

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 завода продольно–строгальных станков

Обучающийся

А.В. Ермаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю. В. Черненко

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

Тольятти 2023

Аннотация

Для подключения потребителей электроэнергии завода продольно–строгальных станков необходимо разработать проект системы электроснабжения завода продольно–строгальных станков. Поэтому выпускная квалификационная работа (ВКР), направленная на проектирование системы электроснабжения завода продольно–строгальных станков, является достаточно актуальной.

На основании выполненных расчетов в рамках ВКР произведен выбор современного электрического оборудования завода продольно–строгальных станков, включая оборудование ГПП предприятия. Кроме того, проведен расчет молниезащиты и заземления ГПП завода продольно–строгальных станков.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, девяти разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 80 листах формата А4, содержит 18 таблиц и 8 рисунков.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика завода продольно–строгальных станков	6
2 Расчет электрических нагрузок	9
3 Расчет картограммы нагрузок.....	16
4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов КТП цеха.....	17
5 Расчет внешнего электроснабжения и оборудования на стороне ВН ГПП .	34
5.1 Выбор схемы электроснабжения завода	34
5.2 Выбор аппаратов и проводников проектируемой сети	35
6 Расчет токов короткого замыкания	44
7 Выбор электрооборудования завода	556
8 Расчет распределительной сети завода.....	61
9 Молниезащита и заземление ГПП.....	65
9.1 Молниезащита ГПП.....	65
9.2 Заземление ГПП.....	68
Заключение	76
Список используемой литературы и используемых источников.....	78

Введение

Электроснабжение завода является важным аспектом производства, который обеспечивает надежную и эффективную работу электрооборудования. В рамках данной выпускной квалификационной работы (ВКР) будет рассмотрено электроснабжение завода продольно-строгальных станков.

Завод является крупным производственным объектом, который требует эффективного электроснабжения для обеспечения бесперебойной работы оборудования и минимизации риска аварийных ситуаций. В работе будут рассмотрены особенности и характеристики электроснабжения завода, а также проведен расчет и проектирование системы электроснабжения на основе требований нормативных документов.

Завод продольно–строгальных станков состоит из множества зданий и сооружений, предназначенных для производственных, складских и административных целей. Актуальность ВКР заключается в том, что в связи со строительством завода продольно–строгальных станков необходимо разработать проект его системы электроснабжения.

Цель работы разработать проект системы электроснабжения завода продольно–строгальных станков, который будет соответствовать требованиям нормативных документов и обеспечивать надежную и безопасную работу оборудования.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- привести общую характеристику завода продольно–строгальных станков;
- рассчитать электрические нагрузки завода продольно–строгальных станков;
- рассчитать картограммы нагрузок;
- выбрать количество и мощность силовых трансформаторов КТП цеха;

- рассчитать внешнее электроснабжение и оборудование на стороне ВН ГПП;
- рассчитать токи короткого замыкания;
- выбрать электрооборудование завода;
- рассчитать распределительную сеть завода;
- провести расчет молниезащиты и заземления ГПП.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что разработанный проект системы электроснабжения для завода продольно-строгальных станков может быть использован в реальной практике для улучшения электроснабжения производственных объектов данного типа.

Предложенный проект может повысить эффективность работы оборудования и минимизировать риски аварийных ситуаций, что приведет к улучшению качества продукции и экономической эффективности производства. Также разработанный проект соответствует требованиям нормативных документов, что позволяет обеспечить безопасность и надежность работы электрооборудования на заводе.

Основными нормативными документами, научными и учебно-методическими трудами, на основании которых проведены проектные исследования являются Правила устройства электроустановок, НТП ЭПП 94, РТМ 36.18.32.4–92.

Авторами, которые внесли большой вклад в разработку данного вопроса являются Федоров А.А., Каменева В.В., Неклепаев Б.Н., Крючков И.П., Ю.Г. Барыбин.

Результатом ВКР будет проект системы электроснабжения завода продольно-строгальных станков, который позволит обеспечить надежную и эффективную работу электрооборудования, а также повысить безопасность и экономическую эффективность производства.

1 Общая характеристика завода продольно–строгальных станков

Завод продольно-строгальных станков предназначен для производства и поставки оборудования для обработки деревянных заготовок. Этот тип станков применяется для обработки различных видов древесины и позволяет выполнять различные операции, такие как распиловка, строгание, фрезерование, пропиловка шипов и пазов, а также другие операции обработки дерева.

Продольно-строгальные станки широко используются в производстве мебели, дверей, оконных и дверных коробок, наличников, паркета и других деревянных изделий.

Заводы этого типа выпускают различные модели и размеры продольно-строгальных станков, которые могут быть настроены на выполнение конкретных задач обработки дерева в зависимости от потребностей производства [1] - [6].

Электроснабжение завода осуществляется от заводской ГПП, которая получает питание от РПП 110 кВ по двум воздушным ЛЭП. Расстояние от РПП до заводской ГПП 15 км.

Мощность КЗ на шинах источника питания $S_{к.з} = 3500$ МВА. Предельно допустимый $\text{tg}\phi$ энергосистемы 0,5.

Распределение электроэнергии к заводским потребителям осуществляется на напряжении 10 кВ по кабельным линиям до цеховых КТП.

Потребители питаются от сети 380 В.

Генеральный план завода продольно–строгальных станков изображен на рисунке 1.

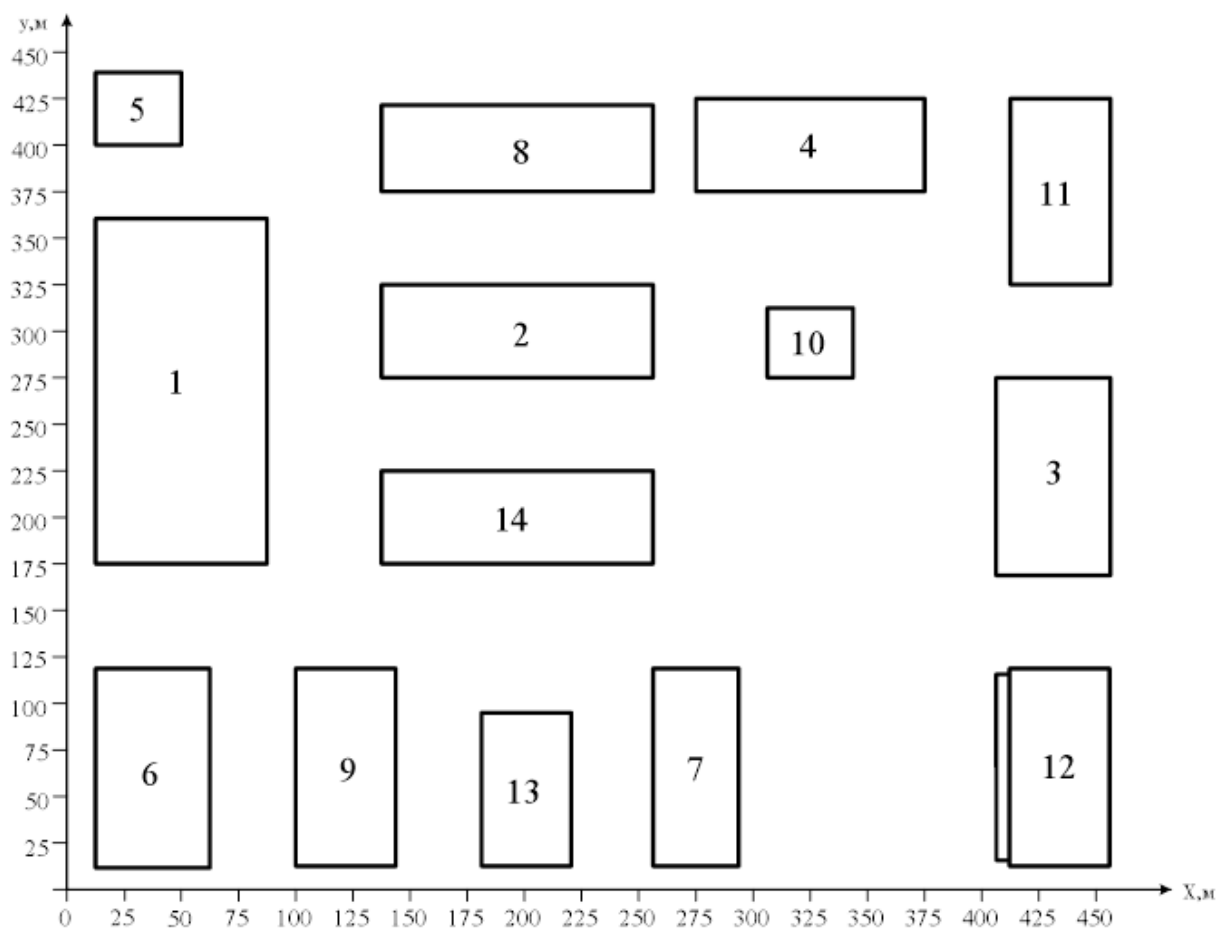


Рисунок 1 – Генплан завода продольно–строгальных станков

Состав и площадь цехов указаны в таблице 1.

Осветительные сети всех цехов питаются однофазным напряжением 220 В. Категория бесперебойности цехов приведена в таблице 1.

Ведомость низковольтных электрических нагрузок по цехам завода представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения о цехах предприятия

Номер цеха на плане	Цех	Площадь цеха, м ²	Категория	P _н , кВт
1	Литейный цех	12960	I, II	13505
2	Механический цех	5760	II, III	6590
3	Склад	5760	II, III	250
4	Испытательный цех	4608	II, III	1274
5	Котельная	4032	I, II	1135
6	Заготовительный цех	5760	II, III	1579
7	Автотранспортное хозяйство	5040	II, III	1124
8	Сборочный цех	5040	II, III	7645

Продолжение таблицы 1

Номер цеха на плане	Цех	Площадь цеха, м ²	Категория	Р _н , кВт
9	Инструментальный цех	5040	II, III	3697
10	Компрессорная	1296	II, III	230
11	Окрасочный цех	4032	II, III	2276
12	Административное здание	5040	II, III	388
13	Ремонтно–механический цех	4032	II, III	2109
14	Кузнечно–прессовый цех	5760	I, II	2540

Ведомость высоковольтного электрооборудования промышленного предприятия представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Ведомость высоковольтного электрооборудования

№ цеха на плане	Наименование цехов и потребителей электроэнергии	Количество, шт	Мощность, кВт
1	Дуговая печь ДСП–6	2	4800
10	Асинхронный электродвигатель	2	1000

Выводы по разделу.

В данном разделе ВКР приведена общая характеристика завода продольно–строгальных станков. Приведен генеральный план завода продольно–строгальных станков, характеристики цехов и ведомость высоковольтного оборудования.

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок на заводе продольно-строгальных станков является важным этапом проектирования электроснабжения данного предприятия. Он позволяет определить необходимую мощность электрической сети и выбрать оборудование, обеспечивающее требуемый уровень энергопотребления.

При расчете электрических нагрузок также учитываются сезонные колебания в энергопотреблении, возможные периоды пиковой нагрузки и резервирование электроснабжения для обеспечения непрерывной работы производственного процесса.

Использование РТМ 36.18.32.4-92 при расчете электрических нагрузок на заводе продольно-строгальных станков позволяет определить требуемую мощность и электрическую нагрузку с учетом всех факторов, что обеспечивает надежную работу электроснабжения предприятия. Данный РТМ содержит требования к проектированию и эксплуатации электрических сетей, а также к расчету нагрузок и учету электроэнергии. Он определяет параметры и характеристики электрических сетей, такие как напряжение, частота, мощность, электрические токи, коэффициенты мощности и другие.

«Расчетная активная нагрузка низковольтных электроприемников цеха» [18]:

$$P_{p.n.c} = k_c \cdot P_n, \quad (1)$$

где k_c – «коэффициент спроса активной нагрузки» [18];

P_n – «номинальная мощность низковольтных электроприемников цеха, кВт» [18].

«Расчетная реактивная нагрузка низковольтных электроприемников цеха» [18]:

$$Q_{p.n.c} = P_{p.n.c} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – «коэффициент, определяемый по $\cos \varphi$ » [18];

$P_{p.n.c}$ – «расчетная активная мощность низковольтных силовых электроприемников цеха, кВт» [18].

«Полная нагрузка низковольтных электроприемников цеха» [18]:

$$S_{p.n.c} = \sqrt{P_{p.n.c}^2 + Q_{p.n.c}^2}, \quad (3)$$

где $P_{p.n.c}$ – «расчетная активная мощность низковольтных электроприемников цеха, кВт» [18];

$Q_{p.n.c}$ – «расчетная реактивная мощность низковольтных электроприемников цеха, кВар» [18];

«Для примера производится расчет нагрузок литейного цеха» [2].

«В соответствии с формулой (1) расчетная активная нагрузка электроприемников литейного цеха» [2]:

$$P_{p.n.c} = 0,75 \cdot 13505 = 10128,75 \text{ кВт.}$$

«В соответствии с формулой (2) расчетная реактивная нагрузка электроприемников литейного цеха» [2]:

$$Q_{p.n.c} = 10128,75 \cdot 0,88 = 8932,72 \text{ кВар.}$$

«В соответствии с формулой (3) полная расчетная нагрузка группы электроприемников литейного цеха» [2]:

$$S_{p.n.c} = \sqrt{10128,75^2 + 8932,72^2} = 13505,00 \text{ кВА.}$$

«Для остальных цехов расчет производится аналогичным образом. Исходные данные и результаты расчетов сводятся в таблицу 3» [2].

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок

Название корпуса	P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{p.n.c.}$, кВт	$Q_{p.n.c.}$, кВАр	$S_{p.n.c.}$, кВА
Литейный цех	13505	0,75	0,75	0,88	10128,75	8932,72	13505,00
Механический цех	6590	0,3	0,8	0,75	1977,00	1482,75	2470,00
Склад	250	0,3	0,65	1,17	75,00	87,68	114,90
Испытательный цех	1274	0,2	0,7	1,02	254,80	259,95	363,90
Котельная	1135	0,6	0,8	0,75	681,00	510,75	697,80
Заготовительный цех	1579	0,35	0,7	1,02	552,65	563,82	789,40
Автотранспортное хозяйство	1124	0,3	0,7	1,02	337,20	344,01	356,80
Сборочный цех	7645	0,3	0,8	0,75	2293,50	1720,13	2865,80
Инструментальный цех	3697	0,4	0,7	1,02	1478,80	1508,68	1544,00
Компрессорная	230	0,75	0,8	0,75	172,50	129,38	103,20
Окрасочный цех	2276	0,4	0,7	1,02	910,40	928,79	950,50
Административное здание	388	0,6	0,85	0,62	232,80	144,28	213,30
Ремонтно-механический цех	2109	0,6	0,92	0,43	1265,40	539,06	1279,60
Кузнечно-прессовый цех	2540	0,4	0,75	0,88	1016,00	896,03	1279,60
ИТОГО:	–	–	–	–	21375,80	18048,01	27976,00

Расчет осветительных нагрузок завода.

Расчет осветительных нагрузок на заводе продольно-строгальных станков является важной задачей при проектировании электроснабжения.

Расчет осветительной нагрузки выполняется по методу коэффициента спроса [7]. Расчет осветительной нагрузки на заводе по методу коэффициента спроса позволяет учесть фактическую потребность в электроэнергии на освещение помещений, учитывая при этом неравномерную нагрузку в разные периоды времени.

Метод коэффициента спроса основывается на том, что в разные часы суток или дни недели нагрузка на освещение помещений может существенно варьироваться. Например, в ночное время потребление электроэнергии на освещение может быть значительно ниже, чем днем. Для учета такой вариативности потребления используется коэффициент спроса.

