

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)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электроснабжение машиностроительного завода

Студент

А.Е. Малышев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В.Самолина

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе (ВКР) проведена разработка системы электроснабжения машиностроительного завода.

Работа состоит из трёх разделов, в которых, в соответствии с поставленной целью, решены следующие основные задачи:

- проведен анализ требований нормативных документов, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий, приведена характеристика цехов машиностроительного завода;

- осуществлена разработка системы электроснабжения завода, включающая в себя: непосредственный выбор схемы электроснабжения завода, выбор и проверку трансформаторов цеховых ТП и ГПП завода с выполнением расчета потерь мощности в них, определение значения расчетной нагрузки на сборных шинах 10 кВ, выбор компенсирующих устройств для компенсации реактивной мощности потребителей с индуктивным составляющим нагрузки завода, построение картограммы электрических нагрузок, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка кабельных линий и электрических аппаратов системы электроснабжения завода машиностроения;

- проработаны мероприятия по обеспечению безопасных условий эксплуатации, включая расчёт контура заземления цеховых ТП.

Работа состоит из 72 страниц, 6 чертежей формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	6
1.1 Требования нормативных документов к системам электроснабжения предприятий.....	6
1.2 Характеристика цехов машиностроительного завода.....	8
2 Разработка системы электроснабжения завода и выбор оборудования.....	13
2.1 Выбор схемы электроснабжения	13
2.2 Расчёт электрических нагрузок	14
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП	19
2.4 Расчет потерь мощности в трансформаторах цеховых ТП и определение расчетной нагрузки на шинах 10 кВ	25
2.5 Выбор компенсирующих устройств.....	30
2.6 Построение картограммы электрических нагрузок.....	32
2.7 Выбор числа и мощности трансформаторов на ГПП.....	37
2.8 Выбор и проверка сечений провода воздушной линии 110 кВ.....	39
2.9 Выбор и проверка кабельных линий.....	41
2.10 Расчет токов короткого замыкания	44
2.11 Выбор и проверка электрических аппаратов	51
3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда	63
3.1 Обеспечение безопасности при работе в электроустановках.....	63
3.2 Расчёт контура заземления цеховых ТП.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	71

ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного завода согласно требований нормативных документов[1-5].

Актуальность работы заключается в разработке качественного проекта электроснабжения машиностроительного завода, для обеспечения объектов предприятия электроэнергией установленных норм и параметров согласно требований нормативных документов.

Объектом исследования является система электроснабжения машиностроительного завода.

Предметом исследования являются схема, электрические сети, аппараты и электрооборудование до 1 кВ и выше 1 кВ системы электроснабжения машиностроительного завода.

Известно, что качественная и надёжная работа систем электроснабжения всех видов предприятий закладывается на стадии проектирования. Это – весьма важная задача для рационального использования электроэнергии во всех отраслях промышленности и энергетики.

Поэтому одной из основных задач проектирования является выбор наиболее эффективной схемы электроснабжения для удовлетворения энергетических потребностей предприятий и производственного роста.

В соответствии с поставленной целью определены основные задачи:

- описать исходные данные для проектирования;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать силовые трансформаторы на цеховых трансформаторных подстанциях (ТП) с последующим расчётом потерь электроэнергии в них, а также осуществить выбор компенсирующих устройств завода;

- выполнить расчет и построение картограммы электрических нагрузок, определить центр электрических нагрузок машиностроительного завода;
- осуществить выбор числа и мощности трансформаторов на главной понизительной подстанции (ГПП) машиностроительного завода;
- произвести расчет потерь мощности и энергии в трансформаторах ГПП машиностроительного завода;
- выбрать принципиальную схему ГПП машиностроительного завода;
- произвести расчет сечений кабельных линий завода;
- выполнить расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения машиностроительного завода;
- осуществить выбор электрических аппаратов в системе электроснабжения машиностроительного завода;
- описать мероприятия по охране труда и техники безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения машиностроительного завода;
- произвести расчёт контура заземления цеховых ТП машиностроительного завода.

В графической части работы приведены следующие чертежи:

1. План расположения цехов машиностроительного завода с нанесением электрических сетей, ТП и ГПП.
2. Схема электроснабжения машиностроительного завода.
3. План расположения оборудования ГПП машиностроительного завода.
4. Конструкция силовых трансформаторов цеховых ТП машиностроительного завода.
5. Узлы монтажа кабельных линий машиностроительного завода.
6. Контур заземления цеховой ТП машиностроительного завода.

Проектирование проводится согласно требованию нормативных документов с использованием рекомендованной литературы.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

1.1 Требования нормативных документов к системам электроснабжения предприятий

Требования основополагающих документов электроэнергетики к системам электроснабжения всех типов и классов напряжения [1-3], сводятся в конечном итоге к неукоснительному выполнению и внедрению трёх основных аспектов, а именно:

- установленное качество электрической энергии;
- обеспечения схемы питания электроприёмников согласно их категории надёжности;
- экономичность системы электроснабжения.

Установленное качество электрической энергии состоит в неукоснительном соблюдении предельно допустимых параметров электроэнергии.

Причём ГОСТ [3] регламентирует как нормально допустимые отклонения параметров электроэнергии, так и предельно допустимые отклонения параметров электроэнергии.

Регламентированы согласно [3] следующие параметры электроэнергии: величина отклонения напряжения (амплитудное значение), отклонение частоты, несинусоидальность, провалы напряжения и др.

Указанные параметры напрямую влияют на потребителей электроэнергии, приводя к поломке дорогостоящего оборудования, простою производства, а иногда и к угрозе здоровью и жизни людей.

Вторым аспектом является обеспечения схемы питания электроприёмников согласно их категории надёжности.

Известно, что все электроприёмники бывают трёх категорий надёжности и, чем выше категория, тем более жёсткие требования предъявляются к схемам электроснабжения этих потребителей.

Поэтому в работе в первую очередь все цеха машиностроительного завода прежде всего необходимо распределить на категории по надёжности электроснабжения.

Третьим аспектом является непосредственная экономичность системы электроснабжения. Здесь можно выделить два основных направления: техническая и денежная экономичность.

К первой группе относится выбор режима работы энергосистемы (раздельный и (или) параллельный), применение резервирования в схеме электроснабжения всех уровней согласно требованиям [1], использования секционирования на секциях сборных шин трансформаторных подстанций и распределительных пунктов.

Ко второй группе относится прямое уменьшение затрат на монтаж, обслуживание, эксплуатацию и ремонт оборудования всех видов и типов за счёт оптимизации производственных процессов, сокращения затрат на материалы и т.д.

Обеспечивая неукоснительное выполнение указанных трёх условий, можно добиться значительных потенциальных успехов во всех без исключения системах электроснабжения. Все это позволит повысить надёжность работы электрооборудования и электроснабжения потребителей, снизить риск тяжелых аварий, увеличить срок действия основного оборудования путем оптимизации его использования, выполнять расчет затрат в режиме реального времени и оперативно управлять режимом сети с целью снижения затрат электрической сети, решать вопросы технического учета электроэнергии, оперативно управлять электрооборудованием, как в нормальном, так и в аварийном режиме, снизить время на ликвидацию аварий и т.д.

1.2 Характеристика цехов машиностроительного завода

Рассматриваемый в работе машиностроительный завод специализируется на производстве машин и техники различного типа, а также запасных частей и комплектующих к ним.

Известно, что в современных непростых рыночных условиях необходимо налаживать собственное производство, что несомненно позитивно отразится на балансе (техническом и экономическом) всей страны в целом, а также её отраслей народного хозяйства в частности.

Завод производит сельскохозяйственную технику (тракторы, комбайны, сеялки, культиваторы, мотоблоки), а также запасные части к ним.

Согласно исходным данным, на территории машиностроительного завода расположено двадцать цехов, которые выполняют непосредственную роль в технологическом процессе производства.

Все электроприемники электрической энергии, расположенные в цехах проектируемого завода, работают на трехфазном переменном токеноминального напряжения 380 В промышленной частоты 50 Гц, за исключением следующих цехов завода: цеха чёрного литья, цех термической обработки, насосной и компрессорной, где кроме приемников 380 В, имеются приемники с рабочим напряжением 10 кВ.

Требование технологии производства непосредственно оказывает решающее значение при выборе категории надёжности, а также технологической части проекта. При этом, как указывалось ранее, категории электроприёмников по надёжности электроснабжения определяются в процессе проектирования системы электроснабжения.

Все потребители делятся на три большие группы (категории) по надёжности электроснабжения.

По бесперебойности энергоснабжения к потребителям 1-ой категории относятся цеха машиностроительного завода (основные производственные цеха,

а также узлы коммуникаций, не допускающие перерыва в ЭС и требующие соответствующего уровня резервирования и секционирования в схеме электроснабжения):

- Механический цех.
- Цех цветного литья.
- Цех черного литья (0,4 кВ).
- Цех черного литья (10 кВ).
- Кузнечный цех.
- Цех термической обработки (0,4 кВ).
- Цех термической обработки (10 кВ - печи).
- Котельная.
- Компрессорная (0,4 кВ).
- Компрессорная (10 кВ).
- Сборочный цех (основной конвейер).
- Насосная (0,4 кВ).
- Насосная (10 кВ).

К потребителям 2-ой категории относятся цеха машиностроительного завода (вспомогательные производственные цеха, а также вспомогательные узлы коммуникаций):

- Блок вспомогательных цехов.
- Стенд испытания двигателей.
- ЦЗЛ.

К потребителям 3-ой категории все остальные цеха машиностроительного завода, т. к. они все принимают непосредственное участие в рабочем цикле предприятия, следовательно, они требуют меньшей надёжности электроснабжения.

План расположения цехов машиностроительного завода представлен на рисунке 1.

