

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 Проектирование системы электроснабжения завода по производству  
климатических систем и кондиционеров

Обучающийся

А.А. Рогожкина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Темой ВКР является «Проектирование системы электроснабжения завода по производству климатических систем и кондиционеров».

В данной работе рассчитаны электрические нагрузки:

- производственных цехов (оборудования центрального кондиционирования, микроклиматического оборудования, расходных материалов и запчастей микроклиматического оборудования, водяного теплового оборудования, инфракрасных нагревателей, вентиляционных установок, воздушных обогревателей, оборудования для систем вентиляции, систем регулирования влажности, вентиляционного оборудования промышленного исполнения, производства вентиляционных коммуникаций);
- заводоуправления;
- здание учета тепловой энергии и воды;
- складское отделение и приемка;
- тепловой пункт собственных нужд завода;
- цех материалов для монтажа;
- отделение заправки и ремонта.

Затем выбраны силовые трансформаторы и установки компенсации реактивной мощности, рассчитаны токи короткого замыкания (ТКЗ).

Далее выбрано электрооборудование трансформаторных подстанций (ТП) и главной понизительной подстанции (ГПП) по заводу, кабельные линии (КЛ).

На заключительном этапе ВКР проведем расчет заземления и молниезащиты завода.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных данных и расчет электрических нагрузок предприятия ...	6
1.1 Данные о предприятии .....	6
1.2 Расчет электрических нагрузок .....	7
1.3 Расчет освещения .....	13
2 Выбор схемы электроснабжения .....	19
2.1 Расчет числа и мощности трансформаторов .....	19
2.2 Технико-экономический расчет схем электроснабжения .....	24
3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования .....	34
3.1 Определение токов короткого замыкания точек цепи .....	34
3.2 Выбор силового электрооборудования .....	43
4 Расчет заземления и молниезащиты .....	45
Заключение .....	48
Список используемой литературы и используемых источников .....	49

## Введение

Проектирование зданий и сооружений всегда включает в себя этап монтажа климатических систем и кондиционеров.

Производство климатических систем и кондиционеров играет ключевую роль на этапе строительства инженерных систем зданий. На предприятиях по производстве систем кондиционирования и климатических систем производятся товары следующего типа:

- оборудование центрального кондиционирования;
- микроклиматическое оборудование;
- расходные материалы и запчасти микроклиматического оборудования;
- водяное тепловое оборудование;
- инфракрасные нагреватели;
- вентиляционные установки;
- воздушные обогреватели;
- оборудование для систем вентиляции;
- системы регулирования влажности;
- вентиляционное оборудование промышленного исполнения;
- вентиляционные коммуникации.

Также, актуальность производства промышленного климатического оборудования в современном мире обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, с ростом промышленности и увеличением числа производственных объектов возрастает потребность в эффективных системах климат-контроля, которые обеспечивают оптимальные условия для работы оборудования и сотрудников. Это особенно важно в таких отраслях, как пищевая, фармацевтическая и электроника, где точные температурные и влажностные параметры критически важны для качества продукции.

Во-вторых, изменение климата и глобальное потепление требуют от предприятий адаптации к новым условиям. Производство климатического

оборудования, способного поддерживать стабильный микроклимат в помещениях, становится необходимым для снижения негативного воздействия на окружающую среду и повышения энергоэффективности.

Кроме того, с развитием технологий и увеличением конкуренции на рынке, компании стремятся внедрять инновационные решения, которые помогают оптимизировать производственные процессы и снизить затраты. Современные системы климат-контроля могут включать в себя интеллектуальные технологии, позволяющие автоматизировать управление климатом и значительно экономить ресурсы.

Не менее важным аспектом является и здоровье работников. Правильный климат в помещениях способствует повышению производительности и снижению заболеваемости, что, в свою очередь, влияет на общую эффективность бизнеса.

Таким образом, производство промышленного климатического оборудования становится не просто актуальным, а необходимым элементом для обеспечения комфортных и безопасных условий труда, повышения конкурентоспособности и устойчивости бизнеса в условиях меняющегося климата и растущих требований к качеству.

В связи с этим, предприятия по производству климатических систем и кондиционеров требуются для обеспечения спроса при строительстве зданий и сооружений. Поэтому, для обеспечения стабильного производства товаров требуется проектирование распределительных сетей завода по изготовлению систем кондиционирования и климатических систем.

Цель работы: проектирование системы электроснабжения завода по производству климатических систем и кондиционеров.

Поставленная цель достигается путем решения задач по расчету и выбору электрооборудования для питания потребителей, а также схемы электроснабжения потребителей рассматриваемого завода.

# **1 Анализ исходных данных и расчет электрических нагрузок предприятия**

## **1.1 Данные о предприятии**

Завод по производству климатических систем и кондиционеров состоит из цехов по производству:

- оборудования центрального кондиционирования;
- микроклиматического оборудования;
- расходных материалов и запчастей микроклиматического оборудования;
- водяного теплового оборудования;
- инфракрасных нагревателей;
- вентиляционных установок;
- воздушных обогревателей;
- оборудования для систем вентиляции;
- систем регулирования влажности;
- вентиляционного оборудования промышленного исполнения;
- производства вентиляционных коммуникаций.

К потребителям собственных нужд завода по производству климатических систем и кондиционеров относятся:

- заводоуправление;
- здание учета тепловой энергии и воды;
- складское отделение и приемка;
- тепловой пункт собственных нужд завода;
- цех материалов для монтажа;
- отделение заправки и ремонта.

На заводе изготавливаются комплектующие климатических систем и кондиционеров, а также оборудование в различных исполнениях.

## 1.2 Расчет электрических нагрузок

«Воспользуемся методом расчетных коэффициентов и нагрузками электроприемников завода.

Все электроприемники (ЭП) группируются по характерным категориям с одинаковыми коэффициентами использования  $K_{И}$  и мощности. В каждой строке указываются ЭП одинаковой мощности» [17].

«При наличии в справочных материалах интервальных значений  $K_{И}$  следует для расчета принимать наибольшее значение. Значения  $K_{И}$  должны быть определены из условия, что вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для характерной категории ЭП должна быть не более 0,05» [6],[17].

«Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т. е. с разными  $K_{И}$ ), средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_{Иср} = \frac{\sum_1^n K_{И} \cdot P_{Н}}{\sum_1^n P_{Н}}, \quad (1)$$

где  $n$  – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу;

$P_{Н}$  – групповая номинальная (установленная) активная мощность» [17].

«Эффективное число электроприемников:

$$n_{Э} = \frac{(\sum P_{Н})^2}{\sum n p_{Н}^2}, \quad (2)$$

где  $p_{Н}$  – номинальная (установленная) мощность одного электроприемника.

Расчетное значение эффективного числа электроприемников округляется до ближайшего меньшего целого числа» [17],[25].

Таблица 1 – Нагрузка завода по производству климатических систем и кондиционеров

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	$n$	$P_{min}$	$P_{max}$	$P_H$	$K_{и}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$\frac{K_{и} \cdot P_H}{tg\varphi}$	$n_{э}$	$K_P$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
			кВт													
1.1	Системы чиллер-фанкойлы	13	13	25	208	0,28	0,56	1,48	58,24	86,2	–	–	–	–	–	–
	VRF-системы	6	5	7	33	0,58	0,86	0,59	19,14	11,29	–	–	–	–	–	–
	Прецизионные кондиционеры	3	5	7	17	0,58	0,86	0,59	9,86	5,82	–	–	–	–	–	–
	Компрессорные блоки	5	5	9	30	0,56	0,88	0,54	16,8	9,07	–	–	–	–	–	–
	Конденсаторные блоки	6	5	9	36	0,56	0,88	0,54	20,16	10,89	–	–	–	–	–	–
	Цех оборудования центрального кондиционирования	33	–	–	324	0,38	0,71	0,99	124,2	123,27	31	1	123,12	121,89	173,25	263
2.1	Здание учета тепловой энергии и воды	23	5	11	150	0,71	0,82	0,7	106,5	74,55	23	1	106,50	74,55	130,00	198
3.1	Бытовые осушители воздуха	13	4	28	130	0,14	0,53	1,6	18,2	29,12	–	–	–	–	–	–
	Воздушные очистители	16	6	35	212	0,64	0,83	0,67	135,68	90,91	–	–	–	–	–	–
	Бытовые увлажнители воздуха	16	6	35	212	0,64	0,83	0,67	135,68	90,91	–	–	–	–	–	–
	Цех микроклиматического оборудования	45	–	–	554	0,52	0,81	0,73	289,56	210,94	36	1	288,08	210,30	356,67	542