Активную мощность осветительной сети P_{po} определяется по формуле:

$$P_{po} = P_{уст} \cdot k_c \cdot k_{пра}, \quad (4)$$

где k_c – коэффициент спроса осветительных нагрузок;

$P_{уст}$ – установленная мощность электроосвещения, кВт;

$k_{пра}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре.

Значение коэффициента $k_{пра}$ принимается равным:

1,0 – для ламп накаливания;

1,1 – для ламп ДРЛ, ДРИ;

1,2 – для люминесцентных ламп;

1,3 – для ЛЛ при бесстартерной системе пуска.

Установленная мощность освещения определяется по формуле [8]:

$$P_{уст} = P_{удо} \cdot F, \quad (5)$$

где $P_{удо}$ – удельная установленная мощность электроламп на 1 м^2 освещаемой площади, принимаемая по справочным данным [8];

F – площадь помещения, м^2 .

«Расчётная реактивная осветительная нагрузка определяется по формуле» [8]:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – «соответствует коэффициенту мощности осветительной нагрузки $\cos \varphi$ » [8];

«Рабочее освещение обеспечивает необходимые условия при нормальном режиме работы осветительной установки. При отключении рабочего электроосвещения для продолжения работы или для эвакуации людей предусматривается аварийное электроосвещение. Для аварийного освещения используется часть светильников рабочего освещения» [8].

«Полную нагрузку осветительной сети $S_{p.o}$ можно определить по формуле» [8]:

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{p.o.}^2 + Q_{p.o.}^2} \quad (7)$$

Для примера выполняется расчет системы освещения литейного цеха.

Удельная установленная мощность электроламп на 1 м^2 :

$$P_{уд.o} = 0,012 \text{ кВт/м}^2.$$

Установленная мощность освещения определяется по формуле (5):

$$P_{уст} = 0,012 \cdot 12960 = 155,52 \text{ кВт.}$$

«Расчетная активная мощность осветительной сети $P_{p.o}$ определяется по формуле (4)» [8]:

$$P_{p.o.} = 155,52 \cdot 1 \cdot 1,2 = 186,62 \text{ кВт.}$$

«Расчетная реактивная мощность осветительной сети определяется по формуле (6)» [8]:

$$Q_{p.o} = 186,62 \cdot 0,43 = 79,50 \text{ кВар.}$$

«Полная нагрузка осветительной сети литейного цеха $S_{p.o}$ определяется по формуле (7)» [8]:

$$S_{p.o.} = \sqrt{186,62^2 + 79,50^2} = 202,85 \text{ кВА.}$$

«Для остальных цехов расчет выполняется осветительной нагрузки аналогичным образом. Исходные данные и результаты расчетов сводятся в таблицу 4» [8].

«Суммарную активную низковольтную силовую и осветительную нагрузки можно рассчитать по формуле» [8]:

$$P_{\Sigma p.n.} = P_{p.o} + P_{p.n.c.}, \quad (8)$$

«Суммарную реактивную низковольтную силовую и осветительную нагрузки можно рассчитать по формуле» [8]:

$$Q_{\Sigma p.n.} = Q_{p.o} + Q_{p.n.c.} \quad (9)$$

Таблица 4 – Расчет осветительной нагрузки завода

Наименование цехов	F, м ²	P _{уд.о.} , кВт/м ²	K _{со}	K _{пра}	cosφ	tg φ	P _{yo.} , кВт	Расчетная нагрузка		
								P _{po.} , кВт	Q _{po.} , кВАр	S _{po.} , кВА
Литейный цех	12960	0,012	1	1,2	0,92	0,43	155,52	186,62	79,50	202,85
Механический цех	5760	0,011	1	1,2	0,92	0,43	63,36	76,03	32,39	82,64
Склад	5760	0,006	0,6	1,2	0,92	0,43	34,56	24,88	10,60	27,05
Испытательный цех	4608	0,018	1	1,2	0,92	0,43	82,94	99,53	42,40	108,19
Котельная	4032	0,01	1	1,2	0,92	0,43	40,32	48,38	20,61	52,59
Заготовительный цех	5760	0,015	1	1,2	0,92	0,43	86,40	103,68	44,17	112,70
Автотранспортное хозяйство	5040	0,01	1	1,2	0,92	0,43	50,40	60,48	25,76	65,74
Сборочный цех	5040	0,016	1	1,2	0,92	0,43	80,64	96,77	41,22	105,18
Инструментальный цех	5040	0,016	1	1,2	0,92	0,43	80,64	96,77	41,22	105,18
Компрессорная	1296	0,01	1	1,2	0,92	0,43	12,96	15,55	6,63	16,90
Окрасочный цех	4032	0,015	1	1,2	0,92	0,43	60,48	72,58	30,92	78,89
Административное здание	5040	0,017	1	1,2	0,92	0,43	85,68	102,82	43,80	111,76
Ремонтно–механический цех	4032	0,015	1	1,2	0,92	0,43	60,48	72,58	30,92	78,89
Кузнечно–прессовый цех	5760	0,013	1	1,2	0,92	0,43	74,88	89,86	38,28	97,67
Территория предприятия	150840	0,00016	0,5	1,1	0,57	1,44	24,13	13,27	19,13	23,29
ИТОГО	–	–	–	–	–	–	–	1159,80	507,55	1266,00

Суммарную полную низковольтную силовую и осветительную нагрузки можно рассчитать по формуле:

$$S_{\Sigma p.0.} = \sqrt{P_{\Sigma p.н.}^2 + Q_{\Sigma p.н.}^2} \quad (10)$$

«Результаты расчетов суммарной низковольтной нагрузки предприятия представлены в таблице 5» [8].

Таблица 5 – Результаты расчетов суммарной низковольтной нагрузки предприятия

Название корпуса	P _{р.н.с.} , кВт	Q _{р.н.с.} , кВАр	S _{р.н.с.} , кВА
Литейный цех	10315,37	9012,22	13707,85
Механический цех	2053,03	1515,14	2552,64
Склад	99,88	98,28	141,95
Испытательный цех	354,33	302,35	472,09
Котельная	729,38	531,36	750,39
Заготовительный цех	656,33	607,99	902,1
Автотранспортное хозяйство	397,68	369,77	422,54
Сборочный цех	2390,27	1761,35	2970,98
Инструментальный цех	1575,57	1549,9	1649,18
Компрессорная	188,05	136,01	120,1
Окрасочный цех	982,98	959,71	1029,39
Административное здание	335,62	188,08	325,06
Ремонтно–механический цех	1337,98	569,98	1358,49
Кузнечно–прессовый цех	1105,86	934,31	1377,27
Территория предприятия	13,27	19,13	23,29
ИТОГО:	22535,6	18555,56	29242,00

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР рассмотрены основные методы расчета нагрузок на основе требований РТМ, включая расчет осветительной нагрузки по методу коэффициента спроса и рассчитаны электрические нагрузки рассматриваемого предприятия. На основании проведенных расчетов далее будет выбрано электрооборудование системы электроснабжения данного завода.

3 Расчет картограммы нагрузок

Расположение ГПП в центре предприятия невозможно так, как будут созданы помехи технологическому процессу. Поэтому подстанцию необходимо установить на свободном месте на окраине предприятия со стороны питающей линии. Таким образом, координаты ГПП $X_0 = 110$ м, $Y_0 = 420$ м. Генплан предприятия с ГПП приведен на рисунке 2.

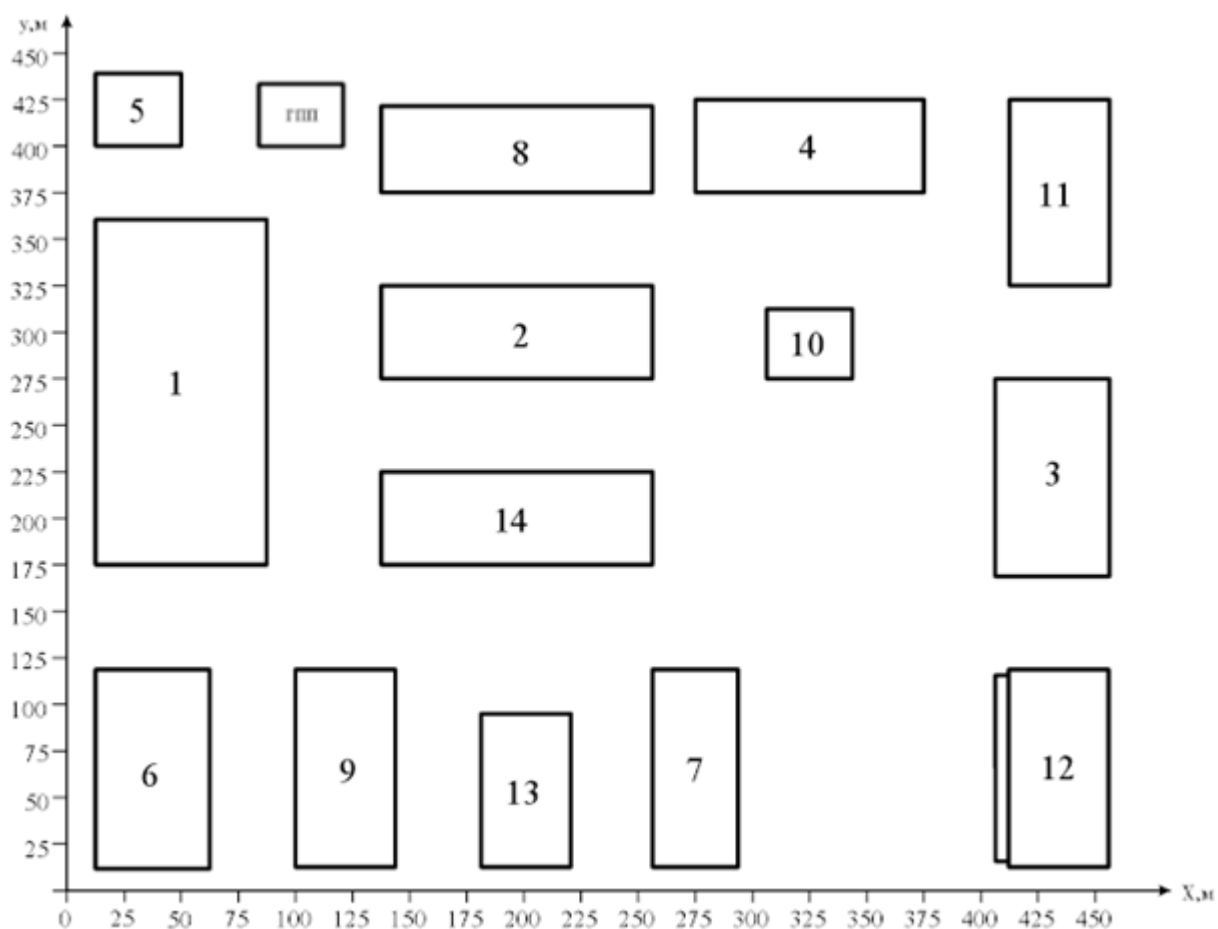


Рисунок 2 – Генплан предприятия с ГПП

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР определено месторасположение ГПП предприятия и приведен генплан предприятия с указанием места расположения ГПП.

4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов КТП цеха

Силовые трансформаторы предназначены для преобразования напряжения сети к напряжению, необходимому для питания оборудования цехов предприятия. Выбор оптимального количества и мощности силовых трансформаторов позволяет избежать перегрузок электросистемы, обеспечить стабильное электроснабжение и снизить расходы на электроэнергию.

В данном разделе проводится расчет номинальной мощности силовых трансформаторов, учитывая мощность оборудования цеха и его планируемое расширение в будущем. Также определяется необходимое количество трансформаторов для обеспечения резервирования электроснабжения.

Важным аспектом при выборе силовых трансформаторов является соблюдение требований нормативной документации, таких как РЭА, ПУЭ, СНиП и др.

После проведения всех необходимых расчетов и выбора оптимального количества и мощности силовых трансформаторов, составляется техническое задание на изготовление и установку трансформаторов. Для обеспечения надежности работы силовых трансформаторов, также необходимо предусмотреть систему мониторинга и контроля за их работой.

«Для ЦТП существует экономически выгодная мощность трансформаторов $S_{н.э}$, которую принимают в зависимости от удельной плотности расчетной ЭН s_y » [9]:

- «при $s_y \leq 0,2$ (кВА/м²) принимается $S_{н.э} = 1000$ кВА» [9];
 - «при $0,2 < s_y \leq 0,3$ (кВА/м²) принимается $S_{н.э} = 1600$ кВА» [9];
 - «при $0,3 < s_y \leq 0,4$ (кВА/м²) принимается $S_{н.э} = 2500$ кВА» [9].
- «Удельная плотность расчетной ЭН s_y , равна» [9]:

$$s_y = \frac{S_{р.ц.}}{F_{ц}}, \quad (11)$$

где $S_{p.ц.}$ – «максимальная расчетная ЭН цеха, кВА» [9];

$F_{ц.}$ – «площадь цеха, м²» [9].

«Для каждой технологически концентрированной группы трансформаторов ЦТП одинаковой мощности минимальное их число, которое необходимо для питания максимальной расчетной активной ЭН определяется как» [9]:

$$n_{тр} = \frac{S_{p.ц.}}{S_{т.ном} \cdot k_3}, \quad (12)$$

где k_3 – «коэффициент загрузки трансформаторов» [9].

$S_{т.ном}$ – «номинальная мощность трансформаторов, кВА» [9].

«Определенное значение количества трансформаторов округляют до ближайшего целого и определяют фактический коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы» [11]:

$$k_{з.ф.} = \frac{S_{p.ц.}}{S_{т.ном} \cdot n_{тр}}. \quad (13)$$

В качестве примера рассматривается расчет трансформаторов для испытательного цеха. Определяется удельная плотность расчетной нагрузки s_y , кВА/м² испытательного цеха по формуле (11):

$$s_y = \frac{2210,12}{5040} = 0,44 \text{ кВА/м}^2,$$

так $s_y > 0,4$ кВА/м², то принимается $S_{н.э} = 2500$ кВА.

Определяется минимальное число трансформаторов для испытательного цеха по формуле (12):

$$n_{\text{тр}} = \frac{2551,58}{2500 \cdot 0,8} = 1,28.$$

Округляется $n_{\text{тр}}$ до ближайшего большего числа, таким образом $n_{\text{тр}} = 2$.

«Определяется фактический коэффициент загрузки трансформаторов испытательного цеха в нормальном режиме работы» [11] по формуле (13):

$$K_{\text{з.ф.}} = \frac{2551,58}{2500 \cdot 2} = 0,51.$$

«Результаты расчета для других цехов даны в таблице 6» [10].

Таблица 6 – Выбор количества и мощности трансформаторов

Наименование цехов	Кат.	$F_{\text{цеха}}, \text{ м}^2$	$S_{\text{рц}}, \text{ кВа}$	$S_{\text{уд}}, \text{ кВА/м}^2$	$S_{\text{н.т}}, \text{ кВа}$	$n_{\text{тр}}$	$K_{\text{з.ф}}$
Литейный цех	I, II	12960	13697,7	1,06	2500	8	0,68
Механический цех	II, III	5760	2551,58	0,44	2500	2	0,51
Склад	II, III	5760	140,12	0,02	1000	2	0,07
Испытательный цех	II, III	4608	465,8	0,10	1000	2	0,23
Котельная	I, II	4032	902,41	0,20	1000	2	0,45
Заготовительный цех	II, III	5760	894,66	0,16	1000	2	0,45
Автотранспортное хозяйство	II, III	5040	543,03	0,11	1000	2	0,27
Сборочный цех	II, III	5040	2969,13	0,59	2500	2	0,59
Инструментальный цех	II, III	5040	2210,12	0,44	2500	2	0,44
Компрессорная	II, III	1296	232,08	0,18	1000	2	0,12
Окрасочный цех	II, III	4032	1373,79	0,34	2500	2	0,27
Административный комплекс	II, III	5040	384,73	0,08	1000	2	0,19
Ремонтно–механический цех	II, III	4032	1454,33	0,36	2500	2	0,29
Кузнечно–прессовый цех	I, II	5760	1447,71	0,25	1600	2	0,45

«Как видно из таблицы 6, фактический коэффициент загрузки трансформаторов ряда цехов довольно низкий. В связи с этим, принимается решение объединить рядом размещенные цеха с небольшими нагрузками для подключения их от одной ТП» [17]:

- ТП–1: Литейный цех;
- ТП–2: Механический цех, Компрессорная станция;
- ТП–3: Склад, Автотранспортное хозяйство, Административное здание;
- ТП–4: Испытательный цех, Окрасочный цех;
- ТП–5: Котельная;
- ТП–6: Заготовительный цех, Инструментальный цех;
- ТП–7: Сборочный цех;
- ТП–8: Ремонтно–механический цех;
- ТП–9: Кузнечно–прессовый цех.