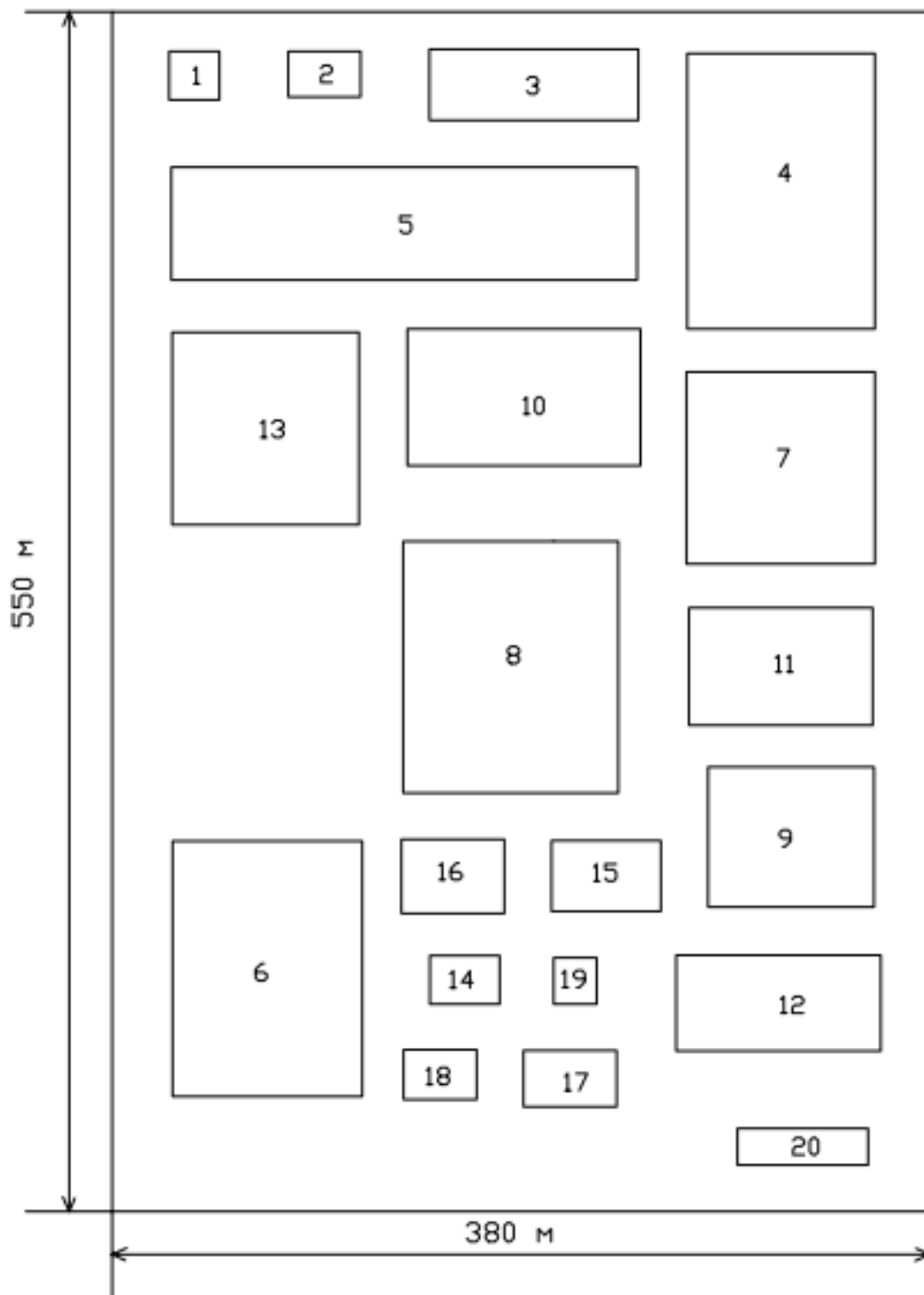


Рисунок 1 - План расположения цехов машиностроительного завода

Основные исходные данные цехов машиностроительного завода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные исходные данные цехов машиностроительного завода

№ п/п	Наименование подразделения	$P_{уст},$ кВт	Категория надежности	K_c	$\cos \varphi$
1	Склад материалов	154	III	0,4	0,8
2	Склад комплектующих изделий	145	III	0,4	0,8
3	Блок вспомогательных цехов	1285	II	0,35	0,7
4	Механический цех	4715	I	0,5	0,75
5	Цех цветного литья	5030	I	0,5	0,75
6	Цех черного литья (0,4 кВ)	1335	I	0,5	0,75
	Цех черного литья (10 кВ)	2995	I	0,5	0,75
7	Кузнечный цех	3180	I	0,5	0,75
8	Цех термической обработки (0,4 кВ)	1625	I	0,5	0,75
	Цех термической обработки (10 кВ)	2690	I	0,5	0,75
9	Котельная	2130	I	0,5	0,75
10	Компрессорная (0,4 кВ)	1090	I	0,5	0,75
	Компрессорная (10 кВ)	2085	I	0,5	0,75
11	Стенд испытания двигателей	1770	II	0,5	0,8
12	Сборочный цех (основной конвейер)	1810	I	0,5	0,75
13	Насосная (0,4 кВ)	1160	I	0,5	0,75
	Насосная (10 кВ)	2220	I	0,5	0,75
14	ЦЗЛ	115	II	0,35	0,8
15	Электроцех	715	III	0,35	0,75
16	Ремонтно-механический цех	630	III	0,35	0,75
17	Административный корпус, маркетинг	425	III	0,5	0,8
18	Столовая	369	III	0,5	0,9
19	Медпункт	31	III	0,5	0,8
20	Гараж	340	III	0,35	0,75

Размеры цехов машиностроительного завода указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Размеры цехов машиностроительного завода

№ на плане	Наименование цеха	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²
1	Склад материалов	30	30	900
2	Склад комплектующих изделий	40	30	1200
3	Блок вспомогательных цехов	100	50	5000
4	Механический цех	80	120	9600
5	Цех цветного литья	200	60	12000
6	Цех черного литья	80	110	8800
7	Кузнечный цех	80	80	6400
8	Цех термической обработки	100	110	11000
9	Котельная	70	70	4900
10	Компрессорная	100	80	8000
11	Стенд испытания двигателей	80	70	5600
12	Сборочный цех (основной конвейер)	100	60	6000
13	Насосная	80	80	6400
14	ЦЗЛ	40	30	1200
15	Электроцех	50	40	2000
16	Ремонтно-механический цех	50	40	2000
17	Административный корпус, маркетинг	45	35	1575
18	Столовая	40	30	1200
19	Медпункт	20	30	600
20	Гараж	65	20	1300

На основании приведённых исходных данных цехов далее проводится решение основных задач работы.

2 Разработка системы электроснабжения завода и выбор оборудования

2.1 Выбор схемы электроснабжения

При разработке принципиальной схемы главных электрических соединений необходимо учесть тип подстанции, а также то, что проектируемая ГПП является ПС-110/10 кВ и предназначена для питания потребителей I и II категорий надёжности. Поэтому в работе принимается двухлучевая радиальная схема электроснабжения потребителей подстанции (ПС-110/10 кВ) с резервированием, отвечающая требованиям [1]. Принципиальная схема главных электрических соединений проектируемой ГПП (ПС-110/10 кВ) состоит из следующих элементов:

- распределительное устройство 110 кВ (РУ 110 кВ) – выполнено открытым (ОРУ 110 кВ) с использованием перемычки с высокой стороны, что значительно повышает надёжность электроснабжения. На двух отходящих линиях к силовым трансформаторам в ОРУ 110 кВ предусматриваются необходимые электрические аппараты и сети;

- силовые трансформаторы – необходимы для непосредственного понижение номинального первичного напряжения 110 кВ до номинального вторичного напряжения 10 кВ с последующим его распределением. Подавляющее большинство потребителей (цехов) предприятия, питающиеся от ГПП, относятся к I и II категории надёжности потребителей, поэтому на указанной ТП – 110/10 кВ установлены два силовых трансформатора согласно требованиям [1];

- распределительное устройство 10 кВ (РУ10 кВ) – выполнено комплектным с применением ячеек типа КРУ по схеме с радиальной секционированной системой сборных шин с применением резервирования. Электрические аппараты и оборудование находится в ячейках с применением

выкатных тележек, что обеспечивает удобство эксплуатации, монтажа и ремонта, а также электробезопасность. От сборных шин РУ 10 кВ отходят линии, питающие цеховые трансформаторные подстанции ТП – 10/0,4 кВ (ТП1-ТП9) для распределения электроэнергии потребителям завода.

Цеховые сети проектируемого предприятия в работе выполняются кабельными линиями, имеющим преимущество перед воздушными линиями (надёжность, экономичность, безопасность и т.д.). Очень желательно, чтобы расположения цеховых ТП и ГПП совпадало центром электрических нагрузок (ЦЭН). При этом, согласно действующих требований безопасности и положений ПУЭ, необходимо сместить ГПП от ЦЭН к западной границе предприятия, т.к. прокладка воздушной линии ВЛ-110 кВ, питающей ГПП от энергосистемы, на территории предприятия является недопустимой. Непосредственно от шин ТП напряжением 10 кВ без трансформации до 0,4 кВ, получают питание высоковольтные двигатели цеха чёрного литья, цеха термической обработки, а также насосной и компрессорной (по заданию). На графическом листе №2 представлена схема электрических сетей проектируемого предприятия.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Значение максимальной расчетной нагрузки цехов завода определяется

$$P_{расчисл} = P_n \cdot k_c , \quad (1)$$

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

где k_c - коэффициент спроса;

P_n – суммарная установленная мощность цехов.

В качестве примера проводится расчет нагрузок склада материалов (№1)

$$P_{расч.сил} = 154 \cdot 0,4 = 61,6 \text{ кВт.}$$

Расчитывается реактивная нагрузка электроприемников цеха:

$$Q_{расч.сил} = 61,6 \cdot 0,75 = 46,2 \text{ квар.}$$

Расчитывается полная нагрузка электроприемников цеха:

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

где $S_{расчисл}$ – полная нагрузка электроприемников цеха.

$$S_{расчисл} = \sqrt{61,6^2 + 46,2^2} = 77 \text{ кВА.}$$

Аналогично проведён расчёт силовых электрических нагрузок остальных цехов проектируемого завода с представлением результатов в таблице 3.

