. Невозможно объединить генератор и синхронный двигатель, поэтому для этого определяем токи, используя коэффициенты распределения. Эквивалентное сопротивление определяем от источника энергии, коэффициент распределения и суммарное сопротивление в точке К1.

$$x_{\text{экв2}^*} = \frac{x_{\Sigma\Gamma2^*} \cdot x_{\Sigma\text{СД2}^*}}{x_{\Sigma\Gamma2^*} + x_{\Sigma\text{СД2}^*}}; \quad (44)$$

$$x_{\text{экв2}^*} = \frac{0,922 \cdot 5,561}{0,922 + 5,561} = 0,791;$$

$$K_{pi} = \frac{x_{\text{экв2}^*}}{x_{\Sigma i}}; \quad (45)$$

$$K_{p1} = \frac{0,791}{0,92} = 0,86;$$

$$K_{pi} = \frac{0,791}{5,651} = 0,14;$$

$$x_{\text{рез3}^*} = x_{\text{экв2}^*} + x_4; \quad (46)$$

$$x_{\text{рез3}^*} = 0,791 + 0,0365 = 0,83;$$

$$x_{\text{рез}i^*} = \frac{x_{\text{рез3}^*}}{K_{pi}}; \quad (47)$$

$$x_{\text{рез13}^*} = \frac{0,83}{0,86} = 0,965;$$

$$x_{\text{рез23}^*} = \frac{0,83}{0,14} = 5,93.$$

Находим токи для точки К3 независимо от генератора и от синхронного двигателя:

$$I_{\text{к.г}i3} = \frac{I_{\text{б2}}}{x_{\text{рез}i^*}}; \quad (48)$$

$$I_{\text{к.г}К3} = \frac{5,498}{0,965} = 5,697 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к.сдкз}} = \frac{5,498}{5,831} = 0,927 \text{ кА.}$$

Суммарный ток в точке К3, кА:

$$I_{\text{к.К3}} = I_{\text{к.гкз}} + I_{\text{к.сдкз}}; \quad (49)$$

$$I_{\text{к.К3}} = 5,697 + 0,927 = 6,624 \text{ кА.}$$

Найдем ток в точке К4.

Приведенное к базисному напряжению  $U = 0,4$  кВ сопротивление, Ом, элементов схемы до цехового трансформатора составит:

$$x_{\text{рез4;0.4}} = x_{\text{рез3*}} \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2; \quad (50)$$

$$x_{\text{рез4;0.4}} = 0,83 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 1,2 \text{ Ом.}$$

Находим сопротивление, мОм, цехового трансформатора

$$r_{\text{цт}} = \frac{\Delta P_k}{S_{\text{н.т}}} \cdot \frac{U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н.т}}}; \quad (51)$$

$$r_{\text{цт}} = \frac{25,0}{2500} \cdot \frac{0,4^2}{2500} \cdot 10^6 = 0,64 \text{ мОм;}$$

$$x_{\text{цт}} = \sqrt{\left(\frac{u_k, \%}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_{\text{н.т}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н.т}}} \cdot 10^6; \quad (52)$$

$$x_{\text{цт}} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{25,0}{2500}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{2500} \cdot 10^6 = 3,46 \text{ мОм.}$$

Определяем суммарное реактивное сопротивление, мОм, до точки К4:

$$x_{\Sigma K4} = x_{рез4;0.4} + x_{цт}; \quad (53)$$

$$x_{\Sigma K4} = 1,2 + 3,46 = 4,66 \text{ мОм.}$$

Переходные контакты должно учитываться также общее сопротивление, мОм, в дополнение к сопротивлению рабочего трансформатора. Чтобы добиться этого, мы вводим дополнительное сопротивление, которое составляет 15 мОм в шинах подстанции.

$$r_{\Sigma K4} = r_{цт} + r_{доб}; \quad (54)$$

$$r_{\Sigma K4} = 0,64 + 15 = 15,64 \text{ мОм.}$$

Находим ток, кА, К3 в точке К4

$$I_{к.К4} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}}; \quad (55)$$

$$I_{к.К4} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{4,663^2 + 15,64^2}} = 14,15 \text{ кА.}$$

Ударный ток находим в точках К1, К2, К3, кА. Ударные коэффициенты находим и заносим в таблицу 9 [8],  $K_{уд1} = K_{уд2} = K_{уд3} = 1,8$

$$i_{удi} = \sqrt{2} \cdot I_{к.Ки} \cdot K_{удi}; \quad (56)$$

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot I_{к.К1} \cdot K_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 3,7 \cdot 1,8 = 9,418;$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot I_{к.К2} \cdot K_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 6,967 \cdot 1,8 = 17,735;$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot I_{к.К3} \cdot K_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 6,624 \cdot 1,8 = 16,862.$$