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	<i>n</i>	<i>P<sub>min</sub></i>	<i>P<sub>max</sub></i>	<i>P<sub>н</sub></i>	<i>K<sub>и</sub></i>	<i>cosφ</i>	<i>tgφ</i>	<i>K<sub>и</sub>·P<sub>н</sub></i>	<i>K<sub>и</sub>·P<sub>н</sub>· tgφ</i>	<i>n<sub>э</sub></i>	<i>K<sub>р</sub></i>	<i>P<sub>р</sub></i>	<i>Q<sub>р</sub></i>	<i>S<sub>р</sub></i>	<i>I<sub>р</sub></i>
			кВт													
4.1	Фильтры для увлажнителей воздуха	22	9	86	622	0,17	0,52	1,64	67,5	114,75	–	–	–	–	–	–
	Картриджи для очистителей воздуха	17	10	16	196	0,83	0,73	0,94	100	90	–	–	–	–	–	–
	Мойки воздуха	13	10	16	150	0,83	0,73	0,94	100	90	–	–	–	–	–	–
	Цех расходных материалов и запчастей микроклиматического оборудования	52	–	–	968	0,28	0,67	1,10	267,5	294,75	49	1	271,04	298,14	402,93	612
5.1	Водяные тепловентиляторы	14	5	18	116	0,22	0,62	1,27	25,52	32,41	–	–	–	–	–	–
	Калориферы	31	8	13	287	0,57	0,82	0,7	163,59	114,51	–	–	–	–	–	–
	Цех водяного теплового оборудования	45	–	–	403	0,47	0,79	0,78	189,11	146,92	15	1	189,41	147,74	240,22	365
6.1	Инфракрасные обогреватели	9	6	24	95	0,34	0,52	1,64	32,3	52,97	–	–	–	–	–	–
	Потолочные обогреватели	24	15	103	888	0,74	0,74	0,91	657,12	597,98	–	–	–	–	–	–
	Цех инфракрасных нагревателей	33	–	–	983	0,70	0,73	0,94	689,42	650,95	43	1	688,10	646,81	944,38	1435

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	$n$	$P_{min}$	$P_{max}$	$P_H$	$K_{и}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$K_{и} \cdot P_H \cdot$ $tg\varphi$	$n_{э}$	$K_P$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
			кВт													
7.1	Тепловые пушки	30	8	108	990	0,18	0,56	1,48	178,2	263,74	–	–	–	–	–	–
	Тепловые завесы	60	10	52	1230	0,66	0,83	0,67	811,8	543,91	–	–	–	–	–	–
	Цех воздушных обогревателей	90	–	–	2220	0,45	0,77	0,82	990	807,65	47	1	999,00	819,18	1291,92	1963
8.1	Бытовые вентиляционные установки	96	10	182	5088	0,37	0,72	0,96	1882,56	1807,26	–	–	–	–	–	–
	Сменные фильтры и расходные материалы	61	8	66	1373	0,82	0,83	0,67	1125,86	754,33	–	–	–	–	–	–
	Цех вентиляционных установок	157	–	–	6461	0,47	0,76	0,85	3008,42	2561,59	72	1	3036,67	2581,17	3985,45	6055
9.1	Блочные вентиляционные установки	88	9	108	2970	0,22	0,48	1,83	653,4	1195,72	–	–	–	–	–	–
	Контроллеры и автоматика	148	10	27	2109	0,73	0,77	0,83	1539,57	1277,84	–	–	–	–	–	–
	Цех оборудования для систем вентиляции	236	–	–	5079	0,43	0,66	1,13	2192,97	2473,56	44	1	2183,97	2467,89	3295,48	5007

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	n	$P_{min}$	$P_{max}$	$P_H$	$K_{и}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_H$	$K_{и} \cdot P_H \cdot$ $tg\varphi$	$n_{э}$	$K_P$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
			кВт			–	–	–	кВт	квар	–	–	кВт	квар	кВА	А
10.1	Пароувлажнители	98	6	121	3406	0,23	0,57	1,44	783,38	1128,07	–	–	–	–	–	–
	Осушители для бассейнов	143	6	54	2574	0,67	0,82	0,7	1724,58	1207,21	–	–	–	–	–	–
	Цех систем регулирования влажности	241	–	–	5980	0,42	0,73	0,93	2507,96	2335,28	50	1	2511,60	2335,79	3429,88	5211
11.1	Вентиляторы дымоудаления и взрывозащищенные	34	8	82	901	0,32	0,67	1,11	288,32	320,04	–	–	–	–	–	–
	Противопожарные клапаны	57	6	48	941	0,77	0,82	0,7	724,57	507,2	–	–	–	–	–	–
	Промышленные вентиляторы	74	8	98	2257	0,73	0,77	0,83	1647,61	1367,52	–	–	–	–	–	–
	Цех вентиляционного оборудования промышленного исполнения	165	–	–	4099	0,65	0,77	0,82	2660,5	2194,76	66	1	2664,35	2184,77	3445,57	5235
12.1	Гибкие воздуховоды	16	8	34	232	0,24	0,63	1,23	55,68	68,49	–	–	–	–	–	–
	Решетки и диффузоры	8	4	5	34	0,69	0,82	0,7	23,46	16,42	–	–	–	–	–	–
	Цех производства вентиляционных коммуникаций	24	–	–	266	0,30	0,68	1,07	79,14	84,91	17	1,16	92,57	99,05	135,57	206
13.1	Заводуправление	36	6	64	738	0,52	0,52	1,64	383,76	629,37	36	1	383,76	629,37	737,14	1120

Продолжение таблицы 1

По тре бите ль	Наименование цехов и зданий	<i>n</i>	<i>P<sub>min</sub></i>	<i>P<sub>max</sub></i>	<i>P<sub>н</sub></i>	<i>K<sub>и</sub></i>	<i>cosφ</i>	<i>tgφ</i>	<i>K<sub>и</sub>·P<sub>н</sub></i>	<i>K<sub>и</sub>·P<sub>н</sub>· tgφ</i>	<i>n<sub>э</sub></i>	<i>K<sub>р</sub></i>	<i>P<sub>р</sub></i>	<i>Q<sub>р</sub></i>	<i>S<sub>р</sub></i>	<i>I<sub>р</sub></i>
			кВт													
14.1	Складское отделение и приемка	16	5	9	96	0,73	0,82	0,7	70,08	49,06	16	1	70,08	49,06	85,55	130
15.1	Насосное отделение	8	5	9	48	0,73	0,48	1,83	35,04	64,12	–	–	–	–	–	–
	Защитная автоматика	18	6	9	122	0,56	0,72	0,96	68,32	65,59	–	–	–	–	–	–
	Тепловой пункт собственных нужд завода	26	–	–	170	0,61	0,62	1,25	103,36	129,71	11	1	103,70	129,63	166,00	252
16.1	Фасовка теплоизоляционных материалов	8	5	13	56	0,34	0,48	1,83	19,04	34,84	–	–	–	–	–	–
	Трубопрокат	28	6	11	203	0,57	0,88	0,54	115,71	62,48	–	–	–	–	–	–
	Изготовление воздуховодов	13	5	13	91	0,35	0,48	1,83	31,85	58,29	–	–	–	–	–	–
	Цех материалов для монтажа	49	–	–	350	0,48	0,73	0,93	166,6	155,61	16	1	168,00	156,24	229,42	349
17.1	Установка сжатого воздуха и фреона	18	6	25	194	0,22	0,63	1,23	42,68	52,5	–	–	–	–	–	–
	Инструментальная	11	5	10	69	0,67	0,82	0,7	46,23	32,36	–	–	–	–	–	–
	Отделение заправки и ремонта	29	–	–	263	0,34	0,72	0,95	88,91	84,86	16	1	89,42	84,95	123,34	187
–	–	1300	4	182	29104	–	–	–	13918	13008	–	–	13969	13037	19173	29130

«В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяется коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$ . Коэффициент расчетной мощности необходим для нахождения расчетной активной мощности (таблица 1)» [17].

«Расчетная активная мощность:

$$P_p = K_p \sum K_{И} P_{Н}, \quad (3)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной мощности;

$K_{И}$  – коэффициент использования;

$P_{Н}$  – номинальная мощность, кВт» [17].

«По полученному для каждой группы электроприемников значению  $P_p$  определяется реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, \quad (4)$$

где  $tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [17].

«Для питающих сетей напряжением до 1 кВ при  $n_{Э} \leq 10$ , значение расчетной реактивной мощности необходимо умножить на коэффициент 1,1 (п.3.2.8.1)» [17].

### 1.3 Расчет освещения

«При расчете нагрузок необходимо учитывать нагрузку искусственного внутрицехового освещения завода по производству климатических систем и кондиционеров, а также уличное освещение территории» [24].

«Нагрузку освещения завода по производству климатических систем и кондиционеров рассчитаем по методу удельной мощности:

$$P_{\text{осв}} = F_{\text{осв}} \cdot S_{\text{осв}} \cdot K_{\text{осв}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $F_{\text{осв}}$  – площадь освещения, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{осв}}$  – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_{\text{осв}}$  – коэффициент спроса освещения» [6].

«Минимальная освещенность цехов завода по производству климатических систем и кондиционеров составляет 200 лк» [6].

«Данной освещенности соответствует значение удельной мощности 10 Вт/м<sup>2</sup>. Значения удельной мощности цехов завода по производству климатических систем и кондиционеров представлены в таблице 2» [18].

«Коэффициент мощности устанавливаемых светодиодных светильников составляет 0,93» [9].

«Внешний вид и кривая силы света (КСС) данных светильников представлены на рисунке 1 и 2 соответственно» [4].