Таблица 3 - Расчёт силовых электрических нагрузок предприятия

№ на плане	Наименование подразделения	Руст, кВт	Кс	cos φ / tgφ	Ррасч. сил. кВт	Qрасч. сил. квар	Sрасч. сил. кВА
1	Склад материалов	154	0,4	0,8/0,75	61,6	46,2	77,0
2	Склад комплектующих изделий	145	0,4	0,8/0,75	58	43,5	72,5
3	Блок вспомогательных цехов	1285	0,35	0,7/1,02	449,8	458,7	642,5
4	Механический цех	4715	0,5	0,75/0,88	2357,5	2074,6	3140,3
5	Цех цветного литья	5030	0,5	0,75/0,88	2515	2213,2	3350,1
6	Цех черного литья (0,4 кВ)	1335	0,5	0,75/0,88	667,5	587,4	889,2
	Цех черного литья (10 кВ)	2995	0,5	0,75/0,88	1462,5	1287	1948,1
7	Кузнечный цех	3180	0,5	0,75/0,88	1590	1399,2	2118

Продолжение таблицы 3

№ на плане	Наименование подразделения	Руст, кВт	Kc	cos φ/ tgφ	Ррасч. сил. кВт	Qрасч. сил. квар	Срасч. сил. кВА
8	Цех термической обработки (0,4 кВ)	1625	0,5	0,75/0,88	812,5	715	1082,3
	Цех термической обработки (10 кВ - печи)	2690	0,5	0,75/0,88	1345	1183,6	1791,6
9	Котельная	2130	0,5	0,75/0,88	1065	937,2	1418,7
10	Компрессорная (0,4 кВ)	1090	0,5	0,75/0,88	545	479,6	726
	Компрессорная (10 кВ)	2085	0,5	0,75/0,88	1042,5	521,3	1165,6
11	Стенд испытания двигателей	1770	0,5	0,8/0,75	885	663,8	1106,3
12	Сборочный цех (основной конвейер)	1810	0,5	0,75/0,88	905	796,4	1205,5
13	Насосная (0,4 кВ)	1160	0,5	0,75/0,88	580	510,4	772,6
	Насосная (10 кВ)	2220	0,5	0,75/0,88	1110	976,8	1478,6
14	ЦЗЛ	115	0,35	0,8/0,75	40,3	30,2	50,4
15	Электроцех	715	0,35	0,75/0,88	250,3	220,2	333,4
16	Ремонтно-механический цех	630	0,35	0,75/0,88	220,5	194	293,7
17	Административный корпус, маркетинг	425	0,5	0,8/0,75	212,5	159,4	265,6
18	Столовая	369	0,5	0,9/0,48	184,5	88,6	204,7
19	Медпункт	31	0,5	0,8/0,75	15,5	11,6	19,4
20	Гараж	340	0,35	0,75/0,88	119	104,7	158,5

Проводится расчет нагрузки освещения. Осветительная нагрузка цехов определяется непосредственно по методу коэффициента спроса:

$$P_{осв} = P_{уд} \cdot F \cdot K_{co}, \quad (4)$$

где F – освещаемая площадь, m^2 ;

$P_{уд}$ – нормируемое значение удельной плотности осветительной нагрузки, $Вт/m^2$;

P_o – расчётное значение активной мощности осветительной нагрузки, кВт;

K_{co} – нормируемое значение коэффициента спроса осветительной нагрузки.

Значения $P_{уд}$, K_{co} , K_{np} , $E_{норм}$ определены по табличным данным [2].

Расчет реактивной и полной мощности осветительной нагрузки выполнен соответственно по формулам (2) и (3).

Результаты расчета осветительной нагрузки предприятия представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Расчет осветительной нагрузки предприятия

№	Наименование цеха	K_{co}	$P_{уд}$, Вт/м ²	F , м ²	E_n , лк	P_o , кВт	Q_o , квар	S_o , кВА	$tg \varphi$	Источ ник света
1	Склад материалов	0,6	2,5	900	75	13,5	6,5	15,0	0,48	ЛЛ
2	Склад комплектующих изделий	0,6	2,5	1200	75	18,0	8,6	20,0	0,48	ЛЛ
3	Блок вспомогательных цехов	0,95	3,9	5000	250	185,3	88,8	205,5	0,48	ЛЛ
4	Механический цех	0,95	3,9	9600	250	355,7	170,7	394,5	0,48	ЛЛ
5	Цех цветного литья	0,95	3,9	12000	250	444,6	213,4	493,2	0,48	ЛЛ
6	Цех черного литья	0,95	3,9	8800	250	326,0	156,5	361,6	0,48	ЛЛ
7	Кузнечный цех	0,95	3,9	6400	250	237,1	113,8	263,0	0,48	ЛЛ
8	Цех термической обработки	1	3,9	11000	250	429,0	205,9	475,9	0,48	ЛЛ
9	Котельная	0,85	3,9	4900	250	162,4	78,0	180,2	0,48	ЛЛ
10	Компрессорная	0,95	3,9	8000	250	296,4	142,3	328,8	0,48	ЛЛ
11	Стенд испытания двигателей	0,95	3,9	5600	250	207,5	99,6	230,2	0,48	ЛЛ
12	Сборочный цех (основ. конвейер)	0,95	3,9	6000	250	222,3	106,7	246,6	0,48	ЛЛ
13	Насосная	0,85	3,9	6400	250	212,2	101,9	235,4	0,48	ЛЛ
14	ЦЗЛ	0,85	3,9	1200	300	39,8	19,1	44,1	0,48	ЛЛ
15	Электроцех	0,95	3,9	2000	75	74,1	35,6	82,2	0,48	ЛЛ
16	Ремонтно-механический цех	0,8	3,7	2000	300	59,2	28,4	65,7	0,48	ЛЛ
17	Административный корпус, маркетинг	0,8	3,7	1575	300	47,4	22,8	52,6	0,48	ЛЛ

Продолжение таблицы4

№	Наименование цеха	K_{C0}	$P_{уд},$ Вт/м ²	$F,$ м ²	$E_n,$ лк	$P_0,$ кВт	$Q_0,$ квар	$S_0,$ кВА	$tg \varphi$	Источн ик света
18	Столовая	0,8	3,7	1200	300	35,5	17,0	39,4	0,48	ЛЛ
19	Медпункт	0,6	3,7	600	300	13,3	6,4	14,8	0,48	ЛЛ
20	Гараж	0,8	3,7	1300	300	38,5	18,5	42,7	0,48	ЛЛ

При расчёте суммарных нагрузок цехов предприятия учитывается рассчитанные ранее силовая и осветительная нагрузки цехов.

Суммарная нагрузка цехов определяется суммой силовой и осветительной нагрузок.

Результаты расчета суммарной электрической нагрузки представлены в таблице5.

Таблица 5- Суммарные нагрузки цехов

№ на плане	Наименование подразделения	$P_{силь}$ кВт	$Q_{силь}$ кВар	$P_{осв.}$ кВт	$Q_{осв.}$ кВар	$P_{сумм.}$ кВт	$Q_{сумм.}$ кВар	$S_{сумм.}$ кВА
1	Склад материалов	61,6	46,2	13,5	6,5	75,1	52,7	91,7
2	Склад комплектующих изделий	58,0	43,5	18,0	8,6	76,0	52,1	92,1
3	Блок вспомогательных цехов	449,8	458,7	185,3	88,8	635,1	547,5	838,5
4	Механический цех	2357,5	2074,6	355,7	170,7	2413,2	2245,3	3296,2
5	Цех цветного литья	2515	2213,2	444,6	213,4	2959,6	2426,6	3827,2
6	Цех черного литья (0,4 кВ)	667,5	587,4	326,0	156,5	2456,0	2030,9	3186,9
	Цех черного литья (10 кВ)	1462,5	1287					
7	Кузнечный цех	1590	1399,2	237,1	113,8	1827,1	1513,0	2372,2
8	Цех термической обработки (0,4 кВ)	812,5	715	429,0	205,9	2586,5	1898,6	3208,5
	Цех термической обработки (10 кВ - печи)	1345	1183,6					
9	Котельная	1065	937,2	162,4	78,0	1227,4	1015,2	1592,8
10	Компрессорная (0,4 кВ)	545	479,6	296,4	142,3	1883,9	1000,9	2133,3
	Компрессорная (10 кВ)	1042,5	521,3					

Продолжение таблицы5

№ на плане	Наименование подразделения	$P_{силь}$ кВт	$Q_{силь}$ кВар	$P_{осв}$ кВт	$Q_{осв}$ кВар	$P_{сумм}$ кВт	$Q_{сумм}$ кВар	$S_{сумм}$ кВА
11	Стенд испытания двигателей	885	663,8	207,5	99,6	1092,5	763,4	1332,8
12	Сборочный цех (основной конвейер)	905	796,4	222,3	106,7	1127,3	903,1	1444,4
13	Насосная (0,4 кВ)	580	510,4	212,2	101,9	1902,2	1589,1	2478,6
	Насосная (10 кВ)	1110	976,8					
14	ЦЗЛ	40,3	30,2	39,8	19,1	79,1	49,3	93,2
16	Ремонтно-механический цех	220,5	194	59,2	28,4	279,7	222,4	357,3
17	Административный корпус, маркетинг	212,5	159,4	47,4	22,8	259,9	182,2	317,4
18	Столовая	184,5	88,6	35,5	17,0	220,0	105,6	244,0
19	Медпункт	15,5	11,6	13,3	6,4	28,8	18,0	34,0
20	Гараж	119	104,7	38,5	18,5	157,5	123,2	200,0
Всего по предприятию						21611,3	16994,9	27493,2

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ в работе выполняются с двумя рабочими трансформаторами, потому что на предприятии преобладают электроприемники I и II категории потребителей. В качестве ТП-10/0,4 кВ используются комплектные трансформаторные подстанции (КТП) внутренней установки, которые располагаются в помещениях цехов. Для того, чтобы оценить количество и номинальные мощности силовых трансформаторов, которые будут далее выбраны в работе для установки их на цеховых ТП-10/0,4 кВ, определяется значение плотности удельной расчетной нагрузки:

$$\sigma = \frac{S_{p.сум.}}{F}, \quad (5)$$

где $S_{p.сум.}$ – суммарная полная нагрузка цеха, кВА;

σ – удельная плотность расчетной нагрузки, кВА/м²;

F – площадь цеха, м².

Результаты непосредственного расчёта плотности нагрузки цехов проектируемого машиностроительного завода по (5) приведены в таблице.

Таблица 6 - Плотность нагрузки цехов проектируемого завода

№	Наименование цеха	Суммарная расчетная нагрузка			Площадь цеха, м ²	Плотность нагрузки, кВА/м ²
		$P_{р\ сум}$ кВт	$Q_{р\ сум}$ квар	$S_{р\ сум}$ кВА		
1	Склад материалов	75,1	52,7	91,7	900	0,10
2	Склад комплектующих изделий	76,0	52,1	92,1	1200	0,08
3	Блок вспомогательных цехов	635,1	547,5	838,5	5000	0,17
4	Механический цех	2413,2	2245,3	3296,2	9600	0,34
5	Цех цветного литья	2959,6	2426,6	3827,2	12000	0,32
6	Цех черного литья	2456,0	2030,9	3186,9	8800	0,36
7	Кузнечный цех	1827,1	1513,0	2372,2	6400	0,37
8	Цех термической обработки	2586,5	1898,6	3208,5	11000	0,29
9	Котельная	1227,4	1015,2	1592,8	4900	0,26
10	Компрессорная	1883,9	1000,9	2133,3	8000	0,27
11	Стенд испытания двигателей	1092,5	763,4	1332,8	5600	0,24
12	Сборочный цех(основной конвейер)	1127,3	903,1	1444,4	6000	0,24
13	Насосная	1902,2	1589,1	2478,6	6400	0,39
14	ЦЗЛ	79,1	49,3	93,2	1200	0,08
15	Электроцех	324,4	255,8	413,1	2000	0,21
16	Ремонтно-механический цех	279,7	222,4	357,3	2000	0,18
17	Админ. корпус, маркетинг	259,9	182,2	317,4	1575	0,20
18	Столовая	220,0	105,6	244,0	1200	0,20
19	Медпункт	28,8	18,0	34,0	600	0,06
20	Гараж	157,5	123,2	200,0	1300	0,15

Цеховые ТП выполнены встроенными с применением масляных герметичных трансформаторов типа ТМГ на основании указаний [8].