Рассчитываем ударный ток, кА, в точке К4. Находим ударный коэффициент по кривой в зависимости от отношения  $x_{\Sigma}/r_{\Sigma}$ :

$$T_{a1} = \frac{x_{\Sigma K4}}{r_{\Sigma K4}}; \quad (57)$$

$$T_{a1} = \frac{4,663}{15,64} = 0,298;$$

$$K_{уд4} = 1,25;$$

$$i_{уд4} = \sqrt{2} \cdot 14,15 \cdot 1,25 = 25 \text{ кА.}$$

Значение аperiodической составляющей тока КЗ в момент времени  $t$  рассчитывается по выражению:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{к.К1} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (58)$$

Примем по [8] для энергосистемы, связанной с точкой КЗ ВЛ напряжением 35 кВ:  $T_a=0,05$  с. Время  $t$  определяет собой сумму минимального времени действий релейной защиты и собственного времени отключения конкретного выключателя (ВВУ-35-40/2000У1):  
 $t = t_{pz} + t_{cb} = 0,01 + 0,07 = 0,08$  с, для ВВЭ-10-31,5/1600У1  
 $t = t_{pz} + t_{cb} = 0,01 + 0,055 = 0,065$  с.

Таким образом, аperiodическая составляющая тока КЗ определится как, кА

$$I_{ati} = \sqrt{2} \cdot I_{к.Ки} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (59)$$

$$I_{at1} = \sqrt{2} \cdot 3,7 \cdot e^{-\frac{0,08}{0,05}} = 1,06;$$

$$I_{at2} = \sqrt{2} \cdot 6,967 \cdot e^{-\frac{0,065}{0,05}} = 2,69;$$

$$I_{at3} = \sqrt{2} \cdot 6,624 \cdot e^{-\frac{0,065}{0,05}} = 2,55;$$

$$I_{at4} = \sqrt{2} \cdot 14,15 \cdot e^{-\frac{0,065}{0,05}} = 5,45;$$

Тепловой импульс находим по выражению,  $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

$$B_{Ki} = I_{\text{к.Ки}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a); \quad (60)$$

$$B_{K1} = 3,7^2 \cdot (0,07 + 0,05) = 1,643;$$

$$B_{K2} = 6,967^2 \cdot (0,055 + 0,05) = 5,097;$$

$$B_{K3} = 6,624^2 \cdot (0,055 + 0,05) = 4,607;$$

$$B_{K4} = 14,15^2 \cdot (0,055 + 0,05) = 21,02;$$

где для 10 кВ  $t_{\text{откл}} = 0,055$  с, для 35 кВ  $t_{\text{откл}} = 0,07$  с.

Результаты расчетов токов короткого замыкания сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$I_{\text{по}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$I_{\text{ат}}, \text{кА}$	$B_{\text{к}}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$
К1	3,697	9,41	1,05	1,64
К2	6,952	17,7	2,68	5,07
К3	6,64	16,9	2,56	4,63
К4	14,15	25,01	5,45	21,02

### 3.2 Релейная защита трансформатора ТДН – 16000/35

«Повреждение и ненормальные режимы работы

Основные повреждения:

- межфазные или многофазные замыкания в обмотках трансформатора и на клеммах;
- однофазные короткие замыкания на клеммах;
- пожар встали сердечника» [13].

«Межфазное или многофазное короткое замыкание может привести к значительному повреждению оборудования, поскольку, проходя через оборудование, ток короткого замыкания нагревает их выше допустимого

предела, что может привести к повреждению изоляции и токоведущих частей.

Короткое замыкание в обмотках и возгорание стали приводит к поломке трансформатора.

РЗ обязана срабатывать мгновенно при любых видах поломок, чтобы отключить автоматические выключатели.

«Для защиты от этих типов повреждений на трансформаторе устанавливается мгновенное отключение тока на основе комплекта защиты SEPAM 1000+ типа S80, защита от газа и защита от замыканий на землю» [11].

Ненормальные режимы работы:

- внешнее короткое замыкание;
- технологическая перегрузка;
- при внешнем коротком замыкании, может снизиться напряжение;
- в баке недостаток масла.

В случае внешнего короткого замыкания и, как следствие, падения напряжения, возникает состояние перегрузки по току, которое может вызвать перегрев или повреждение обмоток трансформатора в течение определенной продолжительности воздействия» [13].

Для защиты от этого режима на трансформаторе установлен трансформатор – МТЗ от сверхтоков внешнего короткого замыкания.

Мгновенный ответ от такой защиты не требуется, поэтому он работает с определенной задержкой –  $t_{сз} = t_{сз}^{см.эл} + \Delta t$ .

К перегреву оборудования и износу изоляции и последующим ее повреждения приводит перегрузка, вызванная током значение которого выше номинального.

Поскольку перегрузка является симметричным режимом, достаточно установить реле в одну фазу, что будет сигнализировать обслуживающему персоналу о необходимости разгрузки оборудования.