Применяются двухтрансформаторные ТП. Мощность трансформаторов равна:

$$S_{p.тр} = \frac{S_{p.ц.}}{k_{з.} \cdot n_{тр}} \quad (14)$$

Приводится «пример расчета для ТП–3 (склад, автотранспортное хозяйство, административное здание)» [17]:

«Активная суммарная мощность $P_{p.ц.}$ » [17]:

$$P_{p.ц.} = 99,88 + 397,68 + 335,62 = 833,18 \text{ кВт.}$$

«Реактивная нагрузка $Q_{p.ц.}$ » [17]:

$$Q_{p.ц.} = 98,88 + 369,77 + 188,08 = 657,73 \text{ кВар.}$$

«Полная расчетная нагрузка $S_{p.ц.}$ » [17]:

$$S_{p.ц.} = \sqrt{8331,18^2 + 657,73^2} = 1061 \text{ кВА.}$$

«Определяется мощность трансформаторов ТП–3» [17]:

$$S_{p.тр} = \frac{1061}{0,8 \cdot 2} = 663,13 \text{ кВА.}$$

«Принимаются два трансформатора мощность каждого из которых равна $S_{T.ном.} = 1000 \text{ кВА}$ » [17].

«Фактический коэффициент загрузки трансформатора» [17]:

$$K_{з.ф.} = \frac{1061}{2 \cdot 1000} = 0,53 < 0,8.$$

«Для остальных цехов расчёт выполняется аналогично, результаты расчета» [17] количества и мощности ЦТП сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Предварительный расчет трансформаторных подстанций

№ цеха	Наименование цехов от КТП	№КТП	Площадь цеха, м ²	P _{р.ц} , кВа	Q _{р.ц} , кВАр	S _{р.ц} , кВА	S _{уд.} , кВА/м ²	S _{н.тр} , кВА	n _т	K _{з.ф}
1	Литейный цех	ТП №1	12960	10315,4	9012,22	13697,7	1,06	2500	8	0,7
2	Механический цех	ТП №2	5760	2053,03	1515,14	2783,66	0,39	2500	2	0,6
10	Компрессорная		1296	188,05	136,01					
3	Склад	ТП №3	5760	99,88	98,88	1061,9	0,07	1000	2	0,5
7	Автотранспортное хозяйство		5040	397,68	369,77					
12	Административное здание		5040	335,62	188,08					
4	Испытательный цех	ТП №4	4608	354,33	302,35	1838,8	0,21	1600	2	0,6
11	Окрасочный цех		4302	982,98	959,71					
5	Котельная	ТП №5	4032	729,38	531,36	902,41	0,22	1000	2	0,5
6	Заготовительный цех	ТП №6	5760	656,33	607,99	3104,49	0,31	2500	2	0,6
9	Инструментальный цех		5040	1575,57	1549,9					
8	Сборочный цех	ТП №7	5040	2390,27	1761,35	2969,13	0,59	2500	2	0,6
13	Ремонтно–механический цех	ТП №8	4032	1337,98	569,98	1454,33	0,36	1600	2	0,5
14	Кузнечно–прессовый цех	ТП №9	5760	1105,86	934,31	1447,21	0,25	1600	2	0,5

Мощность трансформаторов уточняют после определения необходимости КРМ и выбора вида КУ.

Для ЦТП применяют трансформаторы марки ТМЗ.

«Характеристики выбранных трансформаторов сведено в таблицу 8» [17].

Таблица 8 – Параметры цеховых трансформаторов [20]

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМЗ - 1000/10	1000	10	0,4	1,9	10,8	5,5	1,2
ТМЗ - 1600/10	1600	10	0,4	2,65	16,5	5,5	1,0
ТМЗ - 2500/10	2500	10	0,4	3,85	23,5	6,5	0,8

КРМ на стороне 0,4 кВ.

В процессе работы электрической сети возникают различные виды нагрузок, которые могут привести к искажениям напряжения и токов, а также к неэффективному использованию электроэнергии. Для решения этих проблем используются компенсирующие устройства, которые позволяют уменьшить потери электроэнергии и повысить эффективность работы электрической сети.

При выборе компенсирующих устройств учитывается тип и характеристики нагрузок цеха, а также требования нормативной документации, таких как ПУЭ, РЭА, СНиП и др. Также важным аспектом является определение необходимости компенсации активной или реактивной мощности.

Для компенсации активной мощности используются устройства, которые уменьшают потери энергии в проводах и устройствах электросети, такие как конденсаторы, статические компенсаторы, активные фильтры и др. Для компенсации реактивной мощности применяются реакторы, конденсаторы и другие устройства.

При выборе компенсирующих устройств также учитываются экономические факторы, такие как стоимость устройств и экономический эффект от их использования.

Мощность КУ определяют выражением:

$$Q_{\text{куц}} = P_{\text{р.ц}} \cdot (tg\varphi_{\text{ц}} - tg\varphi_{\text{э}}), \quad (15)$$

где $P_{\text{р.ц}}$ – «расчетная активная ЭН цеха или группы цехов, кВт» [22];

$tg\varphi_{\text{ц}}$ – «коэффициент мощности цеха до КРМ, о.е.» [22];

$tg\varphi_{\text{э}}$ – «коэффициент мощности, согласно Приказа Минэнерго №380 от 23.06.2018 г. при напряжении питания 110 кВ $tg\varphi_{\text{э}} = 0,5$ » [14]

$$tg\varphi_{\text{ц}} = \frac{Q_{\text{р.ц}}}{P_{\text{р.ц}}}, \quad (16)$$

где $Q_{\text{р.ц}}$ – «расчетная реактивная ЭН цеха, кВар» [22].

Источниками реактивной мощности выбираются ККУ марки УКМ58–0,4. При этом количество КУ должно быть не меньше количества трансформаторов.

В качестве примера выполняется расчёт низковольтных КУ для ТП–2.

Коэффициент мощности до КРМ:

$$tg\varphi_{\text{ц}} = \frac{1651,25}{2241,08} = 0,74.$$

Требуемая суммарная мощность КУ:

$$Q_{\text{ку}} = 2241,08 \cdot (0,74 - 0,5) = 530,61 \text{ кВар.}$$

«В качестве источников реактивной мощности используются два комплектных КУ (по одной на каждую СШ) типа УКМ58 – 0,4 – 268 – 50 УЗ» [19], то есть суммарная мощность КУ

$$Q_{\Sigma \text{к.у}} = 2 \cdot 268 = 536 \text{ кВар.}$$

«Результаты выбора КУ 0,4 кВ сведены в таблицу 9» [19].

Таблица 9 – Выбор мощности КУ

№ ТП	$P_{\text{р.ц.}}$, кВт	$Q_{\text{р.ц.}}$, кВар	$\text{tg}\phi$, о.е.	$Q_{\text{ку.р.}}$, квар	$Q_{\text{ку.ном.}}$, квар	Тип КУ	Кол- во
1	10315,4	9012,22	0,87	3854,52	4000	УКМ58 – 0,4 – 250	16
2	2241,08	1651,15	0,74	530,6	536	УКМ58 – 0,4 – 268	2
3	833,18	656,73	0,79	240,1	266	УКМ58 – 0,4 – 133	2
4	1337,31	1262,06	0,94	593,4	600	УКМ58 – 0,4 – 300	2
5	729,38	531,36	0,73	166,6	180	УКМ58 – 0,4 – 180	2
6	2231,9	2157,89	0,97	1041,9	1072	УКМ58 – 0,4 – 536	2
7	2390,27	1761,35	0,74	566,2	600	УКМ58 – 0,4 – 300	2
8	1337,98	569,98	0,43	-99,0	–	–	0
9	1105,86	934,31	0,84	381,4	400	УКМ58 – 0,4 – 200	2

«Уточнение числа и мощности цеховых ТП после КРМ.

Производится уточнение расчетных нагрузок и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности. Расчетная реактивная нагрузка цеха с учетом установки компенсирующих устройств $Q_{\text{р.ц.}}$ » [25]:

$$Q'_{\text{р.ц.}} = Q_{\text{р.ц.}} - Q_{\Sigma \text{ку}} \quad (17)$$

Для ТП–2:

$$Q'_{\text{р.ц.}} = 1651,15 - 536 = 1115,15 \text{ кВар.}$$

«Полная расчетная мощность группы с учетом установки КУ» [25]:

$$S'_{p.ц.} = \sqrt{P_{p.ц.}^2 + (Q'_{p.ц.})^2}, \quad (18)$$

$$S'_{p.ц.} = \sqrt{2241,08^2 + 1115,15^2} = 2503,20 \text{ кВА.}$$

«Определяется расчетная мощность трансформаторов ЦТП» [25]:

$$S'_{тр} = \frac{S'_{p.ц.}}{k_3 \cdot n_{тр}}, \quad (19)$$

$$S'_{тр} = \frac{2503,20}{0,8 \cdot 2} = 1564,49 \text{ кВА.}$$

«С учетом установки КУ 0,4 кВ выбираются на ТП–2 два трансформатора мощность каждого из которых $S_{т.ном} = 1600$ кВА» [25].

Значение фактического коэффициента загрузки трансформатора должно находиться в пределах допустимых значений, указанных в технических характеристиках трансформатора.

При превышении этих значений может произойти перегрев трансформатора и его выход из строя.

С другой стороны, слишком низкий фактический коэффициент загрузки может свидетельствовать о неэффективном использовании мощности трансформатора и необходимости уменьшения его мощности или замены на более мощный.:

$$k_{зф} = \frac{2503,20}{2 \cdot 1600} = 0,78 \text{ о.е.}$$

«Результаты уточнения мощностей трансформаторов для остальных групп цехов сведены в таблицу 10» [25].

Таблица 10 – Результаты выбора мощности КУ

Номер ТП	$P_{р.ц},$ кВт	$Q_{р.ц},$ кВар	$Q_{ку\Sigma},$ кВа р	$Q_{р.ц,ут},$ кВар	$S_{р.ц,ут},$ кВар	Категория потребите лей	$k_{з.н},$ о.е	$n_{т.ц},$ шт	$S_{р.т.},$ кВА	$S_{ном.т.},$ кВА	$k_{з.ф},$ о.е
1	10315	9012,2	4000	5012,2	11468,65	I, II	0,7	8	2047,97	2500	0,7
2	2241,1	1651,2	536	1115,2	2503,20	II, III	0,8	2	1564,49	1600	0,8
3	833,18	656,73	266	390,73	920,25	II, III	0,8	2	575,16	630	0,8
4	1337,3	1262,0	600	662,06	1492,22	II, III	0,8	2	932,63	1000	0,7
5	729,38	531,36	180	351,36	809,60	I, II	0,7	2	578,28	630	0,7
6	2231,9	2157,9	1072	1085,9	2482,04	II, III	0,8	2	1551,28	1600	0,8
7	2390,3	1761,4	600	1161,4	2657,47	II, III	0,8	2	1660,92	2500	0,6
8	1338	569,98	0	569,98	1454,33	II, III	0,8	2	908,95	1000	0,7
9	1105,9	934,31	400	534,31	1228,17	I, II	0,7	2	877,27	1000	0,6

Характеристики выбранных трансформаторов сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Параметры цеховых трансформаторов [20]

Тип трансформатора	Номинальная мощность	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ	Ток XX
	кВ	ВН	НН	XX	КЗ	%	%
ТМЗ - 630/10	630	10	0,4	1,15	7,6	5,5	1,7
ТМЗ - 1000/10	1000	10	0,4	1,9	10,8	5,5	1,2
ТМЗ - 1600/10	1600	10	0,4	2,65	16,5	5,5	1,0
ТМЗ - 2500/10	2500	10	0,4	3,85	23,5	6,5	0,8

Расчёт ЭН электроприемников на стороне 10 кВ.

Активная ЭН электроприемников напряжением 10 кВ рассчитывается по методу коэффициента спроса:

$$P_{р.впi} = k_{с,i} \cdot P_{ном.впi}, \quad (20)$$

где $k_{с,i}$ – коэффициент спроса электроприемников 10 кВ;

$P_{ном.впi}$ – номинальная активная мощность электроприемников 10 кВ.

Реактивная мощность электроприемников 10 кВ:

$$Q_{p.впi} = P_{p.впi} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i, \quad (21)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_i$ – «коэффициент реактивной мощности высоковольтных потребителей» [25].

«Расчет высоковольтной нагрузки приложен в таблице 12» [25].

Таблица 12 – Расчёт электрических нагрузок 10 кВ

Наименование цеха	Кол-во ЭП	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\Sigma P_{\text{ном}}$, кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	$K_{и}$, о.е.
Литейный цех	2	4800	9600	0,87	0,13	7200	936	7260	0,75
Компрессорная	2	1000	2000	0,85	0,16	1400	224	1417	0,7

«Расчёт потерь в цеховых трансформаторах» [6].

«Потери активной мощности в трансформаторах ΔP_T » [6]:

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_{xx} + k_{з.ф.}^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (22)$$

где ΔP_{xx} – потери XX, кВт;

$\Delta P_{кз}$ – потери КЗ, кВт;

n – «число трансформаторов на ЦТП, шт.» [6];

$K_{з.ф.}$ – фактический коэффициент загрузки трансформатора.

Для ТП–2 завода продольно-строгальных станков:

$$\Delta P_T = 2 \cdot (2,65 + 0,8^2 \cdot 16,5) = 26,42 \text{ кВт.}$$

«Потери реактивной мощности в трансформаторах» [6]:

$$\Delta Q_T = n \cdot \left(\frac{i_0 + k_{з.ф.}^2 \cdot u_k}{100} \cdot S_{T.ном} \right), \quad (23)$$

где i_0 – ток XX, %;

u_k – напряжение КЗ, %.

Для ТП–2:

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \left(\frac{1 + 0,8^2 \cdot 5,5}{100} \cdot 1600 \right) = 144,64 \text{ кВар.}$$

«Результаты расчёта потерь мощности в трансформаторах ЦТП для остальных групп цехов сведены в таблицу 13» [6].