Предприятие имеет электроприемники 1, 2, 3 категорий и работает в две смены, следовательно, коэффициенты загрузки трансформаторов принимаем $K_3=0,65\div 0,95$, в зависимости от категории потребителей электроэнергии.

Приняты 4 типа трансформаторов марки ТМГ- $S_{nm}/10$ с мощностями и паспортными данными, указанными в таблице 3.2.

Данное решение принято для обеспечения удобства эксплуатации и уменьшения складского резерва трансформаторов.

Для унификации типоразмера ЦТП в помещениях со сравнительно небольшой нагрузкой не установлены; в данных помещениях предусмотрена установка РП на напряжение 0,4 кВ, которые присоединены к шинам 0,4 кВ ЦТП рядом стоящих помещений радиальными кабельными линиями.

Предварительный расчет номинальной мощности трансформатора произведен по удельной плотности расчетной нагрузки (таблица 3.1).

При этом если:

- $\sigma < 0,2$ - рекомендуется устанавливать трансформаторы $S_{nm} \leq 1000$ кВА;
- $0,2 < \sigma < 0,3$ рекомендуется устанавливать трансформаторы $S_{nm} \leq 1600$ кВА;
- $\sigma > 0,3$ - рекомендуется устанавливать трансформаторы $S_{nm} \leq 2500$ кВА.

С учетом перечисленных требований выбраны трансформаторы.

Предварительный расчет номинальной мощности трансформатора произведен по удельной плотности расчетной нагрузки:

$$\sigma = \frac{S_{p\text{нн}}}{F}, \quad (6)$$

где $S_{p\text{нн}}$ – полная расчётная нагрузка цеха на стороне низкого напряжения (НН), кВА;

σ – нормируемое значение удельной плотности расчетной нагрузки, $кВА/м^2$;

F – площадь цеха, $м^2$.

Расчет минимального количества трансформаторов выполнен по формуле:

$$N_{\text{тмин}} = \frac{P_{\text{рсумм}}}{K_{\text{з.норм}} \cdot S_{\text{нт}}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{рсумм}}$ – суммарные активная расчётная низковольтная нагрузка, питаемая от данной ЦТП, $кВт$;

$S_{\text{нт}}$ – принятая номинальная мощность одного трансформатора, $кВА$;

$K_{\text{з.норм}}$ – нормируемый коэффициент загрузки трансформаторов цеховых ТП с учетом категории потребителей электроэнергии [1].

Определяется пропускная способность трансформаторов по реактивной мощности по формуле:

$$Q_T = \sqrt{(N_m \cdot S_{\text{нт}} \cdot K_{\text{зфакт}})^2 - P_{\text{рсумм}}^2}, \quad (8)$$

где N_m – принятое число трансформаторов цеховых ТП.

Так как $Q_T \leq Q_{\text{рсумм}}$, то определена мощность компенсирующих устройств (батареи конденсаторов) $Q_{\text{бк}}$ по известному значению суммарной расчётной низковольтной реактивной нагрузки, питаемой от непосредственно цеховых ТП $Q_{\text{рсумм}}$ и той максимальной реактивной мощности Q_m , которую необходимо передать через трансформаторы в сеть без увеличения их количества и номинальной мощности:

$$Q_{БК} = Q_{рсумм} - Q_T \cdot \quad (9)$$

Выбран конкретный тип компенсирующих устройств (КУ) с номинальным значением $Q_{БКном}$.

Определяется фактический коэффициент загрузки каждого из трансформаторов по формуле:

$$K_{зфакт} = \frac{\sqrt{P_{рсумм}^2 + (Q_{рсумм} - Q_{БКном})^2}}{N_T \cdot S_{шт}}, \quad (10)$$

где $P_{рсумм}$ $Q_{рсумм}$ – суммарные активная и реактивная нагрузки, питаемые от данной цеховой ТП (ЦТП);

$Q_{БК ном}$ – номинальная мощность КУ, установленного на шинах НН данной ЦТП;

N_t – принятое число трансформаторов ЦТП;

$S_{шт}$ – принятая мощность одного трансформатора ЦТП.

Оценка допустимости работы трансформаторов в послеаварийном режиме произведена для двухтрансформаторных ЦТП, от которых питаются приёмники I, II категории по надёжности электроснабжения.

При этом предполагается выход из строя одного трансформатора.

Для питания электрических нагрузок цехов было выбрано четыре типоразмера трансформаторов – ТМГ-2500, ТМГ-1600, ТМГ-1000, ТМГ-630 (таблица 7), что обеспечивает удобство эксплуатации и уменьшение складского резерва.

Таблица 7 - Паспортные данные трансформаторов, используемых в работе

Тип трансформатора	$S_{шт}$, кВА	$U_{вн}$, кВ	ΔP_x , кВт	ΔP_{κ} , кВт	$U_{кз}$, %
ТМГ-2500/10	2500	10	2,5	13,6	6
ТМГ-1600/10	1600	10	1,9	12,8	6
ТМГ-1250/10	1250	10	1,65	12,4	6

ЦТП приняты в виде комплектных трансформаторных подстанций внутреннего исполнения (КТП).

При магистральной схеме питания ЦТП подсоединены через отключающий аппарат (выключатель нагрузки и предохранитель).

Для обеспечения надежности установлены секционные выключатели, которые в нормальном режиме находятся в отключенном положении.

Для потребителей первой категории предусмотрен АВР, установленный на секционном выключателе.

Для потребителей второй категории надежность обеспечивается резервированием по низкой стороне с разных секций. В случае аварии потребители третьей категории могут быть отключены.

Для потребителей со сравнительно небольшой нагрузкой используются силовые пункты (СП).

Для обеспечения категории надежности электроснабжения приняты соответствующие меры (для II категории – резервирования через взаиморезервируемые питающие кабели, для I – установка АВР между силовыми пунктами объекта).

Кроме того, очень важно распределить нагрузку предприятия равномерно по всей территории, что создаёт дополнительные преимущества.

Тип, число трансформаторов и цеха, которые они питают, приведены в таблице 8.

Цех, в котором непосредственно установлена КТП, в списке цехов приведён первым (3-й столбец таблицы 8).

Таблица 8 - Выбор трансформаторов цеховых ТП

№ КТП	Номинальная мощность КТП, $S_{ном}$, кВА	Цеха, которые питает КТП	Суммарная расчётная нагрузка потребителей, $S_{р.ТП}$, кВА	Категория потребителей электроэнергии
КТП № 1	2×2500	Цех цветного литья	3827,2 + 91,7 + 92,1 = = 4011	I
		Склад материалов		III
		Склад комплектующих изделий		III
КТП № 2	2×2500	Механический цех	3296,2 + 838,5 = = 4134,7	I
		Блок вспомогательных цехов		II
КТП № 3	2×1600	Насосная	2478,6	I
КТП № 4	2×1600	Компрессорная	2133,3	I
КТП № 5	2×2500	Кузнечный цех	2372,2 + 1332,8 = = 3705	I
		Стенд испытания двигателей		II
КТП № 6	2×2500	Цех термической обработки	3208,5	I
КТП № 7	2×2500	Цех черного литья	3186,9	I
КТП № 8	2×1250	Котельная	1592,8 + 413,1 + + 357,3 = 2005,9	I
		Электроцех		III
		Ремонтно-механический цех		III
КТП № 9	2×1600	Сборочный цех(основ. конвейер)	1444,4 + 93,2 + 317,4 + + 244 + 34 + 200 = = 2333	I
		ЦЗЛ		II
		Административный корпус, маркетинг		III
		Столовая		III
		Медпункт		III
		Гараж		III

2.4 Расчет потерь мощности в трансформаторах цеховых ТП и определение расчетной нагрузки на шинах 10 кВ

Расчет потерь активной мощности в трансформаторах цеховых ТП

$$\Delta P_{ТП} = N_T \cdot (\Delta P_x + K_3^2 \cdot \Delta P_k), \quad (11)$$

где ΔP_x , ΔP_k – потери холостого хода (х) и короткого замыкания (к) в силовом трансформаторе [10];

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора ТП-10/0,4 кВ.

Коэффициент загрузки трансформатора ТП-10/0,4 кВ

$$K_3 = \frac{S_{р.ТП}}{N \cdot S_{H_{mp}}}, \quad (12)$$

где $S_{р.мп}$ – максимальная нагрузка ТП-10/0,4 кВ.

Расчет потерь реактивной мощности в трансформаторах цеховых ТП:

$$\Delta Q_{ТП} = N \cdot (\Delta Q_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta Q_k), \quad (13)$$

где ΔQ_{xx} , ΔQ_k , – значение потерь холостого хода и потерь короткого замыкания для реактивной мощности в трансформаторе ТП-10/0,4 кВ [10].

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_{н.тр} \quad (14)$$

$$\Delta Q_k = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot S_{н.тр} \quad (15)$$

где $I_{xx\%}$, $U_{к\%}$ – ток холостого тока (хх) и напряжения короткого замыкания (к) трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ.

Приведенные потери активной мощности на ТП-10/0,4 кВ

$$\Delta P'_x = \Delta P_{xx} + K_{III} \cdot \Delta Q_{xx}, \quad (16)$$

$$\Delta P'_k = \Delta P_k + K_{III} \cdot \Delta Q_k, \quad (17)$$

где K_{un} —коэффициент потерь [10].

Потери активной мощности в двух трансформаторах ТП-10/0,4 кВ:

$$\Delta P'_{mn} = 2 \cdot (\Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P'_k), \text{ кВт}. \quad (18)$$

По приведённым ранее выражениям, находится значение потерь мощности в силовых трансформаторах КТП-1.