«Релейная защита автоматически устраняет повреждение и

ненормальное состояние элемента или секции энергосистемы из ее неповрежденных частей. Защита, установленная на силовом трансформаторе, должна либо обеспечивать его отключение в случае межфазных и обмоточных коротких замыканий, либо в случае замыкания на землю, либо давать сигнал о ненормальной работе трансформатора (перегрузка трансформатора, повышение температуры масла и т. д.). Для рассматриваемого в этом проекте трансформатора ГПП предусмотрены следующие меры защиты» [4]:

- от межфазных коротких замыканий на клеммах и обмотках трансформатора – защита от продольного дифференциального тока на основе SEPAM 1000+ тип T87;
- газозащита;
- Защита от сверхтоков внешних цепей – МТЗ на базе SEPAM 1000+ тип S80;
- Защита от технологических перегрузок – МТЗ на базе SEPAM 1000+ тип S80;
- Защита от пониженного напряжения.

«Для защиты трансформатора от К.З. между фазами, на землю и от замыканий витков одной фазы широкое распространение получила продольная дифференциальная защита.

Принцип защиты основан на сравнении величины и направления тока до и после защищаемого элемента (в данном случае трансформатора)» [17].

Комплект защиты: SEPAM 1000+ типа T87. Для защиты от многофазных КЗ применяем токовую отсечку мгновенного действия (ТОМД).

Согласно ПУЭ, газозащита устанавливается на трансформаторах мощностью более 1000 кВА.

Газозащита широко применяется в качестве очень чувствительной защиты от внутреннего повреждения трансформаторов.

Основными преимуществами газозащиты являются: простота

устройства, высокая чувствительность, короткая продолжительность действия при значительном повреждении, влияние на сигнал или на отключение в зависимости от величины повреждения. В нашем случае газозащита срабатывает при выключении трансформатора.

Таким образом, образование газов в корпусе трансформатора и движение масла в расширитель может быть признаком повреждения внутри трансформатора. Эти знаки используются для выполнения специальной защиты с использованием газовых реле, которые реагируют на движение газа и масла. Газовое реле установлено в трубе, соединяющей корпус трансформатора с расширителем, так что газ и масло, проходя через него, устремляются в расширитель в случае повреждения трансформатора.

«Газовая защита является наиболее чувствительной защитой трансформатора от повреждения его обмоток, особенно в случае коротких замыканий, на которые дифференциальная защита реагирует только с большим количеством витков, а максимальная защита вообще не реагирует. В настоящее время все трансформаторы мощностью 1000 кВА и выше оснащены газозащитой» [18].

Газозащита не работает в случае повреждения на клеммах трансформатора и должна быть выведена из эксплуатации, когда существует опасность попадания воздуха в корпус трансформатора (т.е. после заправки, ремонта трансформатора и его повторного запуска).

По этим причинам газовая защита должна быть дополнена второй защитой от внутренних повреждений.

«От технологических перегрузок, применяет МТЗ от перегрузок трансформаторов, SEPAM 1000+ типа S80» [1].

По ПУЭ, максимальная токовая защита от перегрузки не проверяется на чувствительность.

Осуществим выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения для подключения РЗ.

1. ТА1, ТА2 (ВН) Номинальный ток высокой стороны, А:

$$I_H^B = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H^B}, \quad (61)$$

$$I_H^B = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 263,93 \text{ А},$$

где  $S_H$  – мощность трансформатора, кВ·А;

$U_H^B$  – напряжение ВН, кВ.

Расчетный ток трансформатора, А:

$$I_{ТА1}^{\text{расч}} = I_H^B \cdot k_{cx} = 263,93 \cdot \sqrt{3} = 527,86 \text{ А}, \quad (62)$$

где  $k_{cx}$  – коэффициент схемы, так как схема соединения первичной обмотки «треугольник»,  $k_{cx} = \sqrt{3}$ .

Выбираем трансформатор тока ТВТ-35-I-600/5:

– Номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 150 \text{ А}$ ;

– Коэффициент трансформации  $n_{ТА1} = 600/5$ .

2. Выбираем трансформаторы напряжения TV1 – на стороне ВН и TV2 – на стороне НН:

$$n_{TV1} = \frac{U_H^B}{100}, \quad (63)$$

$$n_{TV1} = \frac{35000}{100} = 350.$$

Выбираем трансформаторы напряжения TV1 – НАМИ-35 УХЛ1.

$$n_{TV2} = \frac{U_H^B}{100}, \quad (64)$$

$$n_{TV2} = \frac{10000}{100} = 100.$$

Выбираем трансформаторы напряжения TV2 – НАМИ-10 УХЛ2.

### 3.3 Расчет молниезащиты главной понизительной подстанции

На этапе проектирования объекта и строительства СЭС, нужно учитывать и предупреждать вероятность поражения ударами молнии, а именно это касается открытых электроустановок.

Молнии обладают огромным разрушающим потенциалом, что объясняется большой амплитудой, крутизной роста и интегралом тока.