Таблица 2 – Осветительная нагрузка завода по производству климатических систем и кондиционеров

Потребитель	Наименование	$F_{осв}$	$\lambda$	$K_{осв}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{осв}$	$Q_{осв}$	$S_{осв}$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$P'_p$	$Q'_p$	$S'_p$
		м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1.1	Цех оборудования центрального кондиционирования	1228	17	0,83	0,95	0,33	17,3	5,7	18,2	123,1	121,9	173,3	140,4	127,6	191,5
2.1	Здание учета тепловой энергии и воды	823	13	0,6	0,95	0,33	6,4	2,1	6,7	106,5	74,6	130,0	112,9	76,7	136,7
3.1	Цех микроклиматического оборудования	781	17	0,86	0,95	0,33	11,4	3,8	12,0	288,1	210,3	356,7	299,5	214,1	368,7
4.1	Цех расходных материалов и запчастей микроклиматического оборудования	7123	13	0,62	0,95	0,33	57,4	18,9	60,4	271,0	298,1	402,9	328,4	317,0	463,3
5.1	Цех водяного теплового оборудования	1292	17	0,62	0,95	0,33	13,6	4,5	14,3	189,4	147,7	240,2	203,0	152,2	254,5
6.1	Цех инфракрасных нагревателей	1068	17	0,85	0,95	0,33	15,4	5,1	16,2	688,1	646,8	944,4	703,5	651,9	960,6

Продолжение таблицы 2

Потребитель	Наименование	$F_{\text{осв}}$	$\lambda$	$K_{\text{осв}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{осв}}$	$Q_{\text{осв}}$	$S_{\text{осв}}$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$P'_p$	$Q'_p$	$S'_p$
		м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
7.1	Цех воздушных обогревателей	6396	17	0,95	0,95	0,33	103	34,1	108,8	999,0	819,2	1291,9	1102,3	853,3	1400,7
8.1	Цех вентиляционных установок	10754	17	0,96	0,95	0,33	176	57,9	184,8	3036,7	2581,2	3985,5	3212,2	2639,1	4170,3
9.1	Цех оборудования для систем вентиляции	9968	21	0,94	0,95	0,33	197	64,9	207,2	2184,0	2467,9	3295,5	2380,8	2532,8	3502,7
10.1	Цех систем регулирования влажности	18372	17	0,97	0,95	0,33	303	100	319,1	2511,6	2335,8	3429,9	2814,6	2435,8	3749,0
11.1	Цех вентиляционного оборудования промышленного исполнения	9874	17	0,95	0,95	0,33	159	52,6	168,0	2664,4	2184,8	3445,6	2823,9	2237,4	3613,6
12.1	Цех производства вентиляционных коммуникаций	1614	17	0,96	0,95	0,33	26,3	8,7	27,7	92,6	99,1	135,6	118,9	107,8	163,3

Продолжение таблицы 2

Потребитель	Наименование	$F_{\text{осв}}$	$\lambda$	$K_{\text{осв}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{осв}}$	$Q_{\text{осв}}$	$S_{\text{осв}}$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$P'_p$	$Q'_p$	$S'_p$
		м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	–	–	–	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
13.1	Заводоуправление	3848	15	0,95	0,95	0,33	54,8	18,1	57,7	383,8	629,4	737,1	438,6	647,5	794,8
14.1	Складское отделение и приемка	3196	19	0,94	0,95	0,33	57,1	18,8	60,1	70,1	49,1	85,6	127,2	67,9	145,7
15.1	Тепловой пункт собственных нужд завода	732	19	0,92	0,95	0,33	12,8	4,2	13,5	103,7	129,6	166,0	116,5	133,8	179,5
16.1	Цех материалов для монтажа	1747	19	0,82	0,95	0,33	27,2	9,0	28,7	168,0	156,2	229,4	195,2	165,2	258,1
17.1	Отделение заправки и ремонта	1152	21	0,62	0,95	0,33	15,0	5,0	15,8	89,4	85,0	123,3	104,4	90,0	139,1
Всего		79968	–	–	0,95	0,33	1253	413	1319	13970	13037	19173	15223	13450	20492

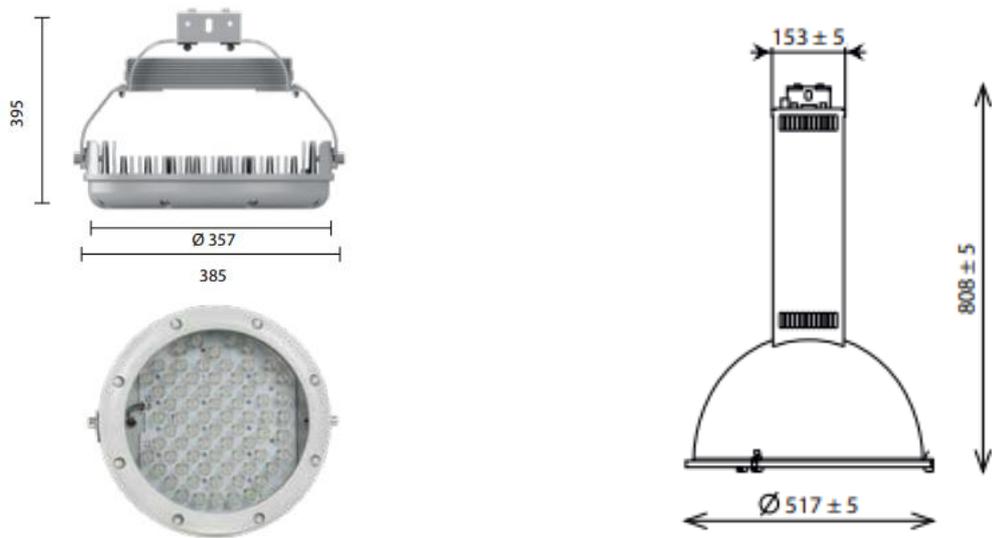


Рисунок 1 – Конструкция светильников

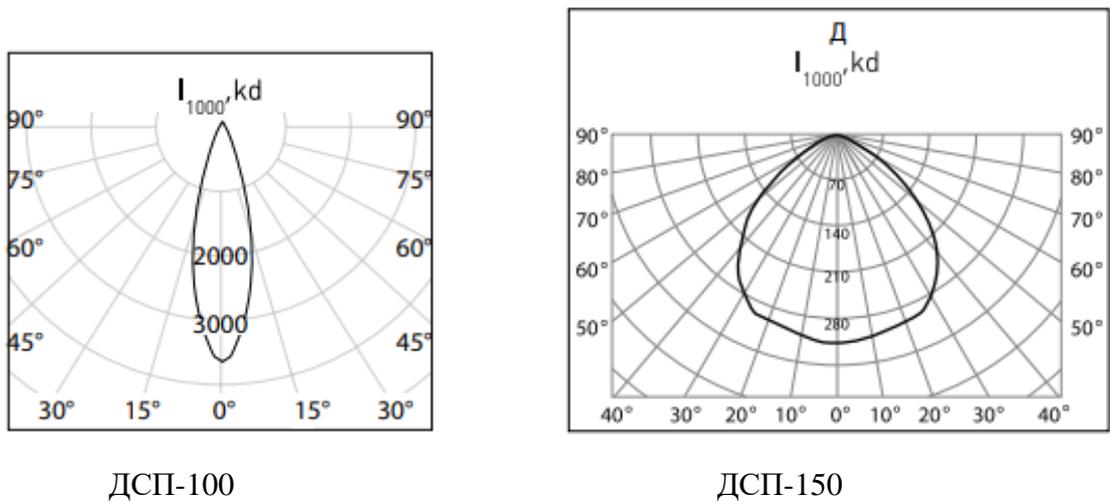


Рисунок 2 – КСС светильников

Выводы по разделу.

Завод по производству климатических систем и кондиционеров использует осветительную нагрузку 1319 кВА. Полная расчетная мощность составляет 20492 кВА.

## 2 Выбор схемы электроснабжения

### 2.1 Расчет числа и мощности трансформаторов

«Питание цехов завода осуществляется от внешних электросетей напряжением 110 кВ.

Напряжение сети 380/220В при глухо-заземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S» [7].

«Мощность трансформатора для каждой ТП определим по методу удельной плотности нагрузок» [25].

«Удельная мощность:

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{S'_{\text{расч}}}{F_3}, \quad (6)$$
$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{20297}{575 \cdot 430} = 0,076 \text{ кВА/м}^2,$$

где  $S'_{\text{расч}}$  – полная расчетная мощность цехов завода по производству климатических систем и кондиционеров, кВА;

$F_3$  – площадь завода по производству климатических систем и кондиционеров, м<sup>2</sup>» [14].

«Коэффициент загрузки принимается равным 0,7, так как преобладает первая категория надежности» [14].

«Для питания отдельных цехов необходимо использование двух и более подстанций. Во время аварийных ситуаций рабочие трансформаторы должны покрывать 40% перегрузку во время отключения одного из трансформаторов» [14],[26].

«Для электроснабжения потребителей завода по производству климатических систем и кондиционеров требуется принять к установке девять ТП с двумя трансформаторами мощностью 1250 кВА» [14].

«Для снижения доли реактивной нагрузки необходима установка конденсаторных батарей. Теперь проведем расчет их мощности» [24].