По условию (12)

$$K_3 = \frac{4011}{2 \cdot 2500} = 0,8.$$

По условию (11)

$$\Delta P'_{mn} = 2 \cdot (2,5 + 0,8^2 \cdot 13,6) = 22,4 \text{ кВт}.$$

По условию (14)

$$\Delta Q_x = \frac{2}{100} \cdot 2500 = 50 \text{ кВАр}.$$

По условию (15)

$$\Delta Q_k = \frac{6}{100} \cdot 2500 = 150 \text{ кВар.}$$

По условию (13)

$$\Delta Q_{mn} = 2 \cdot (50 + 0,8^2 \cdot 150) = 292 \text{ кВар.}$$

По условию (16)

$$\Delta P'_x = 2,5 + 0,07 \cdot 50 = 6 \text{ кВт.}$$

По условию (17)

$$\Delta P'_k = 13,6 + 0,07 \cdot 150 = 24,1 \text{ кВт.}$$

По условию (18)

$$\Delta P'_{mn} = 2 \cdot (6 + 0,8^2 \cdot 24,1) = 42,8 \text{ кВт.}$$

Расчет потерь мощности в трансформаторах остальных ТП-10/0,4 кВ завода проведен аналогично и результаты приводятся в таблице 9.

Таблица 9 - Расчет потерь мощности в цеховых ТП-10/0,4 кВ завода

№ КТП	$S_{ном.тп},$ кВА	$S_{р.тп},$ кВА	K_3	$\Delta P_{тп},$ кВт	$\Delta Q_x,$ кВар	$\Delta Q_k,$ кВар	$\Delta Q_{тп},$ кВар	$\Delta P'_x,$ кВт	$\Delta P'_k,$ кВт	$\Delta P'_{тп},$ кВт
1	2×2500	4011	0,8	22,4	50,0	150,0	292,0	6,0	24,1	42,8
2	2×2500	4134,7	0,83	23,7	50,0	150,0	306,7	6,0	24,1	45,2

3	2×1600	2478,6	0,77	19,0	32,0	96,0	177,8	4,1	19,5	31,3
4	2×1600	2133,3	0,67	15,3	32,0	96,0	150,2	4,1	19,5	25,7

Продолжение таблицы9

№ КТП	$S_{ном.тп}$, кВА	$S_{р.тп}$, кВА	K_3	$\Delta P_{тп}$, кВт	ΔQ_x , кВАр	ΔQ_k , кВАр	$\Delta Q_{тп}$, кВАр	$\Delta P'_x$, кВт	$\Delta P'_k$, кВт	$\Delta P'_{тп}$, кВт
5	2×2500	3705	0,74	19,9	50,0	150,0	264,3	6,0	24,1	38,4
6	2×2500	3208,5	0,64	16,1	50,0	150,0	222,9	6,0	24,1	31,7
7	2×2500	3186,9	0,63	15,8	50,0	150,0	219,1	6,0	24,1	15,6
8	2×1250	2005,9	0,8	19,1	25,0	62,5	130,0	3,4	16,8	14,2
9	2×1600	2333	0,73	17,4	32,0	96,0	166,3	4,1	19,5	14,5
Всего				168,7	-	-	1929,3	-	-	259,4

Активная нагрузка на шинах 10 кВ с учетом потерь

$$P_{p\Sigma} = P_p + \Delta P'_{mn} \quad (19)$$

Полная мощность нагрузки на шинах 10 кВ с учетом потерь

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (20)$$

Для ТП-1 по условиям (19) и (20)

$$P_{p\Sigma} = 1293,7 + 24,2 = 1317,9 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p\Sigma} = 1232,2 \text{ кВАр.}$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{1317,9^2 + 1232,2^2} = 1804,2 \text{ кВА.}$$

Расчет для остальных ТП-10/0,4 кВ предприятия выполнен аналогично (таблица 10).

Таблица 10–Результаты расчета нагрузки цехов на шинах 10 кВ с учетом потерь мощности в трансформаторах ТП-10/0,4 кВ

№ КТП	$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	$S_{p\Sigma}$, кВА
1	3153,5	2531,4	4043,8
2	3093,5	2792,8	4167,7
3	1933,5	1589,1	2502,7
4	1909,6	1000,9	2156,0
5	2958,0	2276,4	3732,5
6	2618,2	1898,6	3234,1
7	2471,6	2030,9	3199,0
8	1845,7	1493,4	2374,2
9	1887,1	1381,4	2338,7
Всего	21870,7	16994,9	27748,7

2.5 Выбор компенсирующих устройств

Рассчитывается мощность конденсаторных установок напряжением 10 кВ для установки на шинах 10 кВ от цеховых ТП.

Максимальная реактивная мощность, которую можно передавать в электрическую сеть проектируемого завода без потери параметров качества электроэнергии в сети

$$Q_{\max.m} = \sqrt{(N \times K_{3x} S_{\text{ном. тр}})^2 - Pp^2}. \quad (21)$$

На примере КТП-1 по условию (21):

$$Q_{\max.m.} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 2500)^2 - 3153,5^2} = 2460,8 \text{ кВАр.}$$

Рассчитывается мощность конденсаторных установок напряжением 10 кВ для установки на шинах 10 кВ с целью компенсации реактивной мощности от КТП-1:

$$Q_{нк1} = Q_p - Q_{\text{Ошибка! Залка не определена..т.}} \quad (22)$$

По условию (22):

$$Q_{нк1} = 2531,4 - 2460,8 = 70,6 \text{ кВАр.}$$

Для компенсации реактивной мощности от КТП-1 выбирается одна комплектная конденсаторная установка марки УК-10-100УЗ, $Q_{ед} = 100 \text{ кВАр.}$

Определяется число конденсаторных установок

$$n = \frac{Q_{нк1}}{Q_{ед}} \quad (23)$$

По условию (23):

$$n = 70,6/100 \approx 1 \text{ шт.}$$

Средняя реактивная нагрузка на трансформатор рассчитывается как разность расчётной реактивной нагрузки на шинах ТП и мощности конденсаторных установок [16]

$$Q_{сум} = Q_p - Q_{кб} \quad (24)$$

По условию (24):

$$Q_{\text{сум.ТП}} = 2531,4 - 100 = 2431,4 \text{ кВАр.}$$

Выбор компенсирующих устройств в сети 10 кВ для компенсации реактивной мощности от остальных ТП произведён аналогично и результаты приведены в таблице 11.

Согласно рекомендациям [8] для установки на шинах 10 кВ ГПП выбран один тип компенсирующих устройств – УК-10-100У3.

Таблица 11 - Выбор компенсирующих устройств в сети 10 кВ

№ КТП	K_3	$S_{\text{ном.тп}}$, кВА	$P_{\text{р}\Sigma}$, кВт	$Q_{\text{р}\Sigma}$, кВар	$Q_{\text{max.м}}$, кВАр	$Q_{\text{нк1}}$, кВАр	Марка КУ	Кол-во КУ, шт.
КТП-1	0,8	2×2500	3153,5	2531,4	2460,8	70,6	УК-10- 100У3	5×100
КТП-2	0,83	2×2500	3093,5	2792,8	2766,4	26,4		
КТП-3	0,77	2×1600	1933,5	1589,1	1527,4	61,7		
КТП-4	0,67	2×1600	1909,6	1000,9	974,8	26,1		
КТП-5	0,74	2×2500	2958,0	2276,4	2222,7	53,7		
КТП-6	0,64	2×2500	2618,2	1898,6	1839,8	58,8	УК-10- 100У3	5×100
КТП-7	0,63	2×2500	2471,6	2030,9	1952,9	78,0		
КТП-8	0,8	2×1250	1845,7	1493,4	770,3	723,1		
КТП-9	0,73	2×1600	1887,1	1381,4	1376,9	4,5		

2.6 Построение картограммы электрических нагрузок

Картограмма строится на генеральном плане предприятия для определения месторасположения ЦТП и ГПП.

Площади кругов картограммы при выбранном масштабе соответствуют расчётным нагрузкам цехов.

Окружности картограммы строятся отдельно для высоковольтной и низковольтной нагрузки цехов.

В окружностях низковольтной нагрузки выделяется сектор, соответствующий осветительной нагрузке.

Для наглядности картограммы возможно построение окружностей для высоковольтной и низковольтной нагрузок в разных масштабах.

Площадь сектора рассчитывается так:

$$r = \sqrt{\frac{S_{p_i}}{\pi \cdot m}}, \quad (25)$$

где S_p – расчётная полная нагрузка цеха;

m – масштабный коэффициент (кВА/мм²). Масштаб выбирается после определения радиуса окружностей картограммы, из условия удобства построения картограммы. Для картограммы нагрузок принят $m = 1$;

r – радиус окружности, м².

Угол, который характеризует часть осветительной нагрузки от общей суммарной нагрузки:

$$\alpha = \frac{S_{\text{осв. сум}}}{S_{\text{с. сум}}} \cdot 360^\circ. \quad (26)$$

Приводится пример расчета для склада материалов.

$$r = \sqrt{\frac{77}{3,14 \cdot 1}} = 4,9 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\alpha = \frac{15}{77} \cdot 360^\circ = 70^\circ.$$

Аналогично проведены расчёты для других цехов (таблица12).