Чтобы защитить ОРУ, используют стержневые молниеотводы на порталах подстанций или установкой обособленных стержневых молниеотводов со своими отдельными заземлителями.

«Стандарт зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h = 22$  метров есть круговой конус, вершина которого общая с вертикальной осью молниеотвода» [10].

#### 3.3.1 Зона защиты между первым и вторым молниеотводами

Между молниеотводами 1 и 2 построим зону защиты. Высоту молниеотвода примем равной  $h = 22$  м. Высота конуса, м, определяется по приведенной [6, табл. 1.2] и равна:

$$h_0 = 0,8 \cdot h, \quad (65)$$

$$h_0 = 0,8 \cdot 22 = 17,6.$$

Радиус конуса на уровне земли, м, определяется по приведенной [6, табл. 1.2] и равен:

$$r_0 = 0,8 \cdot h, \quad (66)$$

$$r_0 = 0,8 \cdot 22 = 17,6.$$

Радиус зоны защиты  $r_x$  на высоте защищаемого объекта  $h_x$  определяется по формуле, м:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (67)$$

$$r_x = \frac{17,6 \cdot (17,6 - 11)}{17,6} = 6,6,$$

где  $r_0$  - радиус конуса, определяемый по приведенной формуле (66), м,  
 $h_0$  - высота конуса, определяемая по приведенной формуле (65), м,  
 $h_x$  - высота самого высокого защищаемого объекта, которыми на ОРУ110кВ являются гибкие шины, м, примем равной 11.

Чтобы увеличить зону защиты и сделать ее общей, располагают два или больше молниеотводов.

Молниеотвод считается двойным, если расстояние  $L$  между стержневыми молниеотводами не превышает предельной величины  $L_{max}$  и  $L_C$ , определяемых по формулам:

$$L_{max} = 4,75 \cdot h, \quad (68)$$

$$L_{max} = 4,75 \cdot 22 = 104,5,$$

$$L_C = 2,25 \cdot h, \quad (69)$$

$$L_C = 2,25 \cdot 22 = 49,5.$$

При  $L_1 > L_{max}$ , – одиночные молниеотводы, так как не создают общую зону. При расстоянии  $L_1$  меньше определенного значения  $L_C$  граница зоны защиты не имеет провеса, т.е.  $h_C = h_0$ .

$$L_1 = 20.$$

Так как  $L_1 < L_C$ , то  $h_C = h_0 = 24$ .

Ширина горизонтального сечения в указанном центре между молниеотводами на высоте, м:

$$r_{cx} = \frac{r_0 \cdot (h_c - h_x)}{h_c}, \quad (70)$$

$$r_{cx} = \frac{17,6 \cdot (17,6 - 11)}{17,6} = 6,6,$$

Зона защиты между 1 и 2 молниеотводами с расчетными данными приведена на рисунке 6.

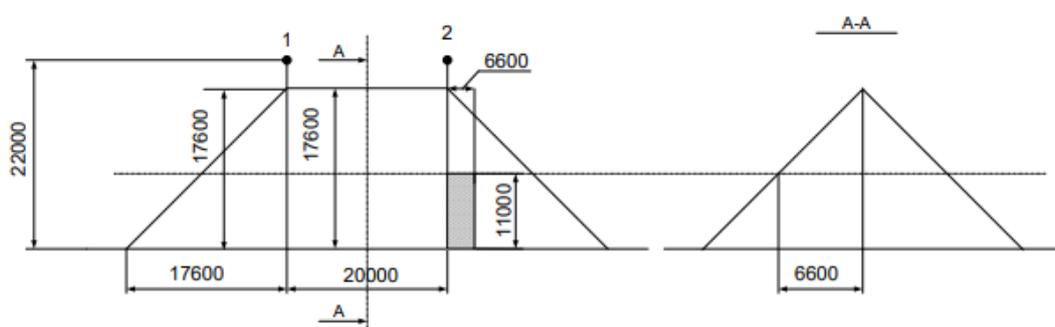


Рисунок 6 – Зона защиты между 1 и 2 молниеотводами

### 3.3.2 Зона защиты между вторым и третьим молниеотводами

Построим зону показанную на рисунке 6 защиты между 2 и 3 молниеотводами. Высоту молниеотвода  $h$ , примем равной 22 м.

$$h_0 = 0,8 \cdot 22 = 17,6.$$

$$r_0 = 0,8 \cdot 22 = 17,6.$$

$$r_x = \frac{17,6 \cdot (17,6 - 11)}{17,6} = 6,6,$$

Молниеотвод считается двойным, если расстояние  $L$  между стержневыми молниеотводами не превышает предельной величины  $L_{\max}$  и  $L_c$ , определяемых по формулам:

$$L_{max} = 4,75 \cdot 22 = 104,5,$$

$$L_C = 2,25 \cdot 22 = 49,5.$$

При  $L_2 > L_{max}$ , – одиночные молниеотводы, так как не создают общую зону. При расстоянии  $L_2$  меньше установленного значения  $L_C$  граница зоны защиты не имеет провеса, т.е.  $h_C = h_0$ .

$$L_2 = 44.$$

Так как  $L_2 < L_C$ , то  $h_C = h_0 = 24$  м.