Таблица 13 – Результаты расчёта потерь мощности в трансформаторах

П/ст	Тип тр–ра	S _{т.ном} , кВА	ΔP _{х.х} , кВт	ΔP _{к.з.} , кВт	u _к , %	i ₀ , %	K _{з.ф}	n, шт.	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , кВар
ТП-1	ТМЗ - 2500/10	2500	3,85	23,5	6,5	0,8	0,7	2	30,73	199,25
ТП-2	ТМЗ - 1600/10	1600	2,65	16,5	5,5	1	0,8	2	26,42	144,64
ТП-3	ТМЗ - 630/10	630	1,15	7,6	5,5	1,7	0,8	2	12,03	65,77
ТП-4	ТМЗ - 1000/10	1000	1,9	10,8	5,5	1,2	0,7	2	14,38	77,90
ТП-5	ТМЗ - 630/10	630	1,15	7,6	5,5	1,7	0,7	2	9,75	55,38
ТП-6	ТМЗ - 1600/10	1600	2,65	16,5	5,5	1	0,8	2	26,42	144,64
ТП-7	ТМЗ - 2500/10	2500	3,85	23,5	6,5	0,8	0,6	2	24,62	157,00
ТП-8	ТМЗ - 1000/10	1000	1,9	10,8	5,5	1,2	0,7	2	14,38	77,90
ТП-9	ТМЗ - 1000/10	1000	1,9	10,8	5,5	1,2	0,6	2	11,58	63,60
–	Итого	–	–	–	–	–	–	–	170,31	986,08

«Расчёт потерь мощности в КУ 0,4 кВ» [6].

«Активные потери в КУ» [6]:

$$\Delta P_{ку} = 3,5 \cdot Q_{ку} \cdot 10^{-3}, \quad (24)$$

где Q_{ку} – мощность КУ, кВар.

Для ТП–2 завода продольно-строгальных станков:

$$\Delta P_{ку} = 3,5 \cdot 536 \cdot 10^{-3} = 1,88 \text{ кВт.}$$

«Результаты расчёта потерь мощности в КУ для других цехов представлены в таблице 14» [6].

Таблица 14 – Результаты расчёта потерь мощности в КУ

ТП	Тип КУ	$Q_{\text{ку.ном}}$, кВАр	$\Delta P_{\text{ку}}$, кВт
ТП-1	16×УКМ58 – 0,4 – 250	4000	14
ТП-2	2×УКМ58 – 0,4 – 268	536	1,88
ТП-3	2×УКМ58 – 0,4 – 133	266	0,93
ТП-4	2×УКМ58 – 0,4 – 300	600	2,1
ТП-5	2×УКМ58 – 0,4 – 180	180	0,63
ТП-6	2×УКМ58 – 0,4 – 536	1072	3,75
ТП-7	2×УКМ58 – 0,4 – 300	600	2,1
ТП-8	–	–	–
ТП-9	2×УКМ58 – 0,4 – 200	400	1,4

«Определение расчетных ЭН на стороне 10 кВ» [6].

«Для определения расчетных ЭН на стороне 10 кВ к расчетным ЭН на стороне 0,4 кВ добавляют мощность электроприемников 10 кВ, потери мощности в трансформаторах ЦТП и потери мощности в КУ» [6].

«Активная расчетная ЭН на стороне ВН» [6]:

$$P_p = k_{\text{р.м.}} \cdot (P_{\text{р.0,4}\Sigma} + P_{\text{р.10}\Sigma} + \Delta P_{\text{т}\Sigma} + \Delta P_{\text{ку}}), \quad (25)$$

где $P_{\text{р.0,4}\Sigma}$ – «суммарное значение активной расчетной ЭН низковольтных электроприемников, кВт» [6];

$P_{\text{р.10}\Sigma}$ – «суммарное значение активной расчетной ЭН высоковольтных электроприемников, кВт» [6];

$\Delta P_{\text{т}\Sigma}$ – «суммарная величина потерь активной мощности в трансформаторах ЦТП, кВт» [6];

$\Delta P_{\text{ку}}$ – «потери активной мощности в КУ, кВт» [6];

$k_{\text{р.м.}}$ – «коэффициент разновременности максимумов нагрузки ($k_{\text{р.м.}} = 0,9$)» [6].

$$P_p = 0,9 \cdot (22525 + 8600 + 170,31 + 26,79) = 31322,4 \text{ кВт.}$$

«Реактивная расчетная ЭН на стороне ВН» [6]:

$$Q_p = Q_{p,0,4\Sigma} + Q_{p,10\Sigma} + \Delta Q_{т\Sigma}, \quad (26)$$

где $Q_{p,0,4\Sigma}$ – «суммарное значение реактивной расчетной ЭН низковольтных электроприемников, кВар» [6];

$Q_{p,10\Sigma}$ – «суммарное значение реактивной расчетной ЭН высоковольтных электроприемников, кВар» [6];

$\Delta Q_{т\Sigma}$ – «суммарная величина потерь реактивной мощности в трансформаторах ЦТП, кВар» [6].

$$Q_p = 18555,58 + 1160 + 989,08 = 20701,66 \text{ кВАр.}$$

«Полная расчетная ЭН на СШ 10 кВ ГПП» [6]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (27)$$

$$S_p = \sqrt{31322,7^2 + 20701,66^2} = 37545,58 \text{ кВА.}$$

Решение вопросов КРМ на стороне 10 кВ.

«Согласно Приказа Минэнерго №380 от 23.06.2018 г. в зависимости от уровня напряжения в точке поставки потребителя» [14] электроэнергии, задается максимальное значение коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы наибольших суточных нагрузок электросети. «Экономически оптимальная величина реактивной мощности, которое может быть передано заводу в период наибольшей нагрузки» [14] энергетической системы:

$$Q_3 = P_{p10} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ЭК}} \quad (28)$$

$$Q_3 = 31322,7 \cdot 0,5 = 15661,2 \text{ квар.}$$

«Суммарную расчетную мощность высоковольтных КУ можно определить из условия баланса реактивной мощности» [17]:

$$Q_{\text{БК}} = Q_{\text{р10}} - Q_3, \quad (29)$$

$$Q_{\text{БК}} = 20701,66 - 15661,2 = 5040,45 \text{ квар.}$$

«В качестве КУ применяются четыре комплектные КУ типа» [19] УКЛ-57-10,5-1350 УЗ.

Суммарное значение мощности КУ:

$$Q_{\text{вкУ}} = 1350 \cdot 4 = 5400 \text{ квар.} \quad (30)$$

Суммарное значение реактивной мощности на СШ 10 кВ:

$$Q_{\text{р}\Sigma} = Q_{\text{р10}} - Q_{\text{вкУ}}; \quad (31)$$

$$Q_{\text{р}\Sigma} = 20701,66 - 5400 = 15301,66 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность:

$$S_{\text{р}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{р10}}^2 + Q_{\text{р10}}^2}, \quad (32)$$

$$S_{\text{р}} = \sqrt{31322,7^2 + 15301,66^2} = 34860,20 \text{ кВА.}$$

Расчет трансформаторов ГПП.

Расчет трансформаторов главной подстанции (ГПП) является важной частью проектирования электроснабжения завода.

Он позволяет определить необходимое количество и мощность трансформаторов для обеспечения надежной и эффективной работы системы электроснабжения.

«Выбор номинальной мощности трансформатора выполняется с учетом его перегрузочной способности» [17]:

$$S_{\text{т.ном}} \geq S_{\text{т.расч}}, \quad (33)$$

где $S_{\text{т.ном}}$ – «номинальная мощность трансформатора, кВА» [17];

$S_{\text{т.расч}}$ – «расчетная мощность трансформатора, кВА» [17].

$$S_{\text{т.расч}} = \frac{S_{\text{р}}}{k_3 \cdot n_{\text{тр}}}, \quad (34)$$

где k_3 – «коэффициент загрузки трансформаторов в нормальных режимах, $k_3 = 0,7$ » [13].

$$S_{\text{т.расч}} = \frac{34860,2}{0,7 \cdot 2} = 24900,14 \text{ кВА.}$$

Принимается трансформатор ТРДН–25000/110 с мощностью 25000 кВА и номинальным напряжением 110 кВ.

Он предназначен для преобразования высокого напряжения электроэнергии до напряжения, необходимого для использования в системе электроснабжения завода [17].

«Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме работы» [17]:

$$k_{\text{зн}} = \frac{S_{\text{р}}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{т.ном}}}; \quad (35)$$

$$k_{\text{зн}} = \frac{34860,20}{2 \cdot 25000} = 0,69.$$

«Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме при отключении одного трансформатора» [17]:

$$k_{з.а.} = \frac{S_p}{S_{т.ном}}; \quad (36)$$

$$k_{з.а.} = \frac{34860,20}{25000} = 1,38 < 1,4.$$

При данном значении k в послеаварийном режиме обеспечено сохранение всей S_{max} без отключения неответственных электроприемников.

Выбирается два трансформатора марки ТРДН–25000/110. Трансформатор ТРДН-25000/110 имеет высокую эффективность, что обеспечивается высоким коэффициентом полезного действия (КПД).

Он также обладает высокой надежностью и долговечностью, что позволяет использовать его в крупных электросетях и электростанциях.

Параметры трансформаторов даны в таблице 15.

Таблица 15 – Параметры трансформатора

Тип трансформатора	$S_{ном.т.}$, кВА	n_t , шт	$U_{вн.}$, кВ	U , кВ	U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	Пределы регулирования
ТРДН-25000/110	25000	2	115	11	10,5	120	36	0,8	$\pm 9 \times 1,78$

Выводы по разделу.

В четвертом разделе ВКР выбраны силовые трансформаторы в цехах предприятия, компенсирующие устройства цеховых ТП, а также силовые трансформаторы ГПП предприятия. Для установки на ГПП предприятия выбраны силовые трансформаторы ТРДН–25000/110. Приведены характеристики выбранного оборудования.

5 Расчет внешнего электроснабжения и оборудования на стороне ВН ГПП

5.1 Выбор схемы электроснабжения завода

Выбор схемы электроснабжения завода зависит от многих факторов, таких как мощность потребляемой электроэнергии, ее качество, наличие резервного источника энергии, стоимость оборудования и т.д. «СЭС завода состоит из ИП, ЛЭП, которые осуществляют подачу электрической энергии к заводу, ПС и распределительных пунктов, а также соединяющих» [8] их КЛ.

Надежность электросети определяется категорией электроприемников «по бесперебойности снабжения электрической энергией. Экономичность электросети характеризуется стоимостными показателями. Помимо этого, требуется учитывать такие требования, как характер размещения электроприемников по территории завода, а также их потребляемую мощность» [8].

«Принимается схема электроснабжения с одной ГПП. Ввиду наличия электроприемников I категории по степени бесперебойности электроснабжения предусматривается секционирование СШ ГПП и питание каждой СШ по отдельной» [8] ЛЭП.

Резервирование питания для отдельных категорий электроприемников закладывается в самой схеме электроснабжения. «При секционировании всех звеньев СЭС, начиная от СШ ГПП, предусматривается установка на них системы АВР для увеличения надежности электроснабжения.

При этом в нормальных режимах работы обеспечена раздельная работа элементов СЭС, что уменьшает ТКЗ, облегчает и снижает стоимость коммутационной аппаратуры и упрощает» [8] РЗ.

Схема электроснабжения предприятия приведена на рисунке 3.

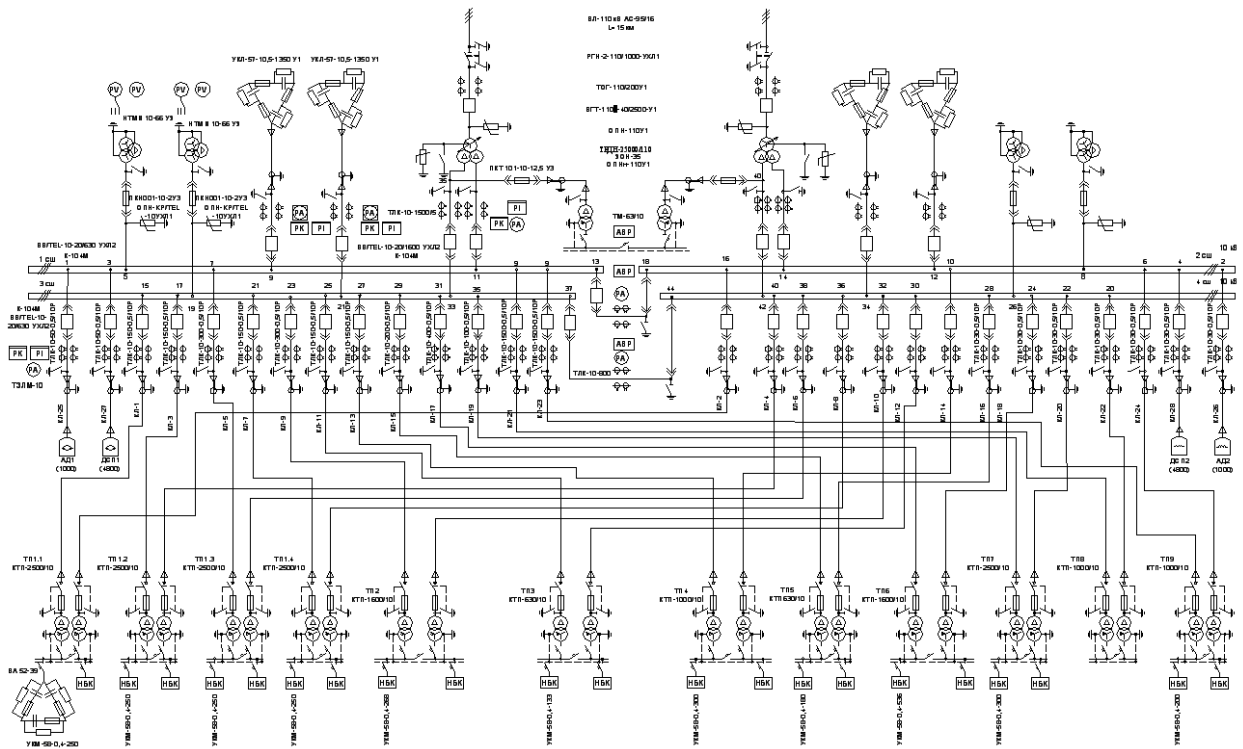


Рисунок 3 – Схема электроснабжения предприятия

Все распределительные сети выполнены КЛ, которые проложены в траншеях и по эстакадам.

5.2 Выбор аппаратов и проводников проектируемой сети

«Выбор сечения ЛЭП 110 кВ» [8].

«Для ЛЭП выбираются сталеалюминевые провода марки АС. Они обладают механической прочностью, более высокой, чем алюминиевые» [8].

«Выбор сечения проводов питающей ЛЭП 110 кВ выполняется по следующим критериям [8]:

- по нагреву;
- по ЭПТ;
- по условию возникновения короны;
- по механической прочности» [8].

«Выбор сечения ЛЭП по нагреву» [8]:

$$I_{р.лэп} \leq I_{дд}, \quad (37)$$

где $I_{р.лэп}$ – «расчетный ток ВЛ с учетом перегрузки трансформатора, А» [12].

$$I_{р.лэп} = \frac{S_{т.ном} \cdot K_{пер}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (38)$$

где $K_{пер} = 1,4$ – «коэффициент перегрузки» [13];

$$I_{р.лэп} = \frac{25000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 110} = 183,7 \text{ А.}$$

«Выбирается ближайшее сечение по длительному допустимому току» [8]:

$$F = 50 \text{ мм}^2; I_{дд} = 210 \text{ А};$$

$$183,7 \text{ А} < 210 \text{ А.}$$

«Выбор сечения проводов ВЛ по ЭПТ» [8]:

«Параметры выбора» [12]:

$$F_{эк} = \frac{I_{норм}}{j_{эк}}, \quad (39)$$

$$I_{норм} = \frac{S_{т.ном} \cdot K_{з.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (40)$$

где $I_{норм}$ – «ток ЛЭП в нормальном режиме работы, А» [12];

$K_{з.т.} = 0,7$ – «коэффициент загрузки трансформатора» [12];

$j_{эк}$ – «ЭПТ в зависимости от времени использования максимума нагрузки. При $T_m = 4280$ ч/год, $j_{эк} = 1,1 \text{ А/мм}^2$ » [12],

$$I_{норм} = \frac{25000 \cdot 0,7}{\sqrt{3} \cdot 110} = 91,85 \text{ А};$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{91,85}{1,1} = 83,5 \text{ мм}^2.$$

принимается провод АС – 95/16.