Таблица 12- Построение картограммы электрических нагрузок завода

№	Наименование цеха	$S_{с.сум}$ кВА	$S_{осв.сум}$ кВА	$r, м$	α	$X, м$	$Y, м$
1	Склад материалов	77,0	15,0	4,9	70,0	480	50
2	Склад комплектующих изделий	72,5	20,0	4,8	99,3	480	100
3	Блок вспомогательных цехов	642,5	205,5	14,3	115,1	460	200
4	Механический цех	3140,3	394,5	31,6	45,2	400	300
5	Цех цветного литья	3350,1	493,2	32,7	53,0	390	150
6	Цех черного литья	2837,3	361,6	30,0	45,9	80	100
7	Кузнечный цех	2118	263,0	26,0	44,7	300	300
8	Цех термической обработки	2873,9	475,9	30,3	59,6	230	180
9	Котельная	1418,7	180,2	21,3	45,7	150	300
10	Компрессорная	1891,6	328,8	24,5	62,6	320	200
11	Стенд испытания двигателей	1106,3	230,2	18,8	74,9	220	300
12	Сборочный цех (основной конвейер)	1205,5	246,6	20,0	73,6	80	280
13	Насосная	2251,2	235,4	26,8	37,6	310	80
14	ЦЗЛ	50,4	44,1	4,0	316,9	80	160
15	Электроцех	333,4	82,2	10,3	88,8	150	220
16	Ремонтно-механический цех	293,7	65,7	9,7	80,5	150	150
17	Административный корпус, маркетинг	265,6	52,6	9,2	73,8	50	210
18	Столовая	204,7	39,4	8,1	69,3	55	150
19	Медпункт	19,4	14,8	2,5	274,6	80	220
20	Гараж	158,5	42,7	7,1	97,0	30	320

Для определения места установки ГПП рассчитан центр электрических нагрузок предприятия:

$$X_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^m S p_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^m S p_i}; \quad (27)$$

$$Y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^m S p_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^m S p_i}. \quad (28)$$

Подставляя в вышеуказанные выражения данные:

$$X_{\text{цен}} = 187 \text{ м.}$$

$$Y_{\text{цен}} = 198 \text{ м.}$$

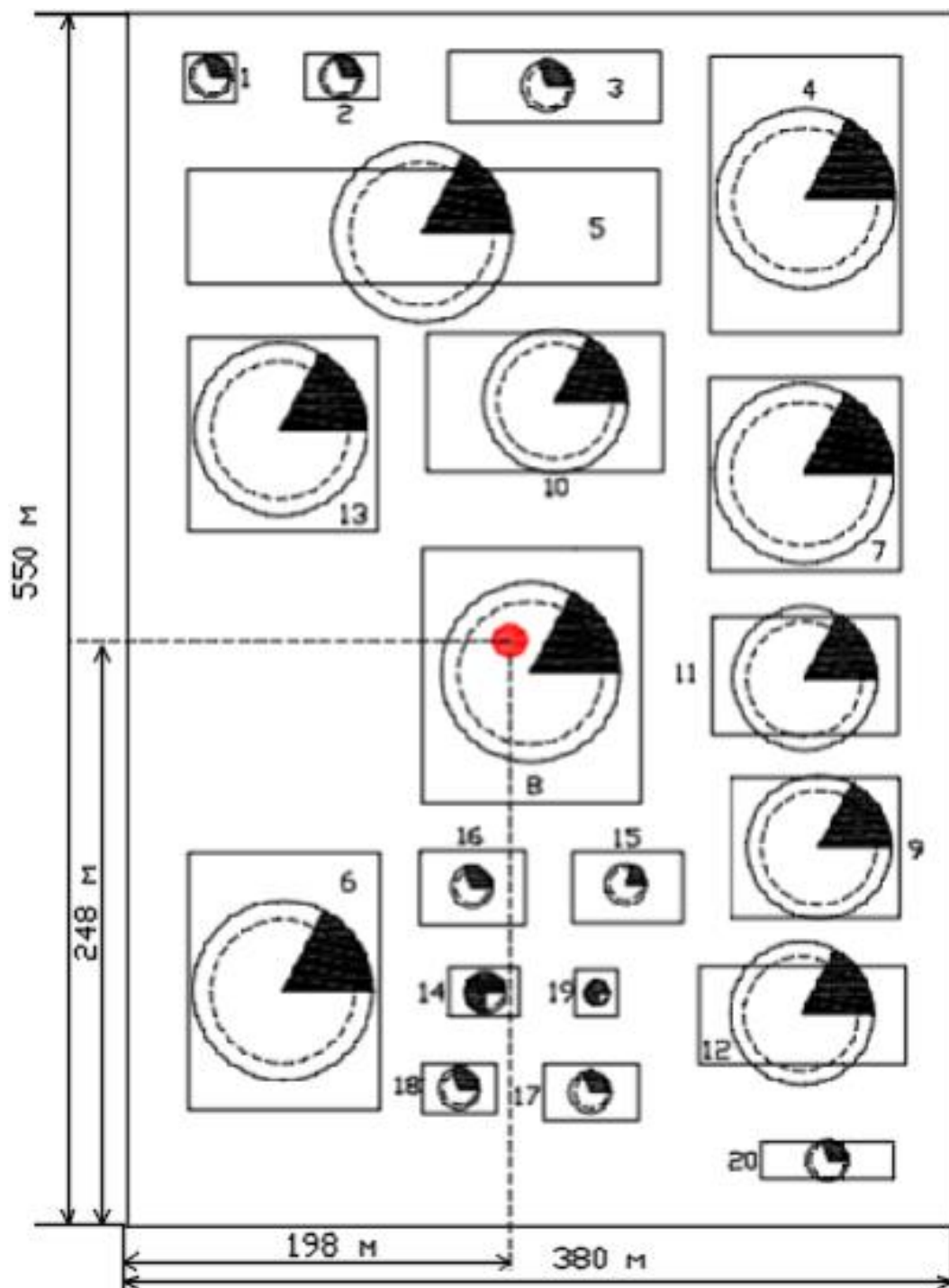
где X_i и Y_i - координаты центра нагрузки цеха.

При определении центра нагрузок за начало координат принят нижний левый угол предприятия по плану.

Питание от ПС смещено от ЦЭН в сторону получения питания.

Так как ЦЭН находится непосредственно на территории цеха №8, в месте которого невозможно установить ГПП по критериям электробезопасности, надёжности, а также данное расположение ГПП технически неудобно и невыгодно, принято решение установить ГПП с западной стороны цеха № 8 на границе раздела предприятия.

Картограмма нагрузок предприятия приведена на рисунке 2.



- - активная мощность
- - - - - реактивная мощность
- - центр электрических нагрузок
- ▲ - доля осветительной нагрузки

Рисунок2 - Картограмма электрических нагрузок предприятия

2.7 Выбор числа и мощности трансформаторов на ГПП

Необходимо непосредственный расчёт оптимального значения реактивной мощности для передачи через выбираемые силовые трансформаторы ГПП:

$$Q_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_{\text{р}\Sigma} , \quad (29)$$

где $\alpha = 0,25$ [3].

По условию (29)

$$Q_{\text{э1}(U=110\text{кВ})} = 0,25 \cdot 21870,7 = 5467,7 \text{ кВАр.}$$

Расчёт полной мощности для выбора силовых трансформаторов ГПП производится так:

$$S_{\text{м.гпп}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\text{э1}}^2} \cdot K_{\text{рм}} , \quad (30)$$

где $K_{\text{рм}}$ —коэффициент разновременности максимума.

По условию (30)

$$S_{\text{м.гпп}} = \sqrt{21870,7^2 + 5467,7^2} \cdot 0,95 \approx 21416,6 \text{ кВА}$$

Номинальная мощность трансформатора ГПП

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{м.гпп}}}{N \cdot K_3} , \quad (31)$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов на ГПП.

По условию (31)

$$S_{ном.т} \geq \frac{21416,6}{2 \cdot 0,8} = 13385,4 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных результатов расчёта, на ГПП завода необходимо установить два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110.

Паспортные данные выбранного силового трансформатора марки ТДН-16000/110 приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Паспортные данные силового трансформатора марки ТДН-16000/110

U _н , кВ	S _{ном.т} , кВА	Тип, мощность и количество силовых трансформаторов	Потери, кВт		I _{хх} , %	U _{кз} , %
			ХХ	КЗ		
110/10	16000	2×ТДН-16000/110	14	60	0,7	10,5

Значение годовых потерь электроэнергии в выбранном силовом трансформаторе ГПП

$$\Delta W_{mp} = n \cdot \Delta P'_{xx} \cdot T + n \cdot K_3^2 \cdot \Delta P'_{кз} \cdot \tau_m, \quad (32)$$

где T – максимальное расчётное время потерь, ч.

τ_m – время максимальных потерь, ч.

По условию (32)

$$\Delta W_{mp} = 2 \cdot 14 \cdot 8760 + 2 \cdot 0,84^2 \cdot 60 \cdot 4570 = 629092 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

2.8 Выбор и проверка сечений провода воздушной линии 110 кВ

Проводится выбор и проверка сечений провода воздушной линии 110 кВ (ВЛ-110 кВ), питающей ГПП завода от энергосистемы. Согласно требованиям [1], сечения проводов воздушных линий электропередач выбираются непосредственно по экономической плотности тока таким образом:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{э}}}, \quad (33)$$

где I_{max} – максимальный расчётный ток ВЛ-110 кВ в нормальном режиме работы сети, А;

$j_{\text{э}}$ – плотность тока, А/мм².

Кроме того, согласно требованиям [1], по условию механической прочности минимальное сечение проводов напряжением 110 кВ для данных района по стенке гололёда и по ветровому давлению, а также по условиям короны, составляет не менее 70 мм².

Максимальный расчётный ток линии в нормальном режиме работы сети в связи с отсутствием графика нагрузки для ГПП(ПС-110/10 кВ), определить по номинальному току силового трансформатора [1]:

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (34)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная полная мощность силового трансформатора, кВА;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

Так как в схеме применяется двухтрансформаторная подстанция, ток послеаварийного режима с учётом резервирования [1]

$$I_a = 1,4 \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (35)$$

Выбранное сечение необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы [1]:

$$I_{дон} \geq I_a. \quad (36)$$

где $I_{дон}$ – длительно – допустимый ток выбранного провода [1];

I_a – максимальный расчётный ток линии (ток послеаварийного режима).

Проверка по условию короны (не менее 70 мм² [1])

$$F_{ст} \geq F_{мин}. \quad (37)$$

Проводятся расчёты и выбор сечения провода ВЛ-110 кВ.

$$I_n = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 84 \text{ (A)}.$$

$$I_a = 1,4 \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{ (A)}.$$

По условию (33)

$$F_s = \frac{84}{1,1} = 76,4 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Выбирается провод АС-70/11 с $I_{дон} = 265$ А ([1], табл.1.3.29).

Проверка по условию (35) выполняется

$$265 > 117,6(\text{А}).$$

Проверка по условию (37) выполняется

$$70 = 70(\text{мм}^2).$$

Окончательно принимается на ВЛ-110 кВ провод АС-70/11 с $I_{дон} = 265$ А.

2.9 Выбор и проверка кабельных линий

Выбор площади сечения жил кабелей 10 кВ выполняется по экономической плотности тока, а кабелей 0,38/0,22 кВ – по допустимому нагреву согласно [1]. При этом все кабельные линии напряжением 10 кВ для питания двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ выполняются с использованием двух кабельных линий, а количество кабельных линий для питающей сети 0,38/0,22 кВ напрямую зависит от категории надёжности цехов [1]: если цеха относятся к I и II категориям по надёжности электроснабжения, они получают питание от шин 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ по радиальной схеме с использованием двух силовых кабелей. В случае принадлежности цехов к III категории надёжности, они получают питание от шин 0,4 кВ цеховой ТП по магистральной схеме электроснабжения одной кабельной линией без резервирования [1]. Данный аспект непосредственно учтён при выборе и проверке кабельных линий (таблица 14).