«Мероприятия по компенсации реактивной мощности и расстановка компенсирующих устройств должны решаться в увязке со схемой электроснабжения всего завода, требованиями электроснабжающей организации и на основе технико-экономического расчета» [13].

«Наибольшая реактивная мощность  $Q$ , которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 6-10 кВ без увеличения числа трансформаторов:

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot k_{з.тр} \cdot S_{тр})^2 - P'_{расч}{}^2}, \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 13634^2} = 2492 \text{ квар.}$$

где  $P'_{расч}$  – активная нагрузка с учетом освещения, кВт;

$S_{тр}$  – мощность трансформатора, кВА.

Мощность одной конденсаторной батареи:

$$Q_{бк.сум} = \sum Q'_{расч} - Q, \quad (8)$$

$$Q_{бк.сум} = 13428 - 2492 = 10265 \text{ квар,}$$

$$Q_{бк} = \frac{Q_{бк.сум}}{N}, \quad (9)$$

$$Q_{бк} = \frac{10265}{18} = 570,3 \text{ квар.}$$

где  $Q'_{расч}$  – реактивная нагрузка с учетом освещения, квар.

Смонтируем на ТП завода по производству климатических систем и кондиционеров УКРМ-0,4-650-50. Суммарная мощность УКРМ составляет 10700 квар» [11],[12].

«Согласно методике расчета по удельной плотности нагрузки, необходимо определить центры электрических нагрузок (ЦЭН)» [23].

«Правильный выбор места расположения источников питания имеет большое значения для построения рациональной распределительной сети. ПС всех мощностей, напряжений и токов должны быть максимально приближены к ЦЭН, подключаемых к ним. Это обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели по расходу проводниковых материалов, потерям электроэнергии в распределительной сети, т.е. обеспечивает минимум производственных затрат. Чтобы выбрать наиболее выгодный вариант размещения ПС на территории предприятия, строят картограммы нагрузок» [21].

«ЦЭН завода:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i}, \quad (10)$$

где  $S$  – нагрузка  $i$ -го потребителя, кВА;

$x_i, y_i$  – координаты ЦЭН  $i$ -го потребителя» [26].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (11)$$

где  $S$  – расчетная нагрузка  $i$ -го потребителя, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [26].

«Синхронные и асинхронные электродвигатели подключены к шинам ГПП с напряжением 10 кВ. Принципиальная схема подключения представлена на рисунке 2.

Коэффициенты загрузки трансформаторов необходимо вычислить с учетом компенсации. Рассчитанные коэффициенты загрузки представлены в таблице 3. При питании потребителя от нескольких ТП, учитывается отключение только одного трансформатора» [12].

Таблица 3 – ЦЭН завода по производству климатических систем и кондиционеров

Потребитель	Наименование	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$Q_{\text{УКРМ}}$	$S''_{\text{расч}}$	$x_i$	$y_i$	$k_3$	$r_i$
		кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-1.2		1787,7	1539,5	2×750	1787,767	246	485	0,6951	–
1.1	Цех оборудования центрального кондиционирования	140,4	127,6	–	191,5	194	574	–	9,33
2.1	Здание учета тепловой энергии и воды	112,9	76,7	–	136,7	124	514	–	7,88
3.1	Цех микроклиматического оборудования	299,5	214,1	–	368,7	249	534	–	12,95
4.1	Цех расходных материалов и запчастей микроклиматического оборудования	328,4	317,0	–	463,3	144	454	–	14,51
5.1	Цех водяного теплового оборудования	203,0	152,2	–	254,5	349	484	–	10,76
6.1	Цех инфракрасных нагревателей	703,5	651,9	–	960,6	294	459	–	20,9
ТП-2.2, ТП-3.2		3212,2	2639,1	4×650	3212,206	424	389	0,6424	–
8.1	Цех вентиляционных установок	3212,2	2639,1	–	4170,3	424	389	–	43,55
ТП-4.2, ТП-5.2		3483,1	3386,1	4×800	3483,213	184	328,28	0,6966	–
7.1	Цех воздушных обогревателей	1102,3	853,3	–	1400,7	184	389	–	25,24
9.1	Цех оборудования для систем вентиляции	2380,8	2532,8	–	3502,7	184	304	–	39,91

Продолжение таблицы 3

Потребитель	Наименование	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$Q_{\text{УКРМ}}$	$S''_{\text{расч}}$	$x_i$	$y_i$	$k_3$	$r_i$
		кВт	квар	квар	кВА	м	м	–	м
ТП-6.2-ТП-9.2		6739,3	5885,4	8×700	6739,351	325	187	0,6739	–
10.1	Цех систем регулирования влажности	2814,6	2435,8	–	3749	439	224	–	41,29
11.1	Цех вентиляционного оборудования промышленного исполнения	2823,9	2237,4	–	3613,6	184	199	–	40,54
12.1	Цех производства вентиляционных коммуникаций	118,9	107,8	–	163,3	534	114	–	8,62
13.1	Заводоуправление	438,6	647,5	–	794,8	419	114	–	19,01
14.1	Складское отделение и приемка	127,2	67,9	–	145,7	164	29	–	8,14
15.1	Тепловой пункт собственных нужд завода	116,5	133,8	–	179,5	234	29	–	9,03
16.1	Цех материалов для монтажа	195,2	165,2	–	258,1	314	34	–	10,83
17.1	Отделение заправки и ремонта	104,4	90,0	–	139,1	424	44	–	7,95

«Выбор схем (магистральные или радиальные) и конструктивного выполнения (воздушные или кабельные) линий 110 кВ и выше определяется технико-экономическими сопоставлениями с учетом особенностей данного предприятия, электрической нагрузки, взаимного расположения районных подстанций в ГПП, ожидаемой перспективы развития существующей схемы электроснабжения, степени загрязненности атмосферы, возможности прокладки линий к ГПП.

Для питания потребителей завода можно использовать следующие схемы:

- радиальная,
- магистральная» [13].

Определим наиболее эффективную схему расчетным путем.

## 2.2 Технико-экономический расчет схем электроснабжения

Проведем расчет радиальной и магистральной схем с кабелями марки АПвББШп.

«Расчет токов, возникающих в нормальном и аварийном режимах:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n}, \quad (12)$$

где  $n$  – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [14].

«Рассчитаем сечение кабельных линий:

$$F = \frac{I}{j} \quad (13)$$

где  $I$  – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36» [14].

«Для выбранной марки кабеля  $j = 1,6 \text{ А/мм}^2$ , поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5000 часов» [14].

«Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{справ}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}}, \quad (14)$$

где  $I_{\text{справ}}$  – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле, принимаемый по таблице 1.3.7;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее, согласно таблицы 1.3.26. Для двух кабелей принимаем  $k_{\text{п}} = 0,9$ .

$k_t$  – коэффициент поправки на температуру среды, согласно таблицы 1.3.3 ПУЭ. Принимаем равным  $k_t = 1,06$ ;

$k_{\text{ж}}$  – коэффициент поправки на количество жил. Для четырехжильного кабеля принимаем  $k_{\text{ж}} = 0,92$ » [14].

«Резервирование в схеме электроснабжения следует предусматривать так, чтобы все ее элементы, как правило, в рабочем режиме были под нагрузкой, а в послеаварийных режимах использовалась перегрузочная способность электрооборудования и линий электропередач и обеспечивалось функционирование основных производств предприятия» [13].

«При послеаварийном режиме отключен один из кабелей. Поэтому коэффициент прокладки меняет свое значение  $k_{\text{п}} = 1$ » [14].

«Расчетные значения допустимых токов радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Проведем расчет потерь напряжений. Для сетей 10 кВ допустимые потери напряжений составляют не более 5%» [22].

Расчет потерь напряжения важен, поскольку от этого зависит экономическая эффективность электроснабжения потребителей завода.

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_H} l, \quad (15)$$

где  $r_0, x_0$  – активное и индуктивное сопротивления кабеля, Ом/км;

$l$  – длина КЛ, км;

$P, Q$  – активная и реактивная мощность протекающая через КЛ завода» [16].

«Результаты расчетов потерь радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 6 и 7 соответственно, а экономические расчеты схем – в таблицах 8 и 9» [24].