В центре между молниеотводами ширина горизонтального сечения на высоте, м:

$$r_{cx} = \frac{17,6 \cdot (17,6 - 11)}{17,6} = 6,6,$$

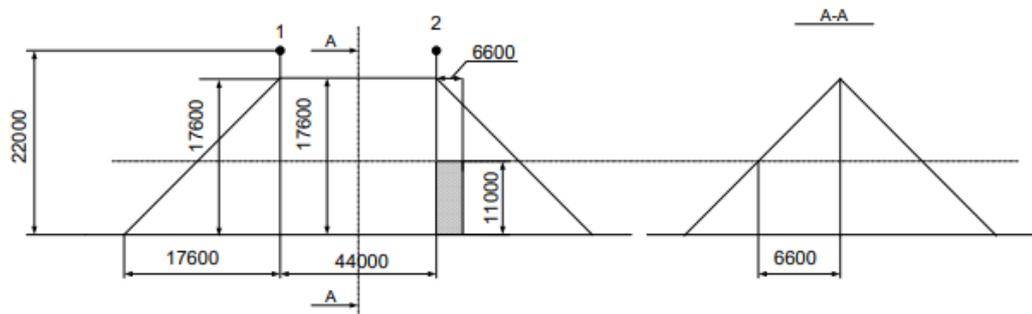


Рисунок 7 – Зона защиты между 2 и 3 молниеотводами

Сечения зон защиты на высоте  $h_x$  для рассматриваемых молниеотводов приведены на рисунке 8.

Сечение зоны защиты защищает всю площадь.

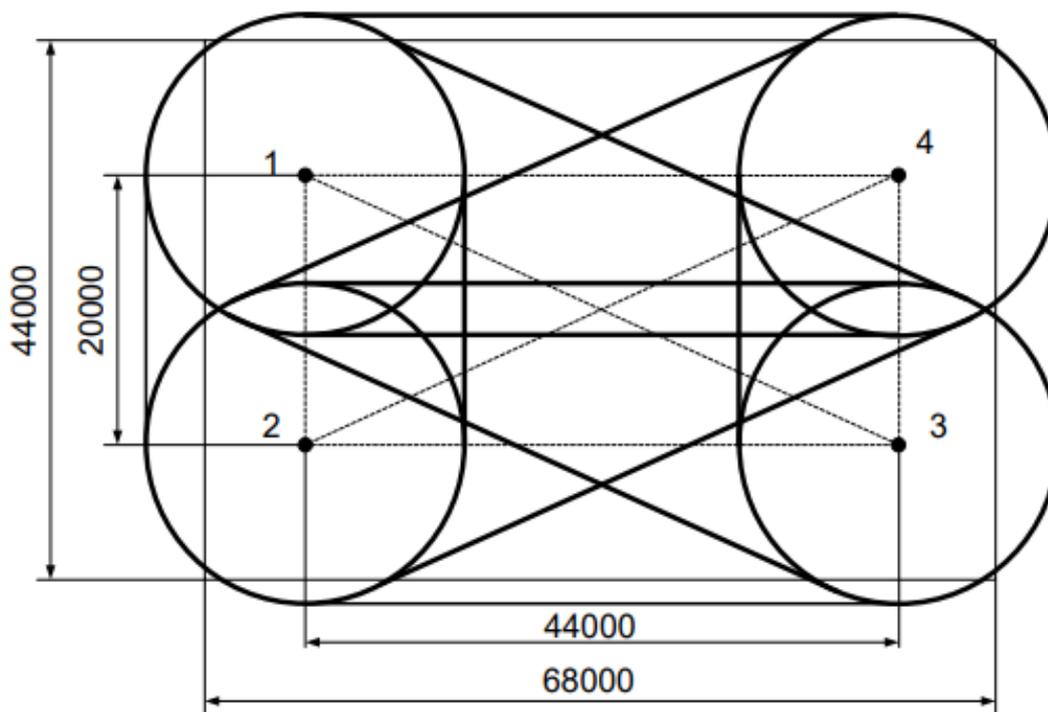


Рисунок 8 – Зона защиты четырех стержневых молниеотводов

### **3.4 Организация технического обслуживания и ремонтов измерительных трансформаторов напряжения и комплектных трансформаторных подстанций**

#### **3.4.1 Ремонт и обслуживание трансформаторов напряжения**

«Техническое обслуживание трансформаторов напряжения и их вторичных цепей выполняется персоналом и заключается в работе над самими трансформаторами напряжения и контроллерами для исправления цепей вторичного напряжения.