Расчетные значения токов в нормальном и послеаварийном режимах, А:

$$I_{p.норм} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{ном}} \quad (38)$$

$$I_{p.ав} = K_n \cdot I_{p.норм} \quad (34)$$

где K_n – коэффициент перегрузки, принимается $K_n = 2$ для кабелей 10 кВ и $K_n = 1,4$ для кабелей 0,38/0,22 кВ.

Экономическое сечение жил кабельных линий напряжением 10 кВ, мм²:

$$F_{эк} = \frac{I_{p.норм}}{J_{эк}}, \quad (39)$$

где $J_{эк}$ – экономическая плотность тока (нормируемое значение).

Проверка выбранных сечений кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ питающей сети завода по условию длительного нагрева в нормальном режиме работы должна быть выполнена по следующему условию:

$$0,8I_{доп} \geq I_{p.норм}; \quad (40)$$

Коэффициент нагрузки линии

$$K_{ни} = \frac{I_{p.норм}}{I_{доп}}. \quad (41)$$

Проверка выбранных сечений кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ питающей сети завода по условию длительного нагрева в послеаварийном

режиме работы, когда в работе остаётся одна линия из двух, должна быть выполнена по следующему условию:

$$K_{ав} I_{дон} \geq I_{р.ав}, \quad (42)$$

где $K_{ав} = 1,4$.

При этом проверка по условию (42) для линий с одним кабелем не проводится. Данные по расчету сечений кабелей представлены в таблице 14.

Таблица 14–Выбор и проверка сечений кабельных линий

Линия	S_p , кВА	Кол-во линий, шт.	$I_{р.норм}$ А	$I_{р.ав}$ А	$F_{эк}$, мм ²	$F_{СТ}$, мм ²	$I_{дон}$, А	K_{nn}	Марка	Прокладка
Кабели 10 кВ										
ГПП-КТП-1	4043,8	2	116,7	233,4	166,7	185	310	0,8	АСБ 3×185	в траншее
ГПП-КТП-2	4167,7	2	120,3	240,6	171,9	185	310	0,8	АСБ 3×185	в траншее
ГПП-КТП-3	2502,7	2	72,2	144,4	103,1	120	240	0,8	АСБ 3×120	в траншее
ГПП-КТП-4	2156,0	2	62,2	124,4	88,9	120	240	0,8	АСБ 3×120	в траншее
ГПП-КТП-5	3732,5	2	107,7	215,4	162,4	185	310	0,8	АСБ 3×185	в траншее
ГПП-КТП-6	3234,1	2	93,4	186,8	133,4	150	275	0,8	АСБ 3×150	в траншее
ГПП-КТП-7	3199,0	2	92,3	184,6	131,9	150	275	0,8	АСБ 3×150	в траншее
ГПП-КТП-8	2374,2	2	68,5	137	97,9	120	240	0,8	АСБ 3×120	в траншее
ГПП-КТП-9	2338,7	2	67,5	135	96,4	120	240	0,8	АСБ 3×120	в траншее
ГПП-СД (цех 6)	1948,1	2	56,2	112,4	80,3	95	205	0,8	АСБ 3×95	в траншее
ГПП-СД (цех 8)	1791,6	2	51,7	103,4	73,9	95	205	0,8	АСБ 3×95	в траншее
ГПП-СД (цех 10)	1165,6	2	33,6	67,2	48	50	140	0,8	АСБ 3×50	в траншее
ГПП-СД (цех 13)	1478,6	2	42,7	85,4	61	70	165	0,8	АСБ 3×70	в траншее

Продолжение таблицы 14

Линия	S_p , кВА	Кол-во линий, шт.	$I_{p.норм}$ А	$I_{p.ав}$ А	$F_{эк}$, мм ²	$F_{ст}$, мм ²	$I_{доп}$, А	K_{nn}	Марка	Прокладка
Кабели 0,38/0,22 кВ										
ТП-1- Цех 5	3827,2	2	2944	4121,6	-	8× 185	365	0,8	8АВВГ 4×185	в траншее
ТП-1- Цеха 1,2	183,8	1	282,8	-	-	150	325	0,8	АВВГ 4×150	в траншее
ТП-2- Цех 4	3296,2	2	2535,5	3549,7	-	7× 185	365	0,8	7АВВГ 4×185	в траншее
ТП-2- Цех 3	838,5	2	645	903	-	3× 185	365	0,8	3АВВГ 4×185	в траншее
ТП-3- Цех 13	2478,6	2	1906,6	2669,2	-	5× 185	365	0,8	5АВВГ 4×185	в траншее
ТП-4- Цех 10	2133,3	2	1641	3397,4	-	4× 185	365	0,8	4АВВГ 4×185	в траншее
ТП-5-Цех 7	2372,2	2	1824,8	2554,7	-	5× 185	365	0,8	5АВВГ 4×185	в траншее
ТП-5-Цех 11	1332,8	2	1025,2	1435,3	-	3× 185	365	0,8	3АВВГ 4×185	в траншее
ТП-6-Цех 8	3208,5	2	2468	3455,2	-	7× 185	365	0,8	7АВВГ 4×185	в траншее
ТП-7-Цех 6	3186,9	2	2451,5	3432,1	-	7× 185	365	0,8	7АВВГ 4×185	в траншее
ТП-8-Цех 9	1592,8	2	1225,2	1715,3	-	4× 185	365	0,8	4АВВГ 4×185	в траншее
ТП-8-Цеха 15,16	1592,8	1	2450,5	-	-	7× 185	365	0,8	7АВВГ 4×185	в траншее
ТП-9-Цех 12	1444,4	2	1111,1	1555,5	-	3× 185	365	0,8	3АВВГ 4×185	в траншее
ТП-9-Цех 14	93,2	2	71,7	100,4	-	16	90	0,8	АВВГ 4×16	в траншее
ТП-9-Цеха 17,18,19,20	795,4	1	1223,7	-	-	4× 185	365	0,8	4АВВГ 4×185	в траншее

2.10 Расчет токов короткого замыкания

По исходной схеме электроснабжения, приведённой на графическом листе 2, составляется схема замещения для расчёта токов короткого замыкания, представленная на рисунке 3.

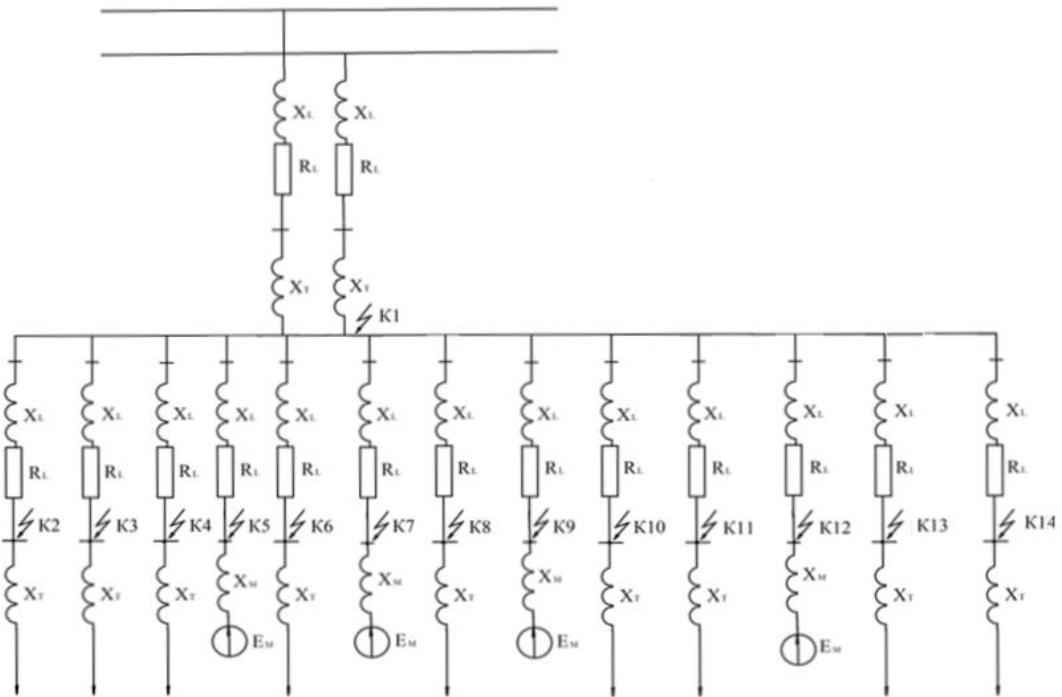


Рисунок 3 – Схема замещения для расчётов токов к.з.

Принимается:

- $S_6 = 1000$ МВА;

- $U_{61} = 115$ кВ;

- $U_{62} = 10$ кВ.

Значение базисного тока

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \tag{43}$$

По условию (43):

$$I_{61} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

$$I_{62} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 91,6 \text{ кА.}$$

Проводится расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

Значение индуктивного сопротивления системы:

$$X_1 = X_{сис} = \frac{U_6^2}{S_{кз}} \quad (44)$$

По условию (44):

$$X_1 = X_{сис} = \frac{115^2}{40000} = 0,33 \text{ Ом.}$$

Значение индуктивного сопротивления воздушной линии при приведении его к базисной мощности:

$$X_{вл} = \frac{S_6}{U_6^2} \cdot X_{удвл} \cdot L, \text{ Ом,} \quad (45)$$

где $X_{уд.вл}$ – индуктивное сопротивление ВЛ-110 кВ (табличное значение, определяемое, исходя из марки провода ВЛ-110 кВ).

По условию (45):

$$X_2 = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,444 \cdot 7 = 0,24 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление ВЛ-110 кВ

$$r_{вл} = \frac{S_6}{U_6^2} \cdot r_{удвл} \cdot L, \text{ Ом,} \quad (46)$$

где $r_{уд.вл}$ – активное сопротивление ВЛ - 110 кВ.

По условию (46):

$$r_2 = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,422 \cdot 7 = 0,22 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление ВЛ-110 кВ

$$Z_2 = z_{вл} = \sqrt{r_{вл}^2 + x_{вл}^2} \quad (47)$$

$$z_2 = z_{вл} = \sqrt{0,24^2 + 0,22^2} = 0,326 \text{ Ом.}$$

Сопротивления силового трансформатора ПС-110/10 кВ:

$$X_{тр} = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_{ксп}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{тном}} \quad (48)$$

$$r_{тр} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta P_{к}}{S_{тном}} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{тном}} \cdot 10^{-3} \quad (49)$$

$$X_{мп} = \frac{1}{2} \cdot \frac{6,3}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 3,2 \text{ Ом.}$$

$$r_{мп} = \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{10} \cdot \frac{1000}{16} \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \text{ Ом}$$

Сопротивления кабельных линий:

$$X_{кл} = \frac{1}{n} X_{удкл} L \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \text{ Ом.} \quad (50)$$

$$r_{кл} = \frac{1}{n} r_{удкл} L \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \text{ Ом}, \quad (51)$$

где n – количество кабельных линий, шт.