Таблица 4 – Расчет радиальной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$I_{\text{расч}}$	$I_{\text{па}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$I_{\text{справ}}$	$I_{\text{д.расч}}$	$I_{\text{д.па}}$
	кВт	квар	кВА	А		мм <sup>2</sup>		А		
ТП-1.3 - ТП-1.2	1787,70	15,82	1787,77	51,61	103,22	32,26	35	147	129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-2.2	1606,10	1329,77	2085,15	60,19	120,38	37,62	50	192	168,51	187,24
ТП-1.3 - ТП-3.2	1606,10	1329,77	2085,15	60,19	120,38	37,62			168,51	187,24
ТП-1.3 - ТП-4.2	1741,55	14,46	1741,61	50,28	100,56	31,43	35	147	129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-5.2	1741,55	14,46	1741,61	50,28	100,56	31,43			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-6.2	1684,83	5,80	1684,84	48,64	97,28	30,40			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-7.2	1684,83	5,80	1684,84	48,64	97,28	30,40			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-8.2	1684,83	5,80	1684,84	48,64	97,28	30,40			129,02	143,35
ТП-1.3 - ТП-9.2	1684,83	5,80	1684,84	48,64	97,28	30,40			129,02	143,35

Таблица 5 – Расчет магистральной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$I_{\text{расч}}$	$I_{\text{па}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$I_{\text{справ}}$	$I_{\text{д.расч}}$	$I_{\text{д.па}}$
	кВт	квар	кВА	А		мм <sup>2</sup>		А		
ТП-1.3 - ТП-1.2	5649,95	3572,78	6684,81	192,97	385,94	120,61	150	437	383,55	426,16
ТП-1.2 - ТП-2.2	4110,45	2661,80	4897,04	141,37	282,74	88,36	95	310	272,08	302,31
ТП-2.2 - ТП-3.2	2790,90	1743,89	3290,94	95,00	190,00	59,38	70	247	216,79	240,87
ТП-1.3 - ТП-4.2	7800,15	3471,38	8537,73	246,46	492,92	154,04	185	511	448,49	498,33
ТП-4.2 - ТП-5.2	6107,10	2981,71	6796,12	196,19	392,38	122,62	150	437	383,55	426,16
ТП-5.2 - ТП-6.2	4414,05	2462,57	5054,51	145,91	291,82	91,19	95	310	272,08	302,31
ТП-6.2 - ТП-7.2	2942,70	1641,72	3369,68	97,27	194,54	60,79	70	247	216,79	240,87
ТП-7.2 - ТП-8.2	1471,35	820,86	1684,84	48,64	97,28	30,40	35	147	129,02	143,35
ТП-3.2 - ТП-9.2	1471,35	820,86	1684,84	48,64	97,28	30,40	35	147	129,02	143,35

Таблица 6 – Потери напряжения радиальной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$r_{\text{кЛ}}$	$x_{\text{кЛ}}$	$l$	$\Delta U_{\text{расч}}$	$\Delta U_{\text{па}}$
	кВт	квар	кВА	мм <sup>2</sup>	Ом/км		м	%	
ТП-1.3 - ТП-1.2	1787,70	15,82	1787,77	35	0,943	0,088	305	2,57%	5,14%
ТП-1.3 - ТП-2.2	1606,10	1329,77	2085,15	50	0,660	0,087	154	0,91%	1,82%
ТП-1.3 - ТП-3.2	1606,10	1329,77	2085,15				175	1,03%	2,06%
ТП-1.3 - ТП-4.2	1741,55	14,46	1741,61	35	0,943	0,088	254	2,09%	4,18%
ТП-1.3 - ТП-5.2	1741,55	14,46	1741,61				155	1,27%	2,54%
ТП-1.3 - ТП-6.2	1684,83	5,80	1684,84				155	1,23%	2,46%
ТП-1.3 - ТП-7.2	1684,83	5,80	1684,84				77	0,61%	1,22%
ТП-1.3 - ТП-8.2	1684,83	5,80	1684,84				77	0,61%	1,22%
ТП-1.3 - ТП-9.2	1684,83	5,80	1684,84				77	0,61%	1,22%

Таблица 7 – Потери напряжения магистральной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$r_{\text{кЛ}}$	$x_{\text{кЛ}}$	$l$	$\Delta U_{\text{расч}}$	$\Delta U_{\text{па}}$
	кВт	квар	кВА	мм <sup>2</sup>	Ом/км		м	%	
ТП-1.3 - ТП-1.2	5649,95	3572,78	6684,81	150	0,220	0,081	304	2,33%	4,66%
ТП-1.2 - ТП-2.2	4110,45	2661,80	4897,04	95	0,347	0,084	14	0,12%	0,24%
ТП-2.2 - ТП-3.2	2790,90	1743,89	3290,94	70	0,471	0,086	155	1,13%	2,26%
ТП-1.3 - ТП-4.2	7800,15	3471,38	8537,73	185	0,178	0,080	75	0,62%	1,24%
ТП-4.2 - ТП-5.2	6107,10	2981,71	6796,12	150	0,220	0,081	104	0,82%	1,64%
ТП-5.2 - ТП-6.2	4414,05	2462,57	5054,51	95	0,347	0,084	156	1,36%	2,72%
ТП-6.2 - ТП-7.2	2942,70	1641,72	3369,68	70	0,471	0,086	204	1,56%	3,12%
ТП-7.2 - ТП-8.2	1471,35	820,86	1684,84	35	0,943	0,088	25	0,18%	0,36%
ТП-3.2 - ТП-9.2	1471,35	820,86	1684,84	35	0,943	0,088	25	0,18%	0,36%

Таблица 8 – Стоимость монтажа радиальной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$l$	$p_k$	$З_k$	$З_{\text{пр}}$	$З_{\text{раз}}$	$З_3$	$З$
	кВт	квар	кВА	мм <sup>2</sup>	м	руб/м	тыс.руб				
ТП-1.3 - ТП-1.2	1787,70	15,82	1787,77	35	305	435	265,35	140,30	88,45	54,90	549,00
ТП-1.3 - ТП-2.2	1606,10	1329,77	2085,15	50	154	510	157,08	70,84	44,66	27,72	300,30
ТП-1.3 - ТП-3.2	1606,10	1329,77	2085,15	50	175	510	178,50	80,50	50,75	31,50	341,25
ТП-1.3 - ТП-4.2	1741,55	14,46	1741,61	35	254	435	220,98	116,84	73,66	45,72	457,20
ТП-1.3 - ТП-5.2	1741,55	14,46	1741,61	35	155	435	134,85	71,30	44,95	27,90	279,00
ТП-1.3 - ТП-6.2	1684,83	5,80	1684,84	35	155	435	134,85	71,30	44,95	27,90	279,00
ТП-1.3 - ТП-7.2	1684,83	5,80	1684,84	35	77	435	66,99	35,42	22,33	13,86	138,60
ТП-1.3 - ТП-8.2	1684,83	5,80	1684,84	35	77	435	66,99	35,42	22,33	13,86	138,60
ТП-1.3 - ТП-9.2	1684,83	5,80	1684,84	35	77	435	66,99	35,42	22,33	13,86	138,60
Итоговые значения	–	–	–	–	–	–	1292,58	657,34	414,41	257,22	2621,55

Таблица 9 – Стоимость монтажа магистральной схемы

Линия	$P'_{\text{расч}}$	$Q'_{\text{расч}}$	$S''_{\text{расч}}$	$F_{\text{ном}}$	$l$	$p_k$	$З_k$	$З_{\text{пр}}$	$З_{\text{раз}}$	$З_3$	$З$
	кВт	квар	кВА	мм <sup>2</sup>	м	руб/м	тыс.руб				
ТП-1.3 - ТП-1.2	5649,95	3572,78	6684,81	150	304	1010	614,08	139,84	88,16	54,72	896,80
ТП-1.2 - ТП-2.2	4110,45	2661,80	4897,04	95	14	735	20,58	6,44	4,06	2,52	33,60
ТП-2.2 - ТП-3.2	2790,90	1743,89	3290,94	70	155	610	189,10	71,30	44,95	27,90	333,25
ТП-1.3 - ТП-4.2	7800,15	3471,38	8537,73	185	75	1185	177,75	34,50	21,75	13,50	247,50
ТП-4.2 - ТП-5.2	6107,10	2981,71	6796,12	150	104	1010	210,08	47,84	30,16	18,72	306,80
ТП-5.2 - ТП-6.2	4414,05	2462,57	5054,51	95	156	735	229,32	71,76	45,24	28,08	374,40
ТП-6.2 - ТП-7.2	2942,70	1641,72	3369,68	70	204	610	248,88	93,84	59,16	36,72	438,60
ТП-7.2 - ТП-8.2	1471,35	820,86	1684,84	35	25	435	21,75	11,50	7,25	4,50	45,00
ТП-3.2 - ТП-9.2	1471,35	820,86	1684,84	35	25	435	21,75	11,50	7,25	4,50	45,00
Итоговые значения	–	–	–	–	–	–	1733,29	488,52	307,98	191,16	2720,95

«Расчитанные схемы соответствуют требованиям, касаемых допустимых потерь напряжения» [3].

«Расходы на монтаж кабельных сетей состоят из стоимости кабельной продукции и монтажных работ. Капиталовложения необходимые для прокладки кабельных сетей:

$$З = З_{\text{кл}} + З_{\text{пр}} + З_{\text{раз}} + З_{\text{з}} = (K_{\text{кл}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{раз}} + K_{\text{з}}) \cdot l \quad (16)$$

где  $K_{\text{кл}}$  – стоимость закупки погонного метра кабеля, руб/м;

$K_{\text{пр}}$  – стоимость прокладки погонного метра кабеля, руб/м;

$K_{\text{раз}}$  – стоимость разработки грунта для траншеи, руб/м;

$K_{\text{з}}$  – стоимость засыпки, руб/м» [10],[19].

Выводы по разделу.

Электроснабжение цехов завода по производству климатических систем и кондиционеров принято от  $9 \times (2 \times \text{ТМГ}-1250/10/0,4)$  с компенсацией реактивной мощности по радиальной схеме стоимость монтажа, которой составляет 2622 тыс. руб.