Контроль работы трансформатора напряжения при проверке оборудования. В то же время они обращают внимание на общее состояние трансформаторов напряжения, наличие разрядов и напряжений внутри трансформатора, отсутствие следов перекрытия на поверхности изоляторов и фарфоровых шин, отсутствие изоляции и изолирующих микросхем и состояние арматурных швов. Если обнаружены трещины, трансформаторы

напряжения должны быть отсоединены и подвергнуты детальному осмотру и испытаниям» [10].

На контрольных панелях необходимо регулярно отслеживать наличие напряжения на трансформаторах и сигнальных устройствах (дисплеях, сигнальных лампах, вызовах).

«В случае сброса вторичного напряжения предохранители низкого напряжения и автоматические выключатели должны быть замкнуты. Проверенные в процессе эксплуатации трансформаторы тока проверяют наличие свободных проводящих слоев графитовой краски (54% графита, 32% лака, 14% бензина), состояние изоляции вторичной обмотки и уровень масла (в масляных трансформаторах). Слабые трансформаторы являются источниками тока для короткозамкнутой вторичной обмотки или вторичных токов для короткозамкнутой первичной обмотки» [21].

«Неиспользуемые один раз в год испытанные трансформаторы тока с пониженным током и проверенным электрическим сопротивлением, а также его испытательное напряжение (испытанное в стандартном разряднике) должны быть трансформаторами с номинальным напряжением 35 кВ не менее 30 кВ. Все трансформаторы должны быть заземлены, все должны быть подключены к вторичной обмотке (корпус, фланцы, основание, основание, тележка и т.д.) защиты. Работы, связанные с коммутацией в цепях вторичной обмотки, также проводятся только после отключения трансформаторов тока от сети. Выполнение операций без отключения трансформаторов тока допускается только в цепях, оснащенных специальными закорачивающими зажимами» [10].

«Испытание изоляции первичных обмоток измерительных трансформаторов с высоким напряжением допускается проводить вместе с шиной. Испытательное напряжение устанавливается в соответствии со стандартами для электрооборудования с самым низким уровнем. Испытание трансформаторов тока, подключенных к силовым кабелям 6–10 кВ, проводится без выравнивания (вместе с кабелями) в соответствии со

стандартами, принятыми для силовых кабелей» [4].

«Трансформаторы считаются наиболее надежными элементами в энергосистемах. Действительно, по сравнению с другими видами силового оборудования (котлы, турбины, генераторы), трансформатор очень надежен в эксплуатации.

По своему положению и принципу действия трансформаторы напряжения напоминают обычные силовые трансформаторы, но отличаются от них малой мощностью (максимальная мощность трансформатора НОМ-10 составляет 720 ВА) и изготавливаются со стороны более высокого напряжения для всех напряжений по ГОСТ 0,38. до 500 кВ.

При испытаниях трансформаторов с углублениями активной части состояние магнитопровода и обмоток проверяется в тех же количествах, что и для силовых трансформаторов» [21].

«При установке трансформатора желтая шина подключается к клемме с маркировкой «А», зеленым с «В» и красным с «С». В однофазных трансформаторах клемма «А» может быть подключена к любой фазе. Если установлены три однофазных трансформатора, то все клеммы, обозначенные буквой «Х», соединяются с нулевой точкой общей шиной и землей. Корпус каждого трансформатора напряжения соединен с линией заземления отдельной стальной шиной с поперечным сечением не менее 48 мм<sup>2</sup>» [21].

«Перед установкой трансформаторов тока тщательно осмотрите, проверьте состояние изоляции и контактных частей, целостность и состояние литого корпуса трансформаторов ТКЛ и ТПЛ, и металлический корпус ТПОФ и ТПФМ, а также безопасность фарфоровых изоляторов. Трансформаторы тока, в которых имеются поврежденные изолирующие элементы, имеют глубокие отверстия на корпусе, на металлическом корпусе обнаружены повреждения изоляции, обнаружены внутренние обрывы проводов вторичной цепи, их необходимо отремонтировать перед установкой» [21].

«После завершения ремонта трансформаторов тока они проходят

испытания, которые обеспечивают сопротивление изоляции первичной обмотки относительно корпуса трансформатора тока и сопротивление изоляции вторичных обмоток.

Когда ток протекает через первичную обмотку трансформатора, в его разомкнутой вторичной обмотке будет создаваться опасное напряжение, что сопровождается недопустимым нагревом магнитной цепи, что может привести к повреждению изоляции или аварии» [10].

«При замене трансформатора тока новым, соединения первичной обмотки подключаются к распределительному устройству, провода вторичной обмотки соединяются с клеммами вторичной обмотки, металлическим корпусом или заземленным трансформатором заземления. Опорные трансформаторы устанавливаются в горизонтальном или вертикальном положении, а сварочные конструкции из угловой стали имеют размеры не менее 50x50x5 мм» [21].

«Трансформатор заземляется с помощью заземляющего провода или шины, подключенной к одному распределительному устройству или заземленному распределительному устройству, а другой – к трансформатору тока под болтом заземления с маркировкой «3». Контактные поверхности тщательно очищены и смазаны вазелином. Таким образом, заземление подготовлено для проводов или заземляющих шин трансформатора тока» [20].