«Выбор сечения ЛЭП 110 кВ по условию коронирования» [12].

«Согласно ПУЭ по условию возникновения коронирования минимальное сечение для ЛЭП 110 кВ» [12]

$$F_{\text{min}} = 70 \text{ мм}^2.$$

«Выбор сечения ЛЭП по механической прочности» [12]:

$$F_{\text{min}} = 35 \text{ мм}^2.$$

Окончательно выбирается провод АС–95/16 с $I_{\text{дд}} = 330 \text{ А}$.

Выбор электрооборудования ОРУ 110 кВ.

«Для выбора аппаратуры необходимо определить наибольшие токи, которые протекают в электросети» [8].

«Максимальный ток в цепи трансформаторов» [8]:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{т.ном}} \cdot K_{\text{пер}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (41)$$

где $K_{\text{пер}} = 1,4$ – «коэффициент перегрузки трансформатора (согласно ГОСТ 11677–85 трансформаторы нельзя перегружать больше чем на 40% от номинальной мощности и не больше чем на 5 дней)» [4];

$$I_{\text{max}} = \frac{25000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 110} = 183,7 \text{ А}.$$

Ток в ремонтной перемычке:

$$I_{max.r} = 183,7 / 2 = 91,85 \text{ А.}$$

Выключатели 110 кВ предназначены для коммутации и защиты электрических цепей с номинальным напряжением 110 кВ. Они используются в системах электроснабжения для коммутации и отключения линий электропередачи, а также для защиты от перегрузок и коротких замыканий в электрических сетях. Выключатели 110 кВ имеют высокую надежность и долговечность, что обеспечивает безопасную и надежную работу системы электроснабжения. Они обеспечивают эффективную защиту электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий, а также обеспечивают удобство и простоту эксплуатации.

«Выключатели выбираются» [22]:

– по напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{уст}, \quad (42)$$

– по номинальному току:

$$I_{ном} \geq I_{max}, \quad (43)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток выключателя.

– по электродинамической стойкости:

$$i_{дин} \geq i_y, \quad (44)$$

$$I_{дин} \geq I_{п.0}, \quad (45)$$

где $i_{дин}$ – «ток электродинамической стойкости выключателя» [22];

$I_{\text{дин}}$ – «действующее значение периодической составляющей предельного сквозного ТКЗ» [22];

$I_{\text{по}}$ – «начальное значение периодической составляющей ТКЗ» [22].

– по термической стойкости:

$$W_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \quad (46)$$

где $I_{\text{терм}}$ – «ток термической стойкости» [22];

$t_{\text{терм}}$ – «время термической стойкости» [22];

W_k – «тепловой импульс» [22]:

$$W_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (47)$$

где $t_{\text{откл}}$ – «полное время отключения» [22].

По вышеприведенным условиям выбираются выключатели ВГТ–110П–40/2500У1 с пружинным приводом. Они обладают следующими техническими характеристиками:

- номинальное напряжение: 110 кВ;
- номинальный ток: 2500 А;
- номинальный ток короткого замыкания: 40 кА;
- уровень напряжения импульсных перенапряжений: 650 кВ.

Эти выключатели отвечают высоким требованиям по надежности и безопасности, что является важным при выборе оборудования для систем электроснабжения. Они могут использоваться в различных условиях эксплуатации и обеспечивают высокую степень защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий.

Разъединители выбираются [3]:

- по напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (48)$$

– по номинальному току:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}, \quad (49)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток.

– по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}, \quad (50)$$

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{п.0}}, \quad (51)$$

– по термической стойкости:

$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}), \quad (52)$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}), \quad (52)$$

По вышеприведенным условиям выбираются разъединители РГН-110/1000 УХЛ1.

Разъединители РГН-110/1000 УХЛ1 – это силовые разъединители напряжением 110 кВ, предназначенные для отключения участков электрических цепей в системах электроснабжения.

Они обладают следующими техническими характеристиками:

- номинальное напряжение: 110 кВ;
- номинальный ток: 1000 А;
- уровень напряжения импульсных перенапряжений: 550 кВ.

Эти разъединители отвечают высоким требованиям по надежности и безопасности, что является важным при выборе оборудования для систем электроснабжения.

Они могут использоваться в различных условиях эксплуатации и обеспечивают высокую степень защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий.

Измерительные ТТ выбирают [8]:

– по напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (54)$$

– по номинальному току:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}, \quad (55)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток.

– по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} \geq i_y, \quad (56)$$

где $i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости.

– по термической стойкости:

$$B_K = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (57)$$

$$B_K = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (58)$$

– по вторичной нагрузке:

$$z_{2\text{ном}} \geq z_2, \quad (59)$$

где $z_{2\text{ном}}$ – «сопротивление номинальной вторичной нагрузки ТТ» [8];

z_2 – «сопротивление необходимой вторичной нагрузки» [8].

Выбираются трансформаторы тока ТОГ–110-200/5 У1. Они обладают следующими техническими характеристиками:

- номинальное напряжение: 110 кВ;
- номинальный ток: 200 А;
- класс точности: 0,5.

Эти трансформаторы могут использоваться для измерения тока в различных условиях эксплуатации, их номинальный ток позволяет использовать их для измерения тока как в небольших, так и в крупных цепях. Класс точности 0,5 обеспечивает высокую точность измерения.

«Трансформаторы напряжения выбирают по» [8]:

- по напряжению электросети:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (60)$$

- по вторичной нагрузке:

$$S_{\text{ном2}} \geq S_2, \quad (61)$$

где $S_{\text{ном2}}$ – номинальная вторичная нагрузка ТН;

S_2 – необходимая вторичная нагрузка.

Выбираются трансформаторы напряжения ЗНОГ-110.

Ограничитель перенапряжения (ОПН) в нейтрали трансформаторов 110 кВ предназначен для защиты трансформатора от перенапряжений, возникающих в нейтральной точке при несимметричных режимах работы электрических систем. При несимметричных режимах на трансформатор могут действовать значительные наведенные напряжения, которые приводят к возникновению повышенных токов в обмотке нейтрали трансформатора и повреждению его изоляции. Расчет ОПН в нейтрали трансформаторов 110 кВ должен выполняться с учетом параметров электросети, в которую трансформатор будет подключен, а также требований нормативных

документов. Расчет должен учитывать номинальное напряжение трансформатора, номинальный ток, коэффициент короткого замыкания, класс точности, а также сопротивление заземления. Правильный расчет ОПН в нейтрали трансформаторов 110 кВ позволит обеспечить безопасную и надежную работу трансформатора в условиях эксплуатации.

«Ошиновка ОРУ осуществляется проводами АС–95/16, выполняется на подвесных изоляторах в виде гирлянд, которые состоят из последовательно сцепленных изоляторов марки ПФ 6–А. Число изоляторов в гирлянде 7 штук, в натяжных гирляндах 8 штук» [8].

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР проведен расчет внешнего электроснабжения и оборудования на стороне ВН ГПП. Разработана оптимальная схема электроснабжения завода, которая соответствует требованиям надежности, эффективности и экономичности, выбраны питающие ЛЭП предприятия. Также выбрано оборудование на стороне 110 кВ ГПП, а именно выключатели ВГТ–110П–40/2500У1, разъединители РГН–110/1000 УХЛ1 и прочее оборудование.

6 Расчет токов короткого замыкания

«Расчётная схема для расчёта ТКЗ представлена на рисунке 4» [15].

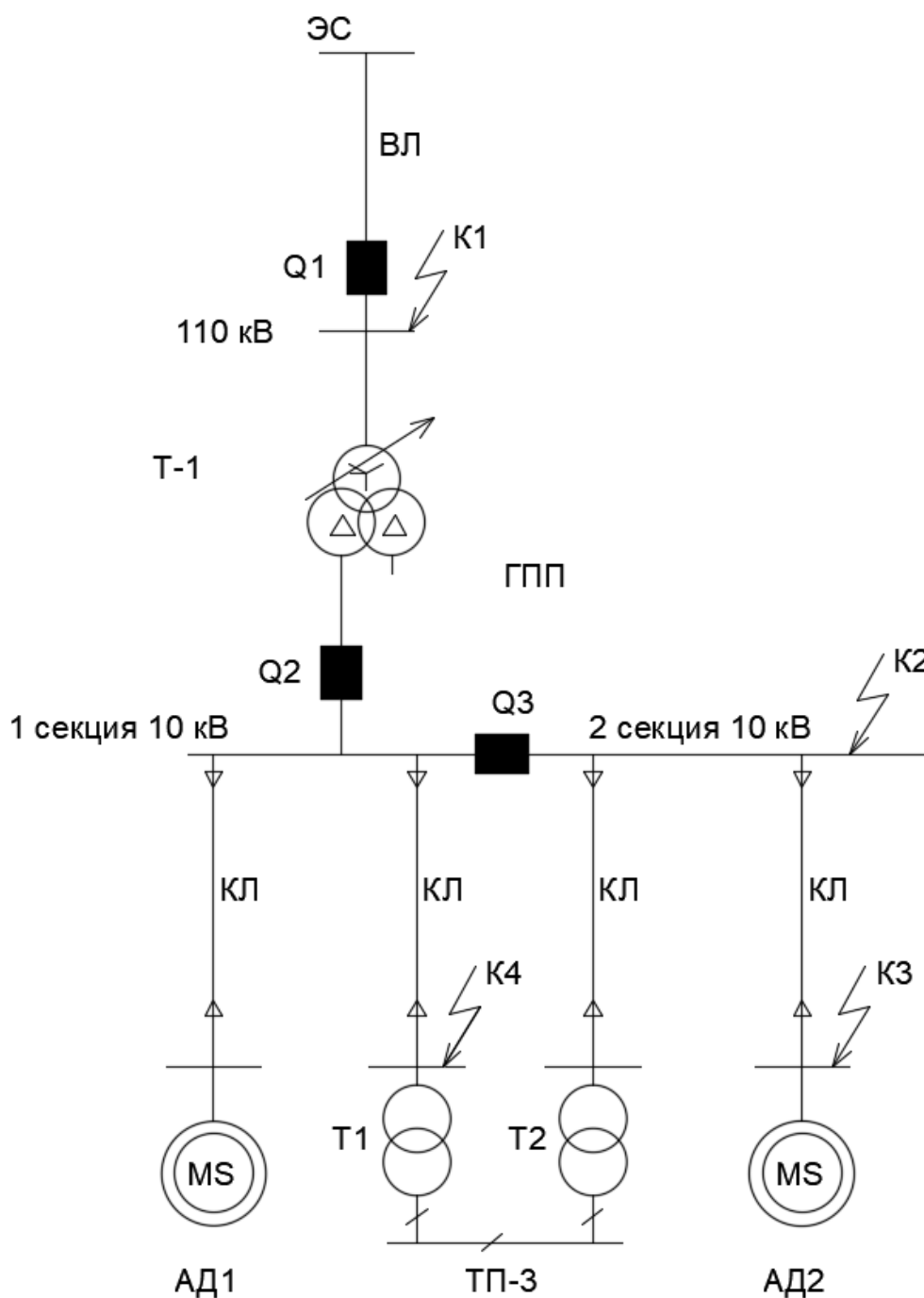


Рисунок 4 – Расчетная схема для расчёта ТКЗ

«Схема замещения приведена на рисунке 5» [15].

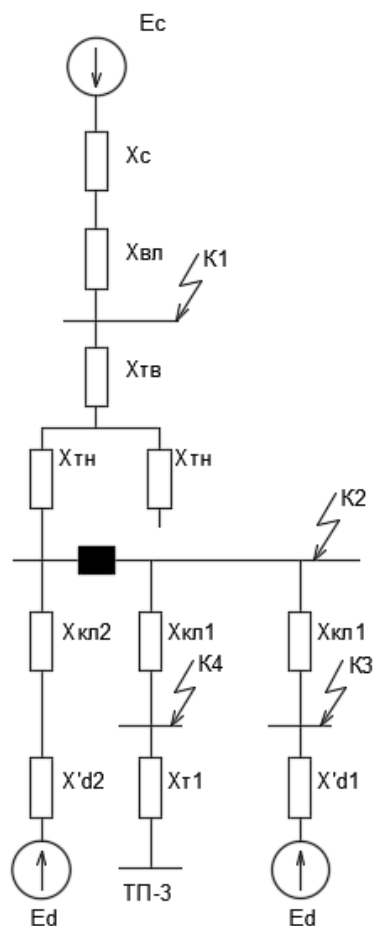


Рисунок 5 – Расчетная схема замещения

Расчет токов короткого замыкания является важной частью проектирования электроснабжения промышленного предприятия, так как он позволяет определить величину тока, который может возникнуть при коротком замыкании в электрической сети. Расчет проводится с целью выбора соответствующего оборудования, которое должно выдерживать такие токи, и для оценки безопасности работников на объекте.

Расчет проводится на основе знания параметров электрической сети, таких как сопротивления проводников, параметров трансформаторов, источников питания и других элементов сети. В результате расчета определяются токи короткого замыкания на всех участках сети.

В результате проведенного расчета определяется максимально возможный ток короткого замыкания на каждом участке сети и выбирается соответствующее оборудование, которое должно выдерживать данные токи.

«Расчет выполняется в о.е. При расчете параметров схемы замещения в о.е. требуется задаться величиной базисной мощности и определить величину базисного тока на различных ступенях трансформации» [15]:

$$I_{Bi} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (62)$$

где S_B – «базисная мощность, задается $S_B = 100$ МВА» [15];

U_B – «напряжение на i -ой ступени, кВ» [15].

$$I_{B1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА};$$

$$I_{B2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

«Рассчитываются сопротивления элементов схемы замещения» [15].

Сопротивление энергосистемы [15]:

$$X_c = X_{*ЭС} = \frac{S_B}{S_C}, \quad (63)$$

$$X_c = X_{*ЭС} = \frac{100}{3500} = 0,029 \text{ о. е.}$$

Сопротивление ЛЭП 110 кВ [15]:

$$X_{ВЛ} = X_{*1} = X_0 \cdot L_0 \cdot \frac{S_B}{U_{cp}^2} \quad (64)$$

$$X_{ВЛ} = X_{*1} = 0,4 \cdot 15 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,045 \text{ о. е.}$$

Сопротивление трансформаторов ГПП [15]:

$$X_{ТВ} = \frac{u_k \cdot S_B}{100 \cdot S_{Т.НОМ}} \cdot \left(1 - \frac{K_P}{4}\right); \quad (65)$$

$$X_{ТН1} = X_{ТН2} = \frac{u_k \cdot S_B}{100 \cdot S_{Т.НОМ}} \cdot \left(\frac{K_P}{2}\right);$$

где $u_k = 10,5\%$ – напряжение КЗ трансформаторов ГПП;

$S_{Т.НОМ} = 25$ МВА – номинальная мощность трансформаторов ГПП;

K_P – коэффициент расщепления [15].

$$K_P = 4 \cdot \left(\frac{u_{кВН1}}{u_{кВН}} - 1\right); \quad (66)$$

$$K_P = 4 \cdot \left(\frac{30}{10,5} - 1\right) = 7,429 \text{ о. е.};$$

$$X_{ТВ} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 25} \cdot \left(1 - \frac{7,429}{4}\right) = 0,36 \text{ о. е.};$$

$$X_{ТН1} = X_{ТН2} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 25} \cdot \left(\frac{7,429}{2}\right) = 1,56 \text{ о. е.}$$

Сопротивление кабеля питающего ТП–3 [15]:

$$X_{кЛi} = X_{0кЛ} \cdot L_{кЛi} \cdot \frac{S_B}{U_{cp}^2}, \quad (67)$$

где $X_{0кЛ} = 0,08$ Ом/км – удельное реактивное сопротивление КЛ, питающей ТП–3, Ом/км;

$L_{кЛ3} = 0,39$ км – протяженность кабельной линии, которая питает ТП–3, км.