### 3 Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования

#### 3.1 Определение токов короткого замыкания точек цепи

«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с  $S_c=4000$  МВА. Базисное напряжение  $U_6=10,5$  кВ, базисная мощность  $S_6=1000$  МВА» [5].  
Схема ГПП представлена на рисунке 3.

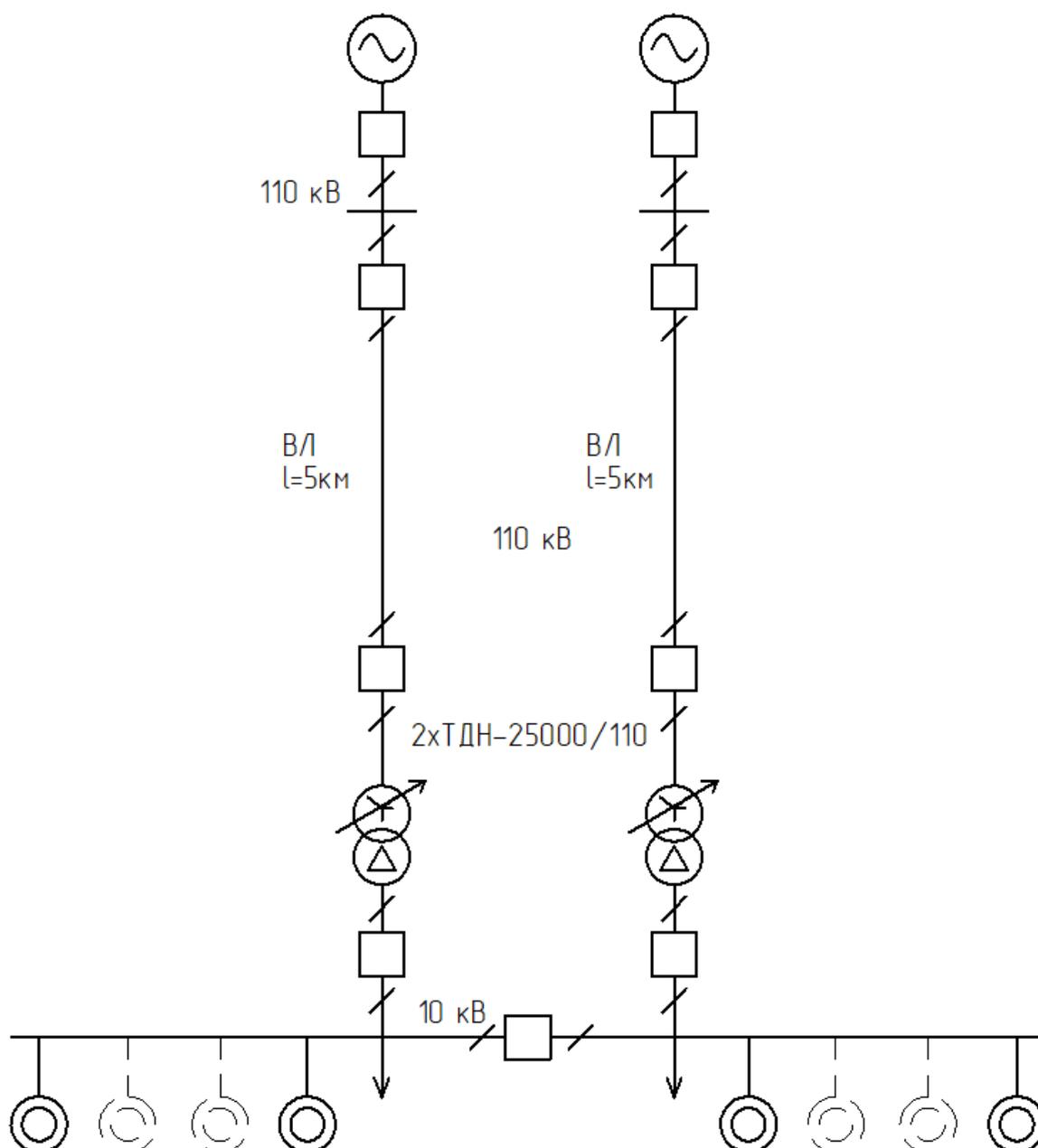


Рисунок 3 – Схема ГПП

Отразим схему замещения ГПП (рисунок 4).

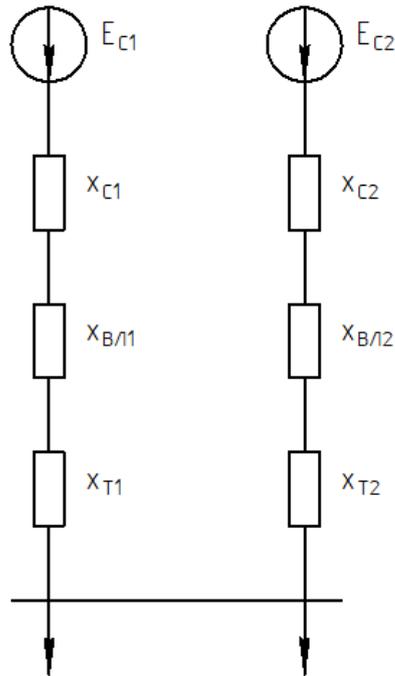


Рисунок 4 – Схема замещения

«Базисный ток ступеней напряжения 10 кВ и 110 кВ:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}, \quad (17)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА},$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}.$$

Мощность трансформаторов ГПП с учетом перегрузки:

$$S_{\text{тр.гпп}} = \frac{S''_{\text{расч}}}{0,7 \cdot n_{\text{тр}}}, \quad (18)$$

$$S_{\text{тр.гпп}} = \frac{34705,33}{0,7 \cdot 2} = 24790 \text{ МВА}.$$

где  $S''_{\text{расч}}$  – полная мощность с учетом компенсации, кВА.

$n_{\text{тр}}$  – количество трансформаторов.

В результате расчета выбираем 2×ТДН-25000/110, коэффициент загрузки  $k_3 = 0,69$ » [2].

«Каждый из трансформаторов ГПП подключим через провод АС150/24 длиной 16 км» [10].

«Сопротивление воздушной линии (ВЛ) в Ом:

$$r_{\text{ВЛ}} = r_{\text{уд}} \cdot l_{\text{ВЛ}}, \quad (19)$$

$$r_{\text{ВЛ}} = 0,204 \cdot 6 = 1,224 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{уд}}$  – удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

$l_{\text{ВЛ}}$  – длина ВЛ, км.

Сопротивление ВЛ в о.е.:

$$x_{\text{бВЛ}} = r_{\text{ВЛ}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ВН}}^2}, \quad (20)$$

$$x_{\text{бВЛ}} = 1,224 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,0926 \text{ о.е.},$$

где  $U_{\text{ВН}}$  – напряжение ВЛ, кВ.

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{\text{бс}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}}, \quad (21)$$

$$x_{\text{бс}} = \frac{1000}{1500} = 0,6667 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{\text{бТ}} = \frac{S_{\text{б}} U_k}{100 \cdot S_{\text{Тр}}}, \quad (22)$$

$$x_{\text{бТ}} = \frac{1000 \cdot 10,5}{100 \cdot 25} = 4,2 \text{ о.е.},$$

где  $U_k$  – напряжение короткого замыкания (КЗ), %.

Эквивалентное сопротивление схемы:

$$x_{бэ} = \frac{x_{бс} + x_{бвл} + x_{бт}}{2}, \quad (23)$$

$$x_{бэ} = \frac{0,6667 + 0,0926 + 4,200}{2} = 2,4796 \text{ о.е.}$$

В итоге принимаем, что ЭДС  $E_{вн} = E_{т} = 1,0$  о.е.,  $x_{вн} = 2,48$  о.е. (рисунок 5), для ЭДС двигателя –  $E_{дв0} = 1,1$  о.е.» [2],[5].

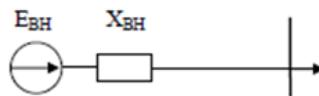


Рисунок 5 – Конечная схема замещения

«Проведем расчет сопротивления от точки КЗ до шин ТП, представив схему на рисунке 6» [2].

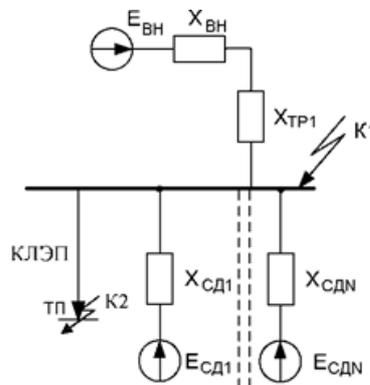


Рисунок 6 – Короткозамкнутая цепь

«Сверхпереходный ток сети внешнего электроснабжения:

$$I''_{вн} = \frac{E''_{вн} I_{б}}{x_{вн} + x_{доп}} = \frac{E''_{вн}}{x_{\Sigma}} \cdot I_{б}, \quad (24)$$

где  $x_{доп}$  – сопротивление участка короткозамкнутой цепи.

Получаем  $I''_{ВН} = 22,18 \text{ кА}$  [5].