### **3.4.2 Ремонт и обслуживание КТП (ТП)**

«При обслуживании КТП нужно уделять регулярный контроль и обслуживание силовым трансформаторам и РУ.

При нормальной работе, ток нагрузки не должен превышать максимально-допустимых значений, указанных производителем. На КТП с двумя взаимоподдерживаемыми трансформаторами, максимальная рабочая нагрузка не может превышать 80% от номинальной нагрузки. Перегрузка линий выходящих из щитков ТП, когда они под защитой автоматических

комбинированных расцепителей, допускается в аварийном режиме.

Периодичность проверки КТП определяется Службой главного энергетика. Тестирование трансформаторной станции выполняется путем полного снятия напряжения на входной и выходной линиях.

Техобслуживание – это комплекс мероприятий, для продления срока службы высоковольтного и низковольтного оборудования ТП.

Техобслуживание – фундамент для безопасного пользования ТП, которая есть одно из главных атрибутов системы электроснабжения.

Проведение технического обслуживания – это один из главных условий для быстрого возобновления электрической цепи в аварийной ситуации.

Предназначение технического обслуживания:

- Обеспечение надежности электроснабжения потребителей.
- Минимизация времени простоя бытовых объектов при отключении электроэнергии.
- Предотвращение выхода из строя электрооборудования из-за износа или неправильного использования путем своевременного ремонта.
- Усовершенствование качества ремонтных работ при небольших затратах денег, времени и рабочей силы.

При обслуживании КТП они руководствуются стандартами ГОСТ 14695–80» [14].

Для техобслуживания важны плановые и внеочередные проверки персоналом и, если нужно, ремонтные работы.

«Работы по техническому обслуживанию выполняются в соответствии с правилами ПУЭ–7, указанными в разделе 4.2. 1–4.2.16 Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ» [14].

«Общий список проверок включает в себя:

- Периодический осмотр электрооборудования без снятия с эксплуатации и отсоединения сетевого напряжения (частота согласно ПТЭ, глава 1.6.).
- Внеочередное испытание задается после срабатывания

защиты при отключении тока КЗ.

– Работы по техническому обслуживанию выполняются в соответствии с графиком, установленным лицом, ответственным за электрическую промышленность. Во время ремонта неисправности, обнаруженные во время проверок, устраняются. Ремонт проводится в соответствии с межотраслевыми правилами ПТБ и на отключенном и выведенном из эксплуатации электрооборудовании.

– Капремонт проводится в соответствии со стандартами ПТЭ и местными правилами» [14].

«Технообслуживание включает аварийно–восстановительные работы, их объем зависит от степени тяжести и количества повреждений, которые произошли во время аварии.

Качество ремонтных работ обязательно подтверждается приёмо–сдаточными испытаниями, которые проводятся в соответствии с ГОСТ 50571.16–99 и требованиями ПУЭ (глава 1. 8.)» [14].

«Техническое обслуживание трансформаторных подстанций осуществляется при эксплуатации электрооборудования с соблюдением нормального режима работы. Разрешается использовать перерывы в работе, нерабочие дни и смены.

При проведении технического обслуживания по предварительному согласованию с диспетчерскими службами допускается кратковременное отключение электрооборудования от сетевого напряжения в соответствии с применимыми правилами» [14].

Регламент подразумевает надзор за правильной работой и эксплуатацией оборудования, обслуживание и уход устройств в хорошем состоянии.

Необходимость нерегламентированных техобслуживании возникает после периодических осмотров и проверок, а также диагностики состояния электрооборудования. Техническое обслуживание проводится с целью устранения дефектов при кратковременном отключении оборудования.

«Регламентированное техобслуживание проводится по графику. Интервал технического обслуживания меньше или равен графику технического обслуживания для запланированных мелкомасштабных операций. (ПУЭ–7, гл. 4.2.)» [14].

### **Выводы по разделу 3:**

Выбрали трансформатор ТДН-16000/35 для ГПП в количестве 2 штук.

Рассчитали токи КЗ, расчет которых представлен в таблице 3.2.

Проведен расчет РЗ трансформатора ТД – 16000/110, в котором выбраны ТТ и ТН. Для защиты от многофазных КЗ применяется токовая отсечка мгновенного действия. Комплект защиты: блок SEPAM 80.

Рассчитана зона защиты для ОРУ. Стандарт зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h = 22$  метров есть круговой конус, вершина которого общая с вертикальной осью молниеотвода.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе рассмотрено электроснабжение предприятия легкой промышленности.

Решения определенных электрических проблем требует современных решений в работе предприятий легкой промышленности. Такие, как выбор энергоэффективного оборудования, рациональный дизайн энергосистемы и точный расчет настроек защитного оборудования. В настоящее время существует большой выбор различных электротехнических изделий, но по причине доступности в данной работе отдаем предпочтение отечественному производителю.