Сопротивление кабеля питающего ТП–3:

$$X_{кЛ3} = 0,08 \cdot 0,39 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,029 \text{ о. е.}$$

Сопротивление кабеля, который питает АД компрессорной АД-1 и АД-2:

$$X_{\text{кабл-1}} = 0,08 \cdot 0,137 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{кабл-2}} = 0,08 \cdot 0,142 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

Начальная величина периодической составляющей ТКЗ [15]:

$$I_{\text{поi}} = \frac{E_{\Sigma i}}{x_{\Sigma i}} \cdot I_{\text{Би}}, \quad (68)$$

где $x_{\Sigma i}$ – «суммарное сопротивление до т. КЗ, о.е.» [15];

$E_{\Sigma i}$ – «суммарная ЭДС ИП, о.е.» [15].

«Для точки К1» [15]:

$$x_{\Sigma 1} = x_c + x_{\text{вл}}; \quad (69)$$

$$x_{\Sigma 1} = 0,029 + 0,045 = 0,074 \text{ о.е.};$$

$$I_{\text{пол}} = \frac{1,0}{0,074} \cdot 0,5 = 6,75 \text{ кА.}$$

«Для точки К2» [15]:

$$x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma 1} + x_{\text{тв}} + x_{\text{тн}}; \quad (70)$$

$$x_{\Sigma 2} = 0,074 + 0,36 + 1,56 = 1,994 \text{ о.е.}$$

«Начальная величина периодической составляющей ТКЗ для т. К2 не учитывая подпитку от электрических двигателей» [15]:

$$I'_{\text{под2}} = \frac{1,0}{1,994} \cdot 5,5 = 2,85 \text{ кА.}$$

«Определяется ток подпитки т. К2 от АД» [15]:

$$I_{\text{под2}} = \frac{E_{\text{под2}}}{x_{\text{под2}}} \cdot I_{\text{Б2}}, \quad (71)$$

где $x_{\text{под2}}$ – «сопротивление подпитки для т. К2» [15]

$$x_{\text{под2}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{x_{\text{кли}} + x''_d}}, \quad (72)$$

где x''_d – «сверхпереходное сопротивление электродвигателей, о.е. (принимается $x''_d = 0,15$ о.е.) и приводится его к базисным условиям» [15]

$$x''_d = \underline{x''_d} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ном}}}, \quad (73)$$

где $S_{\text{ном}}$ – «номинальная мощность СД» [15],

$$S_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\cos\varphi}, \quad (74)$$

где $P_{\text{ном}}$ – «номинальная активная мощность АД, кВт» [15];

$\cos\varphi$ – «коэффициент мощности, $\cos\varphi = 0,85$ » [15].

$$S_{\text{ном1}} = S_{\text{ном2}} = \frac{1000}{0,85} = 1176,45 \text{ кВА,}$$

$$x''_d = 0,15 \cdot \frac{100}{1,18} = 12,71 \text{ о.е.,}$$

$$x_{\text{под2}} = \frac{1}{\frac{1}{0,01 + 12,71} + \frac{1}{0,01 + 12,71}} = 6,36 \text{ о.е.,}$$

где $E_{\text{под.2}}$ – «ЭДС электродвигателей, о.е. Так как ЭДС всех электродвигателей одинаковые, то $E_{\text{под.2}} = E_d = 1,07$ о.е.» [15].

$$I_{\text{под2}} = \frac{1,07}{6,36} \cdot 5,5 = 0,93 \text{ кА.}$$

«Итоговое значение ТКЗ с учётом тока подпитки, кА» [15]:

$$I_{\text{по2}} = I'_{\text{по2}} + I_{\text{под2}}, \quad (75)$$

$$I_{\text{по2}} = 2,84 + 0,93 = 3,77 \text{ кА.}$$

Для т. КЗ:

$$x_{\Sigma 3} = x_{\Sigma 2} + x_{\text{кЛ.АД}}; \quad (76)$$

$$x_{\Sigma 3} = 1,994 + 0,01 = 2,004 \text{ о.е.}$$

«Начальная величина периодической составляющей ТКЗ для т. КЗ не учитывая подпитку от электрических двигателей» [15]:

$$I'_{\text{по3}} = \frac{1,0}{2,004} \cdot 5,5 = 2,75 \text{ кА.}$$

«Определяется ток подпитки т. КЗ от электродвигателей» [15]:

$$I_{\text{под3}} = \frac{E_{\text{под3}}}{x_{\text{под3}}} \cdot I_{\text{Б2}}, \quad (77)$$

где $x_{\text{под3}}$. – «сопротивление подпитки для т. КЗ» [15].

$$x_{\text{подз}} = \frac{x_d'' \cdot (x_1 + x_{\text{кЛД1}})}{x_d'' + (x_1 + x_{\text{кЛД1}})} \quad (78)$$

$$x_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{x_{\text{кЛи}} + x_d''}} \quad (79)$$

$$x_1 = \frac{1}{0,01 + 12,71} = 12,72 \text{ о.е.},$$

$$x_{\text{подз}} = \frac{12,71 \cdot (12,72 + 0,01)}{12,71 + (12,72 + 0,01)} = 6,36 \text{ о.е.},$$

$$I_{\text{подз}} = \frac{1,07}{6,36} \cdot 5,5 = 0,92 \text{ кА.}$$

«Итоговая величина ТКЗ с учётом тока подпитки, кА» [15]:

$$I_{\text{поз}} = I'_{\text{поз}} + I_{\text{подз}}, \quad (80)$$

$$I_{\text{поз}} = 2,75 + 0,92 = 3,67 \text{ кА.}$$

Для т. К4:

$$x_{\Sigma 4} = x_{\Sigma 2} + x_{\text{кЛТП}}; \quad (81)$$

$$x_{\Sigma 4} = 1,994 + 0,035 = 2,029 \text{ о.е.}$$

«Начальная величина периодической составляющей ТКЗ для т. К3 не учитывая подпитку от электрических двигателей» [15]:

$$I'_{\text{поз}} = \frac{1,0}{2,029} \cdot 5,5 = 2,71 \text{ кА.}$$

«Определяется ток подпитки т. К4 от электродвигателей» [15]:

$$I_{\text{под4}} = \frac{E_{\text{под4}}}{x_{\text{под4}}} \cdot I_{\text{Б2}}, \quad (82)$$

где $x_{\text{под4}}$ – «сопротивление подпитки для т. К4» [15].

$$x_{\text{под4}} = x_{\text{клТТЗ}} + x_{\text{под2}}, \quad (83)$$

$$x_{\text{под4}} = 0,035 + 6,36 = 6,39 \text{ о.е.};$$

$$I_{\text{под4}} = \frac{1,07}{6,39} \cdot 5,5 = 0,92 \text{ кА.}$$

«Итоговое значение ТКЗ с учётом тока подпитки, кА» [15]:

$$I_{\text{по4}} = I'_{\text{по4}} + I_{\text{под4}}, \quad (84)$$

$$I_{\text{по4}} = 2,71 + 0,92 = 3,63 \text{ кА.}$$

«Определяются ударные ТКЗ i_y » [15]:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot k_y, \quad (85)$$

где k_y – «ударный коэффициент, о.е.» [15];

– для т. К1:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 6,75 \cdot 1,8 = 17,18 \text{ кА,}$$

– для т. К2:

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 3,77 \cdot 1,92 = 10,24 \text{ кА,}$$

– для т. К3:

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot 3,67 \cdot 1,8 = 9,34 \text{ кА},$$

– для т. К4:

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot 3,63 \cdot 1,7 = 8,72 \text{ кА}.$$

«Действующее значение аperiodической составляющей ТКЗ» [15]:

$$i_{a,t} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}, \quad (86)$$

где T_a – постоянная;

t – «время отключения выключателя» [15];

– т. К1:

$$i_{a,t1} = \sqrt{2} \cdot 6,75 \cdot e^{-\frac{0,01}{0,05}} = 7,82 \text{ кА};$$

– т. К2:

$$i_{a,t2} = \sqrt{2} \cdot 3,77 \cdot e^{-\frac{0,01}{0,12}} = 4,91 \text{ кА};$$

– т. К3:

$$i_{a,t3} = \sqrt{2} \cdot 3,67 \cdot e^{-\frac{0,01}{0,05}} = 4,25 \text{ кА};$$

– т. К4:

$$i_{a,t3} = \sqrt{2} \cdot 3,63 \cdot e^{\frac{0,01}{0,03}} = 3,68 \text{ кА.}$$

«Определяется тепловой импульс тока V_K » [15]:

$$V_K = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (87)$$

где $t_{\text{отк}}$ – «полное время отключения ТКЗ» [15],

– т. К1:

$$V_{K1} = 6,75^2 \cdot (0,17 + 0,05) = 10,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

– т. К2:

$$V_{K2} = 3,77^2 \cdot (0,57 + 0,12) = 24,02 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

– т. К3:

$$V_{K3} = 3,67^2 \cdot (0,57 + 0,05) = 8,35 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

– т. К4:

$$V_{K4} = 3,63^2 \cdot (0,57 + 0,03) = 7,91 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

«Результаты расчета токов КЗ приведены в таблице 16» [15].

Таблица 16 – Результаты расчета токов КЗ

Точка К.З.	$I_{п.о.}, \text{кА}$	$I_{под.}, \text{кА}$	$I_{п. о}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$i_{a. t}, \text{кА}$	$Вк, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$
К1	6,75	0	6,75	17,18	7,82	10,02
К2	2,84	0,93	3,77	10,24	4,91	24,02
К3	2,75	0,92	3,67	9,34	4,25	8,35
К4	2,71	0,92	3,63	8,72	3,68	7,91

Выводы по разделу шесть.

В шестом разделе ВКР рассчитаны токи КЗ проектируемого завода. Данные токи необходимы для выбора электрического оборудования.

В расчетах учтены нормативные документы и стандарты, которые регулируют проектирование и эксплуатацию электроустановок.

Правильный расчет токов короткого замыкания является ключевым фактором в обеспечении безопасности работников на объекте и надежной работе электрооборудования.

7 Выбор электрооборудования завода

«ЗРУ 10 кВ выполняется комплектным, состоит из ячеек марки К–104М с вакуумными выключателями типа ВВ/TEL–10. Для выбора оборудования ячеек КРУ необходимо рассчитать токи продолжительного режима работы электрического оборудования 10 кВ» [21]. Выбор такого типа ячеек обусловлен их преимуществами перед другими типами выключателей, такими как газовые и масляные выключатели. Вакуумные выключатели не требуют регулярного обслуживания, имеют более низкие потери и более высокую скорость срабатывания, что обеспечивает быстрое и точное управление электропитанием. При выборе ЗРУ также учитывались требования энергоснабжения завода, а также возможности эксплуатации и обслуживания. Кроме того, были учтены нормативные документы и стандарты, регламентирующие использование электрооборудования.

«Расчётный ток для ячейки, отходящей ЛЭП к ЦТП» [6]:

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot S_{T.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (88)$$

где $S_{T.ном}$ – «номинальная мощность трансформатора ЦТП, кВА» [6];

$U_{ном}$ – «номинальное напряжение сети на стороне ВН, кВ» [6].

$$I_{p.max(ТП1)} = \frac{1,4 \cdot 2500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 202,31 \text{ А};$$

$$I_{p.max(ТП-4)} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,3 \text{ А};$$

$$I_{p.max(ТП-5)} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,8 \text{ А}.$$

«Расчётный ток для ячейки, отходящей ЛЭП к электрическим двигателям» [6]:

$$I_{p.max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (89)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение двигателя, кВ;

$\cos \varphi$ – «коэффициент мощности двигателя, о.е.» [6];

η – КПД двигателя.

$$I_{p.max} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 0,949} = 71,57 \text{ А.}$$

«Расчётный ток для ячейки отходящей ЛЭП к ДСП» [6]:

$$I_{p.max} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (90)$$

где $S_{ном}$ – «номинальная мощность ДСП, кВА» [6];

$U_{ном}$ – «номинальное напряжение ДСП, кВ» [6].

$$I_{p.max} = \frac{5517}{\sqrt{3} \cdot 10} = 318,92 \text{ А.}$$

«Расчётный ток для вводной ячейки ЗРУ 10 кВ» [6]:

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot 17430}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1410,52 \text{ А.}$$

Секционную ячейку рассчитывают на половину тока вводной ячейки:

$$I_{p.max} = \frac{1410,52}{2} = 705,26 \text{ А.}$$

В ячейках марки К–104М устанавливаются вакуумные выключатели типа ВВ/TEL–10-20/630 У3 и трансформаторы тока ТЛК-10 разными первичными токами. На вводной ячейке устанавливаются выключатели ВВ/TEL–10-20/1600 У3 и трансформаторы тока ТЛК-10-1500/5 У3.

В РУ 10 кВ принимается к установке трансформатор напряжения НТМИ–10У3, который предназначен для измерения напряжения в электрических сетях с номинальным напряжением 10 кВ и частотой 50 Гц. Он обеспечивает преобразование высокого напряжения в низкое, что позволяет безопасно измерять и контролировать напряжение в сети. Трансформатор напряжения НТМИ–10У3 имеет следующие технические характеристики:

- номинальное напряжение на первичной обмотке: 10 кВ;
- номинальное напряжение на вторичной обмотке: 100 В;
- точность класса 0,5;
- мощность 10 ВА;
- исполнение – для наружной установки;
- диапазон рабочих температур от -40 °С до +50 °С.

Трансформатор напряжения НТМИ–10У3 обеспечивает высокую точность измерения напряжения, что позволяет использовать его для контроля качества электроэнергии, а также для защиты электрооборудования от повышенного напряжения.

Для защиты от перенапряжений применяются ограничители перенапряжения ОПН–КР/TEL–10УХЛ1.

Собственные нужды ГПП предприятия включают в себя электрооборудование, необходимое для обеспечения нормального функционирования подстанции и поддержания ее работы в рабочем состоянии.

Расчет собственных нужд ГПП предприятия производится с учетом максимальной суммарной мощности электроприемников, которые будут работать одновременно. Для этого проводится анализ потребления

электроэнергии каждого оборудования и определяется максимальный суммарный расход электроэнергии.

Выбор оборудования для собственных нужд ГПП завода 10 кВ производится в соответствии с требованиями нормативных документов и техническими характеристиками оборудования, а также с учетом расчетных параметров сети. Важным фактором является также надежность и безопасность эксплуатации оборудования.

«Электроприемники СН ГПП приведены в таблице 17» [6].

Таблица 17 – Электроприемники собственных нужд ГПП

Потребители	Установленная мощность		cosφ	tgφ	Нагрузка	
	Единицы, кВт х кол-во	Всего, кВт			P _{уст} , кВт	Q _{уст} , квар
Охлаждение трансформаторов ТРДН–25000/110	2,5×2	5	0,85	0,62	5	3,1
Подогрев выключателей ВГТ–110П–40/2500У1	1,6×2	3,2	1	0	3,2	–
Подогрев разъединителей РГН–110/1000УХЛ1	0,9×6	5,4	1	0	3,6	–
Привод выключателей ВВ/TEL–10	0,55××5	2,7	0,9	0,48	2,7	1,3
Отопление, электроосвещение, вентиляция ОПУ	–	10	1	0	10	–
Отопление, электроосвещение, вентиляция ЗРУ	–	7	1	0	7	–
Электроосвещение ОРУ 110 кВ	–	2	1	0	2	–
ШУОТ	10×2	20	1	0	20	–
Итого	-	-	-	-	53,5	4,4

Суммарная расчетная мощность потребителей СН

$$S_{\text{расч}} = k_c \cdot \sqrt{(\sum P_{\text{уст}i})^2 + (\sum Q_{\text{уст}i})^2}; \quad (91)$$

где k_c – «коэффициент спроса, который учитывает коэффициенты загрузки и одновременности, $k_c = 0,8$ » [28].

$$S_{\text{расч}} = 0,8 \cdot \sqrt{53,5^2 + 4,4^2} = 42,9 \text{ кВА.}$$

«Выбираются трансформаторы ТМ–63/10 с номинальной мощностью 63 кВА» [20].