«Эквивалентное сопротивление электродвигателей:

$$x_{дво} = \frac{1}{\sum \frac{1}{x_{сДi}} + \sum \frac{1}{x_{АДi}}}, \quad (25)$$

$$x_{дво} = \frac{1}{\frac{1}{92,52} + \frac{1}{52,52} + \frac{1}{7,62} + \frac{1}{94,60}} = 5,84 \text{ о.е.}$$

Сверхпереходный ток с учетом подпитки электродвигателей:

$$I''_{дво} = \frac{E''_{дво} I_6}{x_{дво}}, \quad (26)$$

$$I''_{дво} = \frac{1,1 \cdot 55}{5,84} = 10,36 \text{ кА.}$$

По итогам проведенных преобразований получаем схему с точкой КЗ между внешними сетями и электродвигателями (рисунок 7).

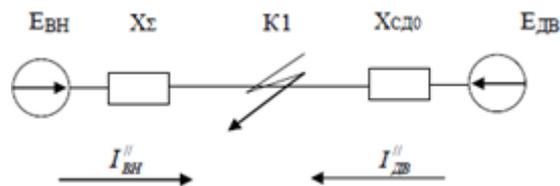


Рисунок 7 – Схема КЗ для точки К1

Сверхпереходное значение трехфазного тока КЗ:

$$I''_{К1} = I''_{ВН} + I''_{дво}, \quad (27)$$

$$I''_{К1} = I''_{ВН} + I''_{ДВ} = 22,18 + 10,36 = 32,54 \text{ кА.}$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд} = k_{уд} \sqrt{2} I''_{ВН} + k_{уд.дв} \sqrt{2} I''_{дв0}, \quad (28)$$

$$i_{уд} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 22,18 + 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,37 = 54,81 \text{ кА},$$

где  $k_{уд}$  и  $k_{уд.дв}$  – ударные коэффициенты, определяемые по расчетным кривым» [5].

«Рассчитаем КЗ в точке К2. Кабельная линия 0,4 км, с  $x_{КЛ1} = 0,213$  о.е.,  $r_{КЛ1} = 11,11$  о.е.

Ток КЗ в точке К2 равен:

$$I_{n0} = \frac{E_6}{\sqrt{x_{КЛ1}^2 + r_{КЛ1}^2}} \cdot I_6, \quad (29)$$

$$I_{n0} = \frac{1}{\sqrt{0,213^2 + 11,11^2}} \cdot 55 = 4,95 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{уд}, \quad (30)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,95 \cdot 1,4 = 9,8 \text{ кА}.$$

На стороне до 1 кВ при расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления элементов цепи. Выберем точки К3, К4» [2].

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными  $r_{кв} = 0,25$  мОм,  $x_{кв} = 0,1$  мОм. Активное сопротивление контактов  $r_{к} = 0,1$  мОм. Сопротивление автоматического выключателя  $r_{ав} = 0,25$  мОм,  $x_{ав} = 0,1$  мОм» [2].

«Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_c}. \quad (31)$$

Сопротивления трансформатора:

$$r_T = \frac{P_K \cdot U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{Тр}}^2} \cdot 10^6, \quad (32)$$

$$x_T = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_K}{S_{\text{Тр}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{Тр}}} \cdot 10^4 \text{Ю} \quad (33)$$

Сопротивление цепи до точки КЗ:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ2}} + r_T + r_K + r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}}, \quad (34)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ2}} + x_T + x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_c, \quad (35)$$

где  $x_{\text{КЛ2}}$  и  $r_{\text{КЛ2}}$  – сопротивления кабельной линии» [2],[25].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей:

$$I_{n0} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм2}}^2 + x_{\text{сумм2}}^2)}}. \quad (36)$$

Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi = \arctg \left( \frac{x_{\text{сумм2}}}{r_{\text{сумм2}}} \right). \quad (37)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi}. \quad (38)$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x_{1\text{сумм}}}{r_{1\text{сумм}} \cdot \omega_c}. \quad (39)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{\text{уд}} = \left( 1 + \sin\varphi \cdot e^{-\frac{t_{\text{уд}}}{T_a}} \right). \quad (40)$$

Ударный ток определяется по формуле 30 (таблица 10)» [2].

Таблица 10 – Расчет токов КЗ

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	$S$	$l$	$u_k$	$r^{*(б)}$	$x^{*(б)}$	$I_{n0}$	$T_a$	$\varphi$	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	м	%	о.е.	о.е.	кА	$10^{-3}$ с	рад	$10^{-3}$ с	–	кА
К-1	Система	115	4000	–	–	0,005	0,250	–	–	–	–	–	–
	ВЛ от системы до ГПП	115	–	16000	–	0,091	0,363	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	115	–	–	–	0,096	0,613	8,091	323,653	1,415	9,504	1,959	22,416
К-2	Приведенное сопротивление точки КЗ	10,5	–	–	–	0,800	5,110	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор	115/10,5	25	–	10,5	0,004	0,071	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	0,804	5,181	10,487	326,624	1,417	9,510	1,960	29,068
К-3	КЛ от ГПП до ТП	10,5	–	77	–	20,952	5,238	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	10,5	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	10,5	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	10,5	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	36,362	5,483	1,495	7,643	0,150	5,477	1,073	2,269
К-4	КЛ от системы до ГПП	10,5	–	50	–	18,141	4,535	–	–	–	–	–	–
	Трансформатор тока	10,5	–	–	–	0,350	0,200	–	–	–	–	–	–
	Контакты	10,5	–	–	–	15,000	–	–	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	10,5	–	–	–	0,060	0,045	–	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	10,5	–	–	–	33,551	4,780	1,622	7,221	0,142	5,452	1,067	2,448

Теперь необходимо выбрать силовое электрооборудование по расчетным параметрам.

### 3.2 Выбор силового электрооборудования

Проверим оборудование ТП 2×1250/10/0,4 по каталогам производителей (таблица 11) [1],[11],[15],[20].

«Ток термической стойкости точки КЗ:

$$B_{\text{кт}} = I_{n0}^2 (T_a + t_{\text{п.в}}), \quad (41)$$
$$B_{\text{кт}} = 1,495^2 \cdot (7,64 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,084 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\sigma = t_{\text{рз}} + t_{\text{сво}}, \quad (42)$$
$$\sigma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

где  $t_{\text{рз}}$  – время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{\text{сво}}$  – время срабатывания выключателя на отключение, с» [17].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ:

$$i_{\text{а}\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}}, \quad (43)$$
$$i_{\text{а}\sigma} = \sqrt{2} \cdot 1,495 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{7,64}} = 2,1 \text{ кА}.$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{\text{ан}} = \sqrt{2} \cdot I_{\mu} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \sigma}), \quad (44)$$
$$i_{\text{ан}} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 56,569 \text{ кА},$$

где  $I_{\mu}$  – ток отключения выключателя, кА» [17].

Таблица 11 – Проверка параметров оборудования

Точка	$U_{н.ср}$	$I_{н0}$	$T_a$	$\varphi$	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$	$B_{kt}$	$i_{a\sigma}$	$I_{\mu}$	$i_{ан}$	$I_p$	$I_{па}$	Оборудование
	кВ	кА	$10^{-3}$ с	рад	$10^{-3}$ с	–	кА	кА <sup>2</sup> с	кА	кА	кА	А	А	
К-1	115	8,091	323,653	1,415	9,504	1,959	22,416	23,152	0,151	55	77,782	131,22	262,44	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-600
К-2	115	10,487	326,624	1,417	9,510	1,960	29,068	39,220	0,204	55	77,782	131,22	262,44	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-600
К-3	10,5	1,495	7,643	0,150	5,477	1,073	2,269	0,084	2,100	40	56,569	72,17	144,34	ВБЭ- 10/40/2000 РВЗ-10-2000- III ТЛО-10/2000- M1
К-4	10,5	1,622	7,221	0,142	5,452	1,067	2,448	0,098	2,278	40	56,569	72,17	144,34	ВБЭ- 10/40/2000 РВЗ-10-2000- III ТЛО-10/2000- M1

Выводы по разделу.

В ходе расчетов было выбрано и проверено оборудование ТП и ГПП (автоматические выключатели, трансформаторы тока, разъединители). Оборудование прошло все требуемые проверки.

#### 4 Расчет заземления и молниезащиты

Проведем расчет молниезащиты для ГПП.

«Активная высота молниеотвода:

$$\begin{aligned}h_A &= h - h_x, \\h_A &= 30 - 7 = 23,\end{aligned}\tag{45}$$

где  $h$  – высота молниеотвода, м;

$h_x$  – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [14].

«Зона защиты молниеотвода:

$$\begin{aligned}r_x &= h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A}, \\r_x &= 23 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 7/30} = 29,838 \text{ м.}\end{aligned}\tag{46}$$

Наибольшая сторона зоны защиты:

$$\begin{aligned}h_0 &= h - \frac{a}{7}, \\h_0 &= 30 - \frac{53}{7} = 22,5 \text{ м,}\end{aligned}\tag{47}$$

где  $a$  – расстояние между молниеотводами, м» [14].

«Ширина зоны защиты:

$$\begin{aligned}b_x &= 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), \\b_x &= 3 \cdot (22,5 - 1,25 \cdot 7) = 41 \text{ м.}\end{aligned}\tag{48}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 8» [14].