В ВКР значительное внимание уделяется расчету нагрузки в мастерской, выбору электрооборудования и проверке необходимой надежности электропитания. Современная нормативно-правовая база, в частности последние издания ПУЭ, были использованы для решения конкретных и общих вопросов.

Выбрали кабели с алюминиевой жилой в пропитанной бумажной изоляции в алюминиевой оболочке, помещенной в воздух. Выбор этих кабелей обеспечит максимальную энергоэффективность, а также безопасность.

Построена картограмма электрических нагрузок электроснабжения предприятия легкой промышленности и спроектирована схема внутреннего электроснабжения предприятия.

Выбраны мощность, количество и место установки цеховых трансформаторов типа ТДН, обеспечивающими минимальные затраты при эксплуатации, малые габариты ТП и высокую надежность работы подстанций. Проведен расчет РЗ трансформатора ТД – 16000/110, в котором выбраны ТТ и ТН.

Рассмотрен вопрос о техническом обслуживании и ремонту оборудования системы предприятия лёгкой промышленности.

## Список используемых источников

1. Артюхов, И.И. Электрооборудование электрических станций и подстанций / И.И. Артюхов, В.Д. Куликов, В.В. Тютманова. – Саратов: СГТУ, 2005. – 136с.
2. Блок, В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов. / Под ред. В.М. Блок. – М. : Высшая школа, 1990. –383 с.
3. Воронина, А.А. Безопасность работ в электроустановках / А.А. Воронина. – М. : «Высшая школа», 1974. – 192 с.
4. Гайсаров, Р.В. Справочник по высоковольтному оборудованию электроустановок/ под ред. Р.В. Гайсарова. – Челябинск :ЮУрТУ, 2005. – 343 с.
5. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/ А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов н/Д. :Феникс; 2006. – 720 с.
6. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003 – М. : ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2017. – 144 с.
7. Кабышев, А.В. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения: учебное пособие / А.В. Кабышев. – Томск :Изд-во ТПУ, 2006. – 124 с.
8. Крюков, В.И. Обслуживание электрооборудования / В.И. Крюков. – М. : «Высшая школа», 1989. – 367 с.
9. Крючков, И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах: / И.П. Крючков, [и др.]. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 – 416с.
10. Ктиторов, А.Ф. Практическое руководство по монтажу электрических сетей / А.Ф. Ктиторов. – М. : «Высшая школа», 1990. – 271 с.
11. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий:

Учебник для студентов высших учебных заведений/ Кудрин, Б.И. – 2–е изд. – М. : Интермет Инжиниринг, 2006. – 672 с.

12. Неклепаев, Б.Н., Крючков, И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. Пособие для вузов. – 5–е изд., стер. – СПб. : БХВ – Петербург, 2013. – 607 с.

13. Открытое акционерное общество «Труд» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://oaotrud.by/> – Дата доступа 10.03.2020.

14. Правила устройства электроустановок 6–е, 7–е издание[Текст]: Все действующие разделы ПУЭ–6 ПУЭ–7 раздел 6; раздел 7 гл 7.1, 7.2 – М., 1999. Введены с 01.07.2000 г. раздел 1 гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9; раздел 7 гл. 7.5, 7.6, 7.10 – М., 2002. Введены с 01.01.2003; г. раздел 1 гл. 1.8 – М., 2004. Введен с 01.09.2003 г. раздел 2 гл. 2.4, 2.5 – М., 2003. Введен с 01.10.2003 г. раздел 4 гл. 4.1, 4.2 – М., 2003. Введен с 01.11.2003 г. Новосибирск :Сиб. унив. издательство, 2005. – 854 с.

15. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – М. : Энергоатомиздат, 2010. – 648с.

16. Сибикин Ю.Д. Технология электромонтажных работ / Ю.Д. Сибикин. – М. : «Высшая школа», 1989. – 352 с.

17. Синенко, Л.С. Электроснабжение: Учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию : в 2 – х ч. Ч. 2 / Л.С. Синенко, [и др.]. – Красноярск :Сиб. федер. ун–т; Политехн. Ин–т, 2007. – 212 с

18. Синенко, Л.С. Электроснабжение: Учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию: В 2 ч. Ч. 1 / Л.С. Синенко, [и др.]. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 135 с.

19. Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятий / Под общ. ред. В.И. Круповича – М. : Энергия, 1980. – 456 с.

20. Справочник по проектированию электроснабжения/ Под ред. Ю.Г. Барыбина – М. : Энергоатомиздат, 1990 – 576с.

21. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. – Взамен СТО 4.2–07–2012; дата введ. 27.02.2014. – Красноярск : БИК СФУ, 2014. – 57 с.

22. Четошникова, Л.М. Релейная защита в системах электроснабжения: методические указания к выполнению курсовой работы. / Л.М. Четошникова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 60 с.