Для защиты трансформатора собственных нужд применяются предохранители ПКТ–101–10–12,5У1.

Для подстанции напряжением 110 кВ с числом выключателей три и более рекомендуется применять постоянный оперативный ток с установкой аккумуляторных батарей и обслуживающим персоналом для обслуживания сборных шин ВН и НН.

Выводы по разделу.

В седьмом разделе ВКР выбрано электрооборудование завода. В ЗРУ–10 кВ выбраны выключатели ВВ/TEL–10, трансформаторы тока ТЛК–10, трансформаторы напряжения НТМИ–10У3, ограничитель перенапряжения ОПН–КР/TEL–10УХЛ1. Для питания цеховых ТП и высоковольтной нагрузки выбраны кабели 10 кВ типа АПвПг различных сечений. Для питания собственных нужд ГПП выбраны два трансформатора ТМ–63/10, которые подключаются через предохранители ПКТ–101–10–12,5У1.

8 Расчет распределительной сети завода

При выборе кабельных линий 10 кВ для предприятия необходимо учитывать несколько факторов, таких как длина линий, мощность передаваемой электроэнергии, климатические условия и требования к безопасности. Для обеспечения надежности и безопасности электроснабжения предприятия, были выбраны кабельные линии с повышенными характеристиками, соответствующие требованиям РД 34.45-51.300-97 «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на напряжение 1-35 кВ включительно. Общие технические условия».

«КЛ, по которым ЦТП подключены от ГПП, прокладывают в траншее и по эстакадам. Для прокладки по эстакадам применяются кабели марки АПвПг» [17].

«Выбор сечений кабеля осуществляется по трем параметрам:

- по ЭПТ;
- по нагреву;
- по термической стойкости к ТКЗ» [17].

«Выбор кабельных линий рассматривается на примере ТП–3 (2х1000 кВА)» [17].

«Выбираются кабели по ЭПТ по» [17]

$$q_э = \frac{I_{\text{норм}}}{j_э}; \quad (92)$$

где $j_э$ – «ЭПТ, $j_э = 1,7 \text{ А/мм}^2$ для кабелей с алюминиевыми жилами СПЭ–изоляцией при $3000 < T_{\text{ма}} < 5000 \text{ час/год}$ » [12];

$I_{\text{норм}}$ – «ток нормального режима, А» [17].

Для ТП:

$$I_{\text{норм}} = \frac{k_3 \cdot S_{\text{т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (93)$$

«Для АД и печей» [17]:

$$I_{\text{норм}} = I_{\text{р.мах}}; \quad (94)$$

где k_3 – «коэффициент загрузки трансформатора, о.е.» [17]

$$I_{\text{норм}} = \frac{0,8 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46,24 \text{ А};$$

$$q_3 = \frac{46,24}{1,7} = 27,2 \text{ мм}^2.$$

«Принимается кабель марки АПвПг, $q = 35 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}} = 110 \text{ А}$ » [17].

Проверка сечения кабельных линий на перегрев является важным этапом при выборе кабелей для электроснабжения предприятия. Перегрев кабельных линий может привести к их повреждению и нарушению работы электросети, поэтому необходимо убедиться, что выбранные кабели справятся с передаваемой нагрузкой и не будут перегреваться [17]:

$$I_{\text{мах}} \leq I_{\text{доп}};$$

$46,24 < 110 \text{ А}$ – условие выполняется.

При выборе кабельных линий необходимо учитывать возможность возникновения токов короткого замыкания (ТКЗ) и их термическое воздействие на кабели. Для этого проводится проверка на термическое действие ТКЗ.

Во время короткого замыкания в кабеле возникает тепловая мощность, которая распределяется по длине кабеля. Это приводит к повышению температуры кабеля и может привести к его перегреву и повреждению. Для определения термического воздействия ТКЗ на кабели проводится расчет с учетом параметров кабеля и длительности короткого замыкания.

Если расчет показывает, что термическое воздействие ТКЗ может привести к повреждению кабеля, то необходимо выбрать кабели с большим сечением или использовать специальные средства защиты от ТКЗ, такие как автоматические выключатели с тепловой защитой или токовые ограничители.

Таким образом, проверка на термическое действие ТКЗ является важным этапом при выборе кабельных линий и позволяет обеспечить надежное и безопасное функционирование электрооборудования [17]:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}; \quad (95)$$

$$q_{min} = \frac{\sqrt{7,91 \cdot 10^6}}{94} = 29,91 \text{ мм}^2;$$

$$q_{min} \leq q. \quad (96)$$

Принимается $q_{min} \leq 35 \text{ мм}^2$.

$29,91 \text{ мм}^2 \leq 35 \text{ мм}^2$ – условие выполнено.

«Таким образом, принимается кабель АПвПг, $U = 10\text{кВ}$, одножильный, сечением 35 мм^2 , $I_{доп} = 140 \text{ А}$.

Для остальных электроприемников выбор кабелей выполняется аналогично, результаты выбора даны в таблице 18» [17].

Таблица 18 – Выбор сечения кабельных линий

Параметры выбора							Выбор сечения (мм ²) по			
№ линии	Начало	Конец	Ip, А	Ip макс, А	Длина, км	Число кабелей в ветви	По допустимому току	По экономической плотности тока	По термической устойчивости	Окончательный выбор
1,2	ГПП	ТП – 1.1	25,3	32,9	0,13	2	3×50	3×70	3×35	3×70
3,4	ГПП	ТП – 1.2	25,3	32,9	0,13	2	3×50	3×70	3×35	3×70
5,6	ГПП	ТП – 1.3	25,3	32,9	0,13	2	3×50	3×70	3×35	3×70
7,8	ГПП	ТП – 1.4	25,3	32,9	0,13	2	3×50	3×70	3×35	3×70
9,10	ГПП	ТП–2	73,99	96,185	0,21	2	3×35	3×50	3×35	3×50
11,12	ГПП	ТП–3	29,13	37,873	0,415	2	3×16	3×25	3×35	3×35
13,14	ГПП	ТП–4	40,46	52,601	0,335	2	3×16	3×25	3×35	3×35
15,16	ГПП	ТП–5	25,49	33,139	0,194	2	3×16	3×25	3×35	3×35
17,18	ГПП	ТП–6	73,99	96,185	0,14	2	3×35	3×50	3×35	3×50
19,20	ГПП	ТП–7	86,71	112,72	0,115	2	3×50	3×70	3×35	3×70
21,22	ГПП	ТП–8	40,46	52,601	0,2	2	3×16	3×25	3×35	3×35
23,24	ГПП	ТП–9	34,68	45,087	0,043	2	3×16	3×25	3×35	3×35
25	ГПП	АД1	57,80	57,80	0,175	1	3×35	3×50	3×35	3×50
26	ГПП	АД2	57,80	57,80	0,75	1	3×35	3×50	3×35	3×50
27	ГПП	ДСП1	277,46	277,46	0,125	1	3×95	3×70	3×35	3×95
28	ГПП	ДСП2	277,46	277,46	0,13	1	3×95	3м70	3×35	3×95

Выводы по разделу восемь.

В восьмом разделе ВКР выбраны кабельные линии завода продольно–строгальных станков.

9 Молниезащита и заземление ГПП

9.1 Молниезащита ГПП

Молниезащита ГПП – это система мероприятий, направленных на защиту оборудования от повреждений, вызванных высоковольтными разрядами, которые могут возникнуть в результате грозовых разрядов. Молниезащита имеет большое значение для обеспечения надежной работы электрооборудования, а также для безопасности персонала.

При проектировании молниезащиты ГПП необходимо учитывать местные климатические условия, географическое положение объекта, конструктивные особенности зданий и оборудования, а также стандарты и нормы безопасности. Расчет молниезащиты проводится на основе методики, утвержденной в соответствии с ГОСТ Р 50597-2017 «Защита от молний. Молниезащита сооружений и промышленных объектов» [5]. «Защита ОРУ – 110 кВ выполняется молниеотводами, которые установлены на порталах, а ЗРУ – 10 кВ, молниеотводами, которые установлены на здании ЗРУ» [16].

«Зона защиты четырех стержневых молниеотводов рассчитывается по выражению» [23]:

$$r_x = h_a \cdot \left[\frac{1,6}{1 + \frac{h_x \cdot p}{h}} \right], \quad (97)$$

где r_x – радиус действия молниеотвода, м;

h_a – активная высота молниеотвода, м;

h_x – «высота самых выступающих элементов ОРУ, м» [23];

h – высота молниеотвода, м.

$$h_a = h - h_x, \quad (98)$$

где p – коэффициент, который равен 1, если высота молниеотвода $h < 30$ м.

«Наименьшая ширина зоны защиты b_x » [16]:

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot \left[\frac{7 \cdot h_a - a}{14 \cdot h_a - a} \right], \quad (99)$$

где a – «расстояние между молниеотводами, м» [19].

«Объект, высота которого h_x внутри зоны защиты, будет защищён, если будет выполняться условие» [16]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (100)$$

где D – большая диагональ 4-угольника, м.

Зона защиты молниеотводов М1 – М4. Высота молниеотвода $h = 19$ м. Активная высота молниеотвода $h_a = 8$ м;

Высота самых выступающих элементов ОРУ $h_x = 11$ м.

$$r_x = 8 \cdot \left[\frac{1,6}{1 + \frac{11}{19} \cdot 1} \right] = 8,11 \text{ м};$$

$$b_x^I = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[\frac{7 \cdot 8 - 21}{14 \cdot 8 - 21} \right] = 12,48 \text{ м};$$

$$\frac{b_x^I}{2} = 6,24 \text{ м};$$

$$b_x^I = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[\frac{7 \cdot 8 - 43,5}{14 \cdot 8 - 43,5} \right] = 5,92 \text{ м};$$

$$\frac{b_x^I}{2} = 2,96 \text{ м}.$$

Проверяется условие (100):

$$D_1 \leq 8 \cdot 8 \cdot 1 = 64 \text{ м},$$

$$D_1 = \sqrt{21^2 + 43,5^2} = 48,3 \text{ м} < 64 \text{ м} - \text{условие выполняется.}$$

«Зона защиты молниеотводов М₅ и М₆» [23].

Высота $h = 17$ м. Активная высота $h_a = 12$ м;

Высота самых выступающих элементов ЗРУ $h_x = 5$ м.

$$r_x = 12 \cdot \left[\frac{1,6}{1 + \frac{5}{17} \cdot 1} \right] = 14,84 \text{ м};$$

$$b_x^I = 4 \cdot 14,84 \cdot \left[\frac{7 \cdot 12 - 30}{14 \cdot 12 - 30} \right] = 23,22 \text{ м};$$

$$\frac{b_x^I}{2} = 11,61 \text{ м};$$

$$b_x^I = 4 \cdot 14,84 \cdot \left[\frac{7 \cdot 12 - 6}{14 \cdot 12 - 6} \right] = 28,58 \text{ м};$$

$$\frac{b_x^I}{2} = 14,29 \text{ м}.$$

Проверяется условие (100):

$$D_2 \leq 8 \cdot 12 \cdot 1 = 96 \text{ м},$$

$$D_1 = \sqrt{30^2 + 6^2} = 30,6 \text{ м} < 96 \text{ м} - \text{условие выполняется.}$$

«Таким образом, вся территория ГПП на высоте h_x защищена от прямых ударов молнии» [23].

«Схема защиты молниеотводами ГПП от прямых ударов молнии представлена на рисунке 6» [23].

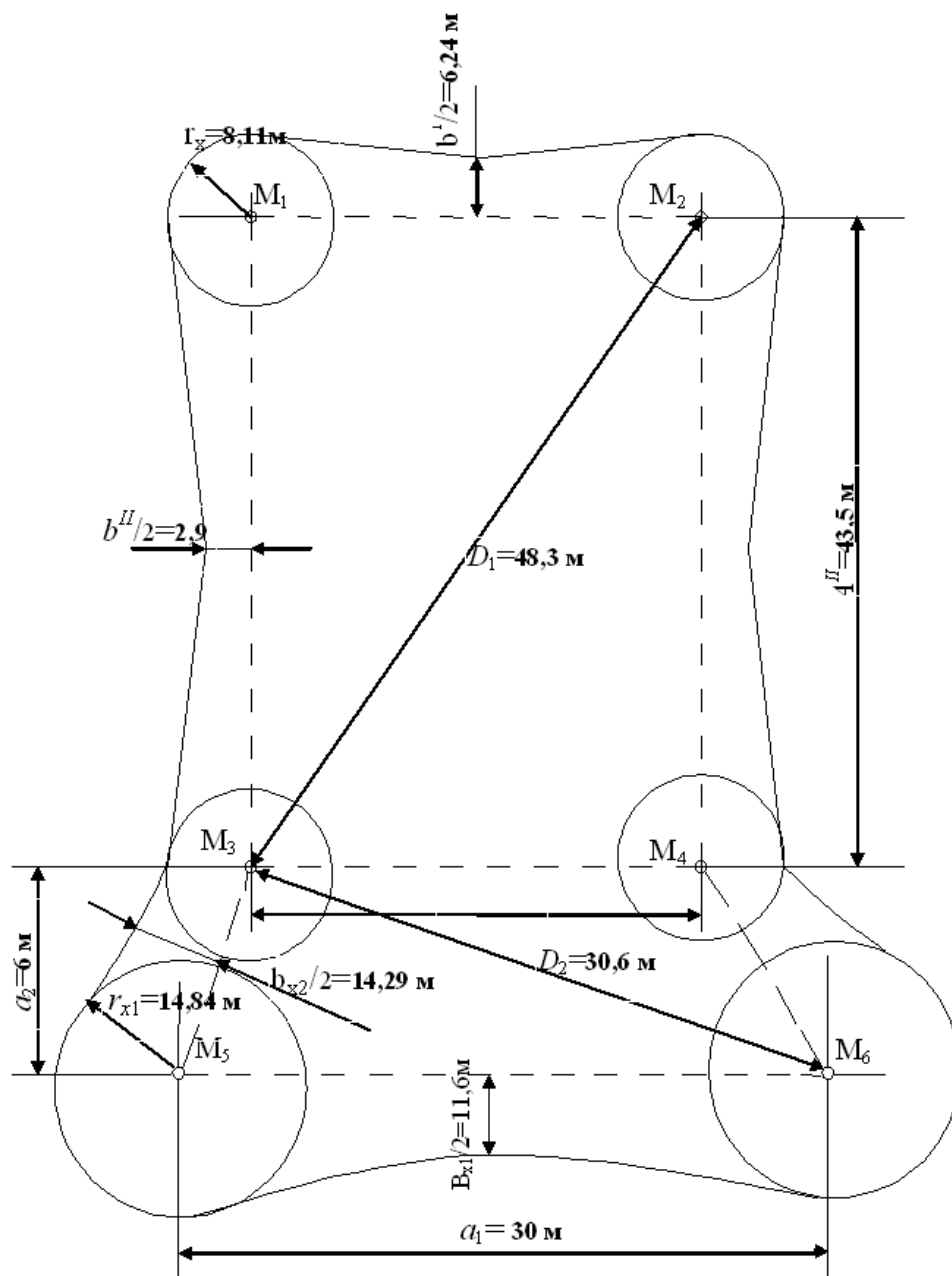


Рисунок 6 – Молниезащита ГПП

9.2 Заземление ГПП

Заземление ГПП – это процесс создания электрического соединения между электрической установкой и землей, который необходим для обеспечения безопасности людей и оборудования в случае возникновения различных аварийных ситуаций. Заземление включает в себя использование специальных заземляющих устройств, а также соответствующей схемы и технологии монтажа. В процессе проектирования заземления ГПП

необходимо учитывать множество факторов, таких как тип почвы, уровень грунтовых вод, планировка территории, технические характеристики оборудования и многие другие. В зависимости от этих факторов могут использоваться различные методы заземления, например, вертикальные заземляющие устройства (как правило, применяются на территориях с глубоким уровнем грунтовых вод), горизонтальные заземляющие устройства (используются на территориях с поверхностным типом почвы) или комбинированные методы.