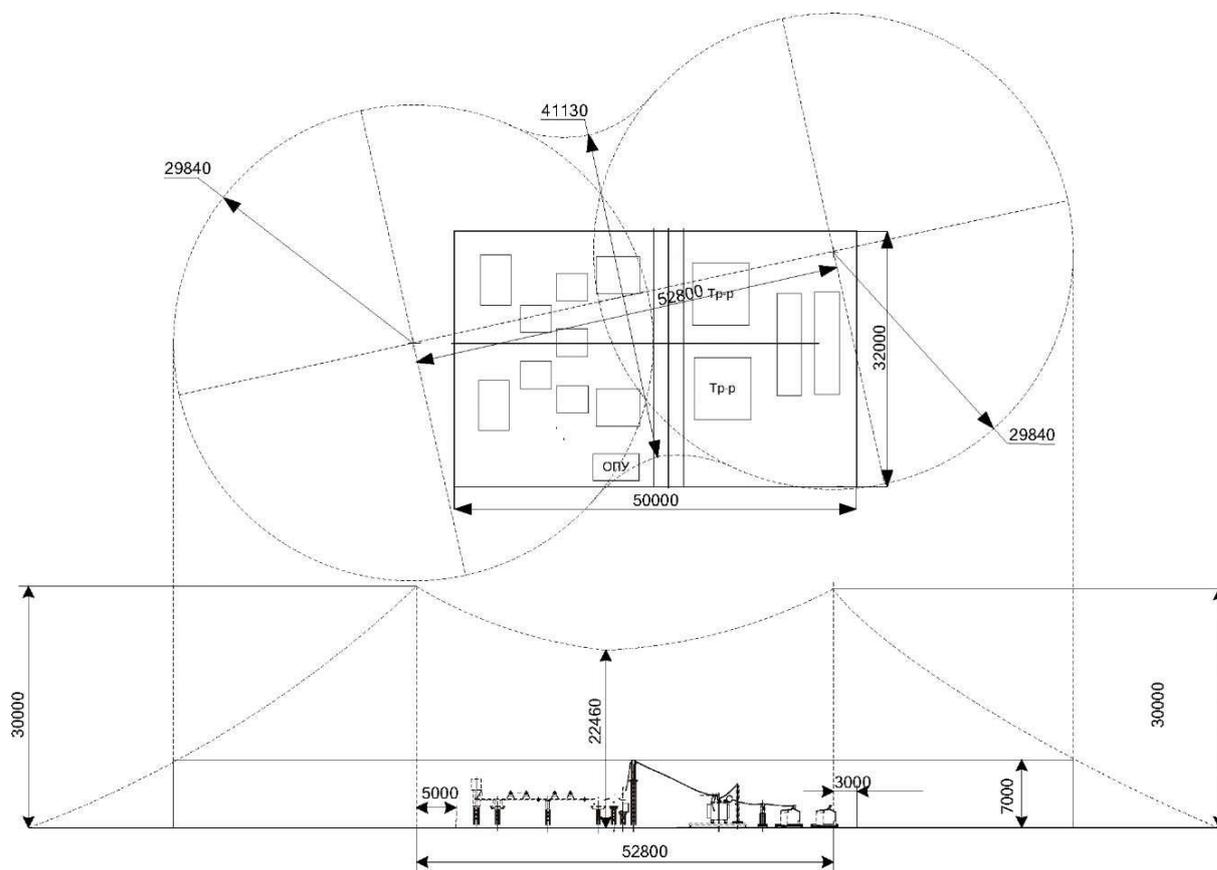


Рисунок 8 – Схема молниезащиты

«В ТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [14].

«Для расчета заземления применим общеизвестные формулы.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{B.3} = \frac{\rho_{\text{э.г}}}{2\pi L_{B.3}} \left( \ln \frac{2L_{B.3}}{d_{B.3}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{B.3} + L_{B.3}}{4 \cdot T_{B.3} - L_{B.3}} \right), \quad (49)$$

$$R_{B.3} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,0} \left( \ln \frac{2 \cdot 5,0}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4,0 \cdot 3,0 + 5,0}{4,0 \cdot 3,0 - 5,0} \right) = 16,07 \text{ Ом},$$

где  $\rho_{\text{э.г}}$  – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{B.3}$  – длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{B.3}$  – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{B.3}$  – заглубление, м» [14].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{гз} = \frac{\rho_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot L_{гз}} \cdot \ln \frac{2L_{гз}^2}{b_{гз} \cdot h_{гз}}, \quad (50)$$

$$R_{гз} = \frac{100}{2\pi \cdot 5,0} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5,0^2}{0,04 \cdot 0,5} = 24,9 \text{ Ом},$$

где  $b_{гз}$  – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{гз}$  – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{гз}$  – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [14].

«Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{ni} n_i}{R_i}}, \quad (51)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,69}{21,19} + \frac{1 \cdot 0,69}{24,9}} = 2,83 \text{ Ом},$$

где  $n_i$  – число комплектов;

$k_{ni}$  – коэффициент использования» [14].

«Сопротивление заземляющего устройства – допустимое.

Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [8],[12].

«Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники» [15].

Выводы по разделу.

Рассчитанная схема заземления и молниезащиты удовлетворяет требованиям электробезопасности.

## Заключение

В данной ВКР выполнен расчет системы электроснабжения завода по производству климатических систем и кондиционеров.

На первом этапе проведем анализ исходных данных о заводе по производству климатических систем и кондиционеров: коэффициенты мощности и использования, генплан. На основании исходных данных были вычислены суммарные нагрузки, необходимые для выбора силовых трансформаторов завода. Для снижения реактивной составляющей применены конденсаторные батареи мощностью 650 квар в количестве 4 шт, 700 квар – 8 шт, 750 – 2 шт, 800 квар – 4 шт.

На основании расчета были выбраны девять двухтрансформаторных ТП 1250/10/0,4, места установки которых определены на основании расчета ЦЭН завода. Место установки ГПП и выбор трансформаторов осуществлен аналогично.

Для питания ТП были приняты к рассмотрению две схемы электроснабжения (радиальная и магистральная). В рассмотренных схемах соблюдаются допустимые потери электроэнергии. Самой выгодной с точки зрения вложений оказалась радиальная схема питания.

На последующем этапе проведен расчет ТКЗ. Выбраны четыре различные точки на участках цепи, две из которых на стороне ВН (110 кВ). Самыми большими ТКЗ обладают две точки на сторонах НН и ВН ближе к точке питания.

Выбранное силовое электрооборудование КТП и ГПП прошло требуемые проверки.

На заключительном этапе проведен расчет заземления и молниезащиты оборудования завода по производству климатических систем и кондиционеров. Расчет молниезащиты представлен для ГПП, показана схема молниезащиты с двумя молниеотводами. Что касается системы заземления, то сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Вакуумный выключатель [Электронный ресурс] : Официальный сайт НПП Контакт. URL: [http://www.kontakt-saratov.ru/vikl\\_vbe\\_10\\_31-5/konstrukciya\\_vbe\\_10\\_31-5/](http://www.kontakt-saratov.ru/vikl_vbe_10_31-5/konstrukciya_vbe_10_31-5/) (дата обращения: 01.08.2024).

2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 01.08.2024).

3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 01.08.2024).

4. ГОСТ 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 01.08.2024).

5. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 01.08.2024).

6. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 01.08.2024).

7. Жук В.Л. Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях : учебное пособие под ред. д.т.н., проф. А.А. Троянского. М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 212 с.

8. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL:

<https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 01.08.2024).

9. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 01.08.2024).

10. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кс.ru/> (дата обращения: 01.08.2024).

11. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 01.08.2024).

12. НТП ЭПП-94 Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Нормы технологического проектирования (1 редакция) принятые Тяжпромэлектропроект от 01.01.1994. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030085> (дата обращения: 01.08.2024).

13. ОРД 14.370-36-86 Указания по проектированию электрохозяйства металлургических заводов [Электронный ресурс] : Руководящий документ введен от 01.01.1987. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062586> (дата обращения: 01.08.2024).

14. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

15. Разъединитель [Электронный ресурс] : Официальный сайт завода по производству высоковольтного оборудования «Высоковольтный союз». URL: <https://www.vsoyuz.com/ru/produkcija/razediniteli/razediniteli-10-kv/disconnectors-rvz.htm> (дата обращения: 01.08.2024).

16. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : Образовательный электротехнический портал. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-po-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 01.08.2024).

17. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 01.08.2024).

18. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 01.08.2024).

19. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 01.08.2024).

20. Трансформаторы тока ТЛО-10 М1 [Электронный ресурс] : Официальный сайт ООО «Электрощит-Ко». URL: [http://www.kztt.ru/catalog/transformatori\\_toka/tlo-10\\_on\\_3-10\\_kv/1/](http://www.kztt.ru/catalog/transformatori_toka/tlo-10_on_3-10_kv/1/) (дата обращения: 01.08.2024).

21. Щербаков Е. Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие. – Москва : Форум, 2019. – 495 с.

22. Benthous M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energy, Sustainability and Society* Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

23. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. *Energies* Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

24. Rexhepi V. An Analysis of Power Transformer Outages and Reliability Monitoring. Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, Boulevard “Sveti Klement Ohridski” 8, Sofia, 1000, Bulgaria, 2017. 418 p.

25. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2017. p.259-264.

26. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.