Действительный план заземляющего устройства показан на рисунке 7.

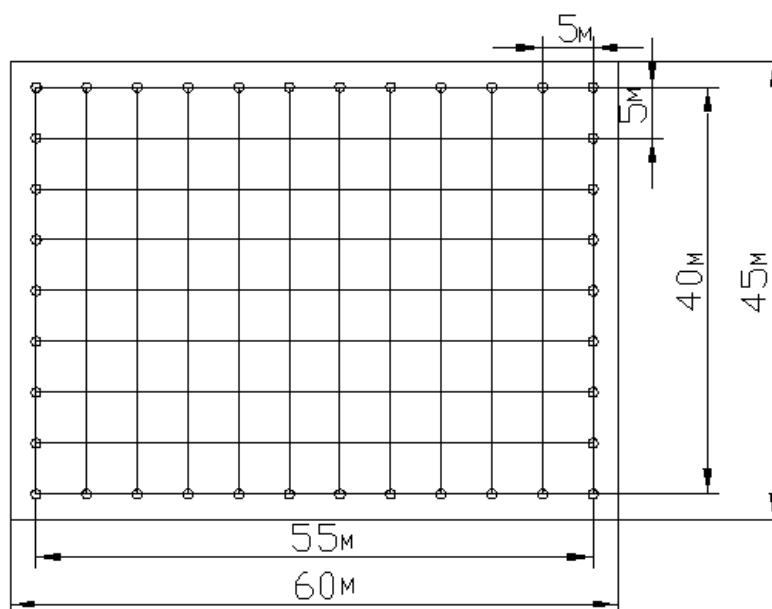


Рисунок 7 – План заземляющего устройства

Вышеприведенный план преобразуется в расчётную квадратную модель со стороной \sqrt{S} , показанную на рисунке 8.

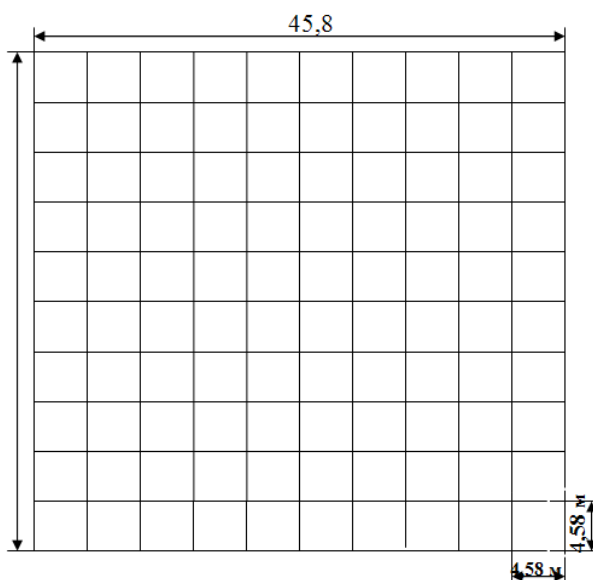


Рисунок 8 – Расчетная модель

«Площадь подстанции составляет 2200 м² (40 м х 55 м), площадь, используемая под заземление 2097,64 м² (45,8 м х 45,8 м)» [24].

Расстояние между полосами заземлителя – 5 м, длина вертикальных заземлителей – $l_B=5$ м, глубина заложения заземлителя – $t = 0,7$ м.

Расчётная длительность воздействия [24]:

$$\tau_B = t_{p3} + t_{ов}; \quad (101)$$

$$\tau_B = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с};$$

где t_{p3} – время действия PЗ, $t_{p3} = 0,01$ с;

$t_{ов} = 0,055$ – «полное время отключения выключателя на стороне 110 кВ» [24];

S – площадь заземления, м²;

l_B – длина вертикальных заземлителей, м;

t – глубина размещения заземления, м.

Коэффициент напряжения прикосновения (КНП) — это безразмерная величина, используемая для оценки безопасности электроустановок и обеспечения защиты людей от поражения электрическим током при

случайном касании частей электрооборудования. КНП зависит от ряда факторов, таких как величина напряжения, характер грунта, наличие заземления, время действия тока и т.д. Для разных типов помещений и оборудования существуют различные допустимые значения КНП. При расчете КНП учитываются номинальное напряжение сети, режим заземления, расположение оборудования, материалы поверхности пола, сопротивление грунта и другие параметры [24]:

$$k_{\text{п}} = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_{\text{в}} \cdot L_{\text{г}}}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}}, \quad (102)$$

где $l_{\text{в}}$ – «длина вертикального заземлителя, м» [24];

$L_{\text{г}}$ – «длина горизонтальных заземлителей, м» [24];

a – «расстояние между вертикальными заземлителями, м» [24];

S – «площадь заземляющего устройства, м²» [24];

β – «коэффициент, определяемый по сопротивлению тела человека

$R_{\text{ч}}$ и сопротивлению растекания тока от ступней $R_{\text{с}}$ » [24]:

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{с}}}. \quad (103)$$

В расчёте принимается:

$$R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}; R_{\text{с}} = 1,5 \cdot \rho_1.$$

$$\beta = \frac{1000}{(1000 + 1,5 \cdot 280)} = 0,7.$$

$$k_{\text{п}} = \frac{0,77 \cdot 0,7}{\left(\frac{5 \cdot 1035}{5 \cdot \sqrt{2100}} \right)^{0,45}} = 0,13.$$

«Общая протяженность проводников сетки» [24]:

$$L_{\Gamma} = 35 \cdot 9 + 60 \cdot 12 = 1035 \text{ м.} \quad (104)$$

Напряжение на заземлителе зависит от многих факторов, таких как величина тока замыкания, сопротивление заземления, расстояние между заземлителем и точкой замыкания и т.д. и определяется по формуле [24]:

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{k_{\text{П}}}; \quad (105)$$

$$U_3 = \frac{500}{0,13} = 3846 \text{ В.}$$

Что находится в пределах допустимого (меньше 10 кВ).

«Сопротивление заземляющего устройства (R_3), согласно ПУЭ, не должно превышать допустимого значения 0,5 тогда $R_{3\text{доп}}=0,5 \text{ Ом}$ » [12].

«Действительный план заземляющего устройства преобразуется в расчётную квадратную модель со стороной» [24]:

$$\sqrt{S} = \sqrt{40 \cdot 55} = 45,8 \text{ м.}$$

«Число ячеек по стороне квадрата» [24]:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1; \quad (106)$$

$$m = \frac{1035}{2 \cdot 45,8} - 1 = 10,3 \text{ шт,}$$

принимается $m = 11$ шт.

«Длина полос в расчётной модели» [24]:

$$L_{\Gamma}^I = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m+1), \quad (107)$$

$$L_{\Gamma}^I = 2 \cdot 45,8 \cdot (11+1) = 1099,2 \text{ м.}$$

«Длина сторон ячейки» [24]:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}; \quad (108)$$

$$b = \frac{45,8}{10} = 4,58 \text{ м.}$$

«Число вертикальных заземлителей по периметру контура» [24]

$$a / l_B = 1,$$

где $l_B = 5$ м – длина вертикального заземлителя, м;

a – «расстояние между вертикальными электродами, м» [24].

$$n_B = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_B}; \quad (109)$$

$$n_B = \frac{45,8 \cdot 4}{1 \cdot 5} = 36,6 \text{ шт.}$$

Принимается $n_B = 37$ шт.

«Общая длина вертикальных заземлителей» [24]:

$$L_B = l_B \cdot n_B; \quad (110)$$

$$L_B = 5 \cdot 37 = 185 \text{ м.}$$

«Относительная глубина» [24]:

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}}, \quad (111)$$

где t – глубина прокладки заземляющего устройства, $t = 0,7$ м.

$$\frac{5+0,7}{45,8} = 0,12 > 0,1.$$

Тогда:

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_B + t}{\sqrt{S}}; \quad (112)$$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{5+0,7}{45,8} = 0,36.$$

Из [24] для

$$\rho_1 / \rho_2 = 6,2;$$

где ρ_1 – «удельное сопротивление верхнего слоя земли толщиной $h_1 = 1,7$ м», $\rho_1 = 280$ Ом · м; [24];

$\rho_2 = 45$ Ом · м – «удельное сопротивление нижнего слоя» [24].

$$a / l_B = 1,$$

Определяется по [24]

$$\rho_3 / \rho_2 = 1,22,$$

тогда:

$$\rho_3 = 1,22 \cdot \rho_2, \quad (113)$$

где ρ_3 – «эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом · м» [24].

$$\rho_3 = 1,22 \cdot 40 = 48,8 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

«Общее сопротивление сложного заземлителя» [24]:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_T + L_B}; \quad (114)$$

$$R_3 = 0,36 \cdot \frac{48,8}{45,8} + \frac{48,8}{1099,2 + 185} = 0,42 \text{ Ом.}$$

$$R_3 = 0,42 \text{ Ом} < R_{\text{доп}} = 0,5 \text{ Ом} - \text{заземление подходит.}$$

Выводы по разделу.

В девятом разделе ВКР рассчитаны молниезащита и заземление ГПП с учетом всех необходимых требований и нормативов, что обеспечивает безопасность работников и оборудования, а также надежность работы электроснабжения предприятия.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе было спроектировано электроснабжение завода продольно–строгальных станков, который соответствует требованиям нормативных документов и обеспечивает надежную и безопасную работу оборудования.

Рассмотрена общая характеристика предприятия, состав и характеристики потребителей электроэнергии. По характеристикам цехов и их потребителей рассчитаны силовые и осветительные, а также суммарные низковольтные электрические нагрузки каждого цеха и всего предприятия в целом. Данные нагрузки необходимы для выбора электрооборудования промышленного предприятия.

Произведен выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций. Все подстанции приняты двухтрансформаторными с силовыми трансформаторами типа ТМЗ различной мощности. Для соблюдения коэффициента мощности, заданного энергосистемой, на большинстве цеховых подстанций приняты к установке конденсаторные установки типа УКМ–58–0,4 различной мощности. Далее определялись нагрузки в сети 10 кВ предприятия. На ГПП приняты к установке конденсаторные установки типа УКЛ–57–10,5–1350 в количестве 4 штук. ГПП завода выполняется двухтрансформаторной с силовыми трансформаторами ТРДН–25000/110. Так как расположение ГПП в центре предприятия невозможно в связи с тем, что будут созданы помехи технологическому процессу, то принято решение об установке подстанции на свободном месте на окраине предприятия со стороны питающей линии. Далее выбрана схема электроснабжения завода и рассчитаны ТКЗ. Для ВЛ 110 кВ приняты сталеалюминевые провода марки АС–95/16. В ОРУ–110 кВ выбрано следующее электрооборудование: выключатель ВГТ–110П–40/2500У1 с пружинным приводом, разъединитель РГН–110/1000 УХЛ1, трансформатор тока ТОГ–110/200У1, ограничители перенапряжения для защиты линии ОПН–110У1 и для нейтрали

трансформатора ОПНн–110У1, заземлитель нейтрали трансформатора ЗОН–35М–II–УХЛ1. В ЗРУ–10 кВ выбраны выключатели ВВ/TEL–10, трансформаторы тока ТЛК–10, трансформаторы напряжения НТМИ–10У3, ограничитель перенапряжения ОПН–КР/TEL–10УХЛ1. Для питания цеховых ТП и высоковольтной нагрузки выбраны кабели 10 кВ типа АПвПг различных сечений. Для питания собственных нужд ГПП выбраны два трансформатора ТМ–63/10, которые подключаются через предохранители ПКТ–101–10–12,5У1.

Расчитаны молниезащита и заземление ГПП с учетом всех необходимых требований и нормативов, что обеспечивает безопасность работников и оборудования, а также надежность работы электроснабжения предприятия. Для защиты ГПП от прямых ударов молнии на прожекторных мачтах устанавливается шесть молниеотвода высотой 19 м.

В результате работы был разработан проект системы электроснабжения, который позволит обеспечить бесперебойную и эффективную работу оборудования на заводе продольно-строгальных станков, повысить безопасность производства и экономическую эффективность предприятия.

Таким образом, выполненная работа имеет практическую значимость для разработки проектов систем электроснабжения производственных объектов, а также может быть полезна для специалистов в области энергетики и электротехники, а также для руководителей производственных предприятий, заинтересованных в улучшении качества и эффективности производства.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анищенко В.А., Колосова И.В. Основы надежности систем электроснабжения. Пособие для студентов специальности 1–43 01 03 «Электроснабжение» специализации 1–43 03 03 01 «Электроснабжение промышленных предприятий». Мн.: БНТУ, 2007. 151 с.
2. Бакшаева Н.С. Расчёт электрических нагрузок, учебно–справочное пособие. Киров: Издательство ВятГУ, 2008. 129 с.
3. Горшков М.Г., Мартынов В.А. Энергоснабжение промышленных предприятий. М.: Энергия, 2004. 400 с.
4. ГОСТ 11677–85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) // Консультант плюс: справочно-правовая система.
5. ГОСТ Р 50597-2017 Защита от молний. Молниезащита сооружений и промышленных объектов // Консультант плюс: справочно-правовая система.
6. Гуревич Ю.Е., Кабиков К.В. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя. М.: Элекс–КМ, 2005. 408 с.
7. Конюхова Е.А., Киреева Э.А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. М.: НТФ Энергопрогресс, 2001. 92 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 672 с.
9. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Муравлев А.И. Качество электроснабжения промышленных потребителей. Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2014. 89 с.
10. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010. 664 с.

11. НТП ЭПП 94 Проектирование электроснабжения промышленных предприятий // Консультант плюс: справочно-правовая система.
12. Правила устройства электроустановок. М.: ДЕАН, 2012. 607 с.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Минэнерго РФ 2003. // Консультант плюс: справочно-правовая система.
14. Приказ Минэнерго №380 от 23.06.2018 г. О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии // Консультант плюс: справочно-правовая система.
15. РД 153–34.0–20.527–98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования // Консультант плюс: справочно-правовая система.
16. РД 34.21.122–87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений // Консультант плюс: справочно-правовая система.
17. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. 258 с.
18. РТМ 36.18.32.4–92. Указания по расчету электрических нагрузок // Консультант плюс: справочно-правовая система.
19. Технические характеристики компенсирующих устройств URL: http://slavenergo.ru/kondensatornaja_ustanovka_nizkovoltnaja (дата обращения 06.03.2023)
20. Технические характеристики силовых трансформаторов URL: <http://metz.by/products/catalog/20.html> (дата обращения 06.03.2023)
21. Технические характеристики электротехнического оборудования URL: <http://www.tavrida.com/ter/solutions/> (дата обращения 06.03.2023)

22. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА. 2003. 214 с.

23. Щеголькова Т. М., Татаров Е. И. Защита электроустановок от прямых ударов молнии: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Н. Новгород: НГТУ. 2001. 11 с.

24. Щеголькова Т. М., Татаров Е. И. Защитное заземление электроустановок: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Н. Новгород: НГТУ. 2001. 19 с.

25. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие. / Л.П. Сумарокова; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 288 с.