Для КЛот ГПП до ТП-1:

$$X_{15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,059 \cdot 0,8 = 2,9 \text{ Ом.}$$

$$R_{15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,083 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ Ом.}$$

Расчеты всех остальных кабельных линий выполнены аналогично (таблица15).

Таблица 15–Результаты расчета сопротивлений кабельных линий

N_{δ}	S_{δ} MBA	U_{δ} кВ	x_0 Ом/км	r_0 Ом/км	L , км	N	$X_{кль}$ о.е.	$R_{кль}$ о.е.
X1	4043,8	10	0,38	0,046	0,03	2	0,67	0,34
X2	4167,7	10	0,45	0,078	0,05	2	0,56	0,45
X3	2502,7	10	0,60	0,058	0,02	2	0,32	0,68
X4	2156,0	10	0,59	0,064	0,07	2	0,42	0,49
X5	3732,5	10	0,42	0,082	0,11	2	0,64	0,75
X6	3234,1	10	0,12	0,033	0,05	2	0,34	0,77
X7	3199,0	10	0,83	0,059	0,80	2	2,90	0,4
X8	2374,2	10	0,42	0,087	0,09	2	0,55	0,79
X9	2338,7	10	0,31	0,061	0,06	2	0,59	0,18
X10	1948,1	10	0,31	0,038	0,03	2	0,45	0,13
X11	1791,6	10	0,16	0,051	0,07	2	0,96	0,53
X12	1165,6	10	0,84	0,092	0,05	2	1,1	0,72
X13	1478,6	10	0,69	0,071	0,08	2	0,97	0,56

Результаты расчета сопротивлений цеховых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ сведены в таблицу 16.

Таблица 16–Результаты расчета сопротивлений цеховых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ

<i>N</i>	<i>S_б, MVA</i>	<i>U_б, кВ</i>	<i>U_к, %</i>	<i>ΔP_к, кВт</i>	<i>N</i>	<i>X_м, о.е.</i>	<i>R_м, о.е.</i>
X14	1804,2	10	6	10,8	2	13,8	2,7
X15	1041,3	10	6	16,5	2	12,5	3,4
X16	2011,6	10	5,5	10,8	2	27,5	5,4
X17	1681,9	10	5,5	3,7	2	13,8	7,4
X18	1287,0	10	5,5	10,8	2	13,8	2,7
X19	2788,1	10	6	11,4	2	12,5	3,4
X20	4483,1	10	4,5	16,5	2	27,5	5,4
X21	5822,0	10	5,5	15,5	2	13,8	7,6
X22	3089,0	10	6	10,8	2	12,5	2,7

Ток трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1 рассчитывается так:

$$I_{к1} = \frac{I_{б1}}{Z_{1\Sigma}}, \quad (52)$$

где $Z_{1\Sigma}$ - значение суммарного сопротивления до расчётной точки К1.

$$x_{1\Sigma} = 0,49 \text{ Ом};$$

$$r_{1\Sigma} = 0,28 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление определяется по формуле:

$$z_{1\Sigma} = \sqrt{0,49^2 + 0,28^2} = 0,57 \text{ Ом}.$$

$$I_{\kappa 1} = \frac{5,02}{0,57} = 8,81 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока в расчётной точке К1

$$i_y = K_y \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1} \quad (53)$$

где K_y – ударный коэффициент.

$$T_a = \frac{X}{\omega r}, \quad (54)$$

где ω – угловая частота.

$$T_a = \frac{0,49}{314 \cdot 0,28} = 0,006 \text{ с.}$$

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (55)$$

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,006}} = 1,12.$$

Ударный ток в расчётной точке К1:

$$i_y = 1,12 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,8 = 14,7 \text{ кА.}$$

Максимальное действующее значение ударного тока короткого замыкания в расчётной точке К1

$$I_y = I_{к1} \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2} \quad (56)$$

$$I_y = 8,8 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,18 - 1)^2} = 9,1 \text{ кА.}$$

Значение расчётных токов короткого замыкания и ударных токов для остальных расчётных точек рассчитаны аналогично (таблица 17).

Таблица 17–Результаты расчета токов короткого замыкания

Точка КЗ	$x_{1\Sigma}$, Ом	$r_{1\Sigma}$, Ом	$z_{1\Sigma}$, Ом	T_a , с	K_y	I_k , кА	i_y , кА	I_y , кА
К1	0,49	0,28	0,57	0,006	1,12	8,81	14,7	9,1
К2	2,43	1,85	3,12	0,007	1,38	2,62	3,15	3,63
К3	2,17	2,62	4,68	0,006	1,51	2,81	3,26	3,26
К4	2,35	1,57	2,83	0,006	1,18	3,58	4,34	4,32
К5	3,16	2,74	3,22	0,006	1,17	2,63	3,48	3,81
К6	1,44	1,67	2,08	0,006	1,23	2,74	3,42	3,73
К7	2,35	2,28	3,16	0,006	1,28	2,88	3,16	3,71
К8	1,87	1,44	2,37	0,003	1,36	2,27	3,15	3,62
К9	2,15	2,07	2,48	0,007	1,38	2,09	3,05	3,40
К10	2,11	1,69	2,71	0,006	1,39	2,18	2,96	3,33
К11	3,24	2,26	3,58	0,004	1,21	2,52	2,47	3,22
К12	3,18	2,99	4,16	0,005	1,19	2,24	2,38	3,12
К13	3,31	2,11	3,38	0,004	1,24	2,57	2,34	3,14
К14	3,16	2,07	4,02	0,005	1,21	2,49	2,27	3,11

Результаты расчёта токов КЗ используются при выборе и проверке электрических аппаратов в работе далее.

2.11 Выбор и проверка электрических аппаратов

Проводится выбор и проверка оборудования на стороне 110 кВ.

Условие проверки на термическую стойкость

$$B_k = (I_{n0})^2(t_{откл} + T_a), \text{кА}^2\text{с}^{1/2}, \quad (57)$$

где $t_{откл}$ — время отключения электрического аппарата при возникновении режима к.з., с;

$t_{рзmax}$ — максимальное время действия релейной защиты, с.

По условию (57)

$$B_k = (8,81)^2(1+0,05 + 0,056) = 85,64 \text{кА}^2\text{с}^{1/2}.$$

При этом:

$$I_{прод.расч} = K_2 \cdot \frac{S_{номТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{номТНН}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{кА}.$$

где K_2 - коэффициент перегрузки трансформатора [18].

Результаты выбора и проверки коммутационных высоковольтных аппаратов 110 кВ приведены в таблице 18.

Таблица 18—Результаты выбора и проверки коммутационных высоковольтных аппаратов 110 кВ

Условия выбора	Расчетные данные сети	Каталожные данные	
		Разъединитель РДЗ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5
По номинальному напряжению $U_{сном} \leq U_{ном}$	$U_{сном} = 110\text{кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{кВ}$
По номинальному длительному току $I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_{расч} = 117,6 \text{А}$	$I_{ном} = 1000 \text{А}$	$I_{ном} = 1000 \text{А}$

Продолжение таблицы 18

Условия выбора	Расчетные данные сети	Каталожные данные	
		Разъединитель РДЗ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5
По электродинамической стойкости $i_y \leq i_{дин}$	$i_{уд} = 14,7 \text{ кА}$	$i_{дин} = 63 \text{ кА}$	$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}$
По термической стойкости $B_K \leq I_{пр}^2 \cdot t_m$	$B_K = 85,8 \text{ кА}^2 \text{с}^{1/2}$	$I_{пр}^2 \cdot t_{\tau} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{пр}^2 \cdot t_{\tau} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Далее в работе проводится выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ.

Результаты расчета и номинальные параметры выключателей сведены в таблицу 19.

Предварительно выбирается выключатель типа ВВЭ-М-10-20 с характеристиками:

$$t_{по} = 0,04 \text{ с};$$

$$\tau = t_{рзmin} + t_{по} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

$$\beta \approx 33\%.$$

$$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{н0} \cdot \left(e^{\frac{-\tau}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot 2,7 \cdot \left(e^{\frac{-0,05}{0,025}} \right) = 0,51 \text{ кА}. \quad (58)$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{н\tau} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 2,48 + 0,47 = 3,99 \approx 4 \text{ кА}. \quad (59)$$

где

$$B_K = 2,7^2(1 + 0,04 + 0,025) = 6,65 \text{ кА}^2 \text{с}^{1/2}.$$

Выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением 10 кВ приведён в таблице 19.

Таблица 19–Выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением 10 кВ

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выключатель ВВЭ-М-10-20	Выключатель нагрузки ВНА-10/630	Предохранитель ПК-101-10
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 924,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{ном.п}} = 100 \text{ А}$ $I_{\text{ном.вст}} = 80 \text{ А}$ (для ТМГ-1250/10), $I_{\text{ном.вст}} = 100 \text{ А}$ (для ТМГ-1600/10), $I_{\text{ном.вст}} = 150 \text{ А}$ (для ТМГ-2500/10)
$I_{\text{кп}} \leq I_{\text{пр.с}}$	$I_{\text{кп}} = 2,7 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 4,34 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 30 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$
$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл.ном}}$	$I_{\text{пт}} = 2,48 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} \leq$ $\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.откл}} \cdot (1 + \beta)$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} =$ $= 4 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.откл}} \cdot (1 + \beta) =$ $\sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,32) =$ $37,335 \text{ кА}$	-	-
$B_k \leq I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{т}}$	$B_k = 6,65 \text{ кА}^2 \text{с}^{1/2}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	-	-

Условия выбора и проверки всех электрических аппаратов напряжением 10 кВ выполняются.

Далее проводится выбор и соответствующие проверки трансформаторов тока.

Нагрузка вторичных выводов трансформаторов тока определяется в работе так:

$$Z_{\text{розр}} = 2 \cdot R_{\text{к}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{пер}}, \text{ Ом.} \quad (60)$$

Значение сопротивления кабелей, подключённых к трансформаторам тока, определяется так:

$$R_{\text{к}} = \frac{l}{\nu S}, \text{ Ом} \quad (61)$$

где l - суммарная длина кабельной линии;

ν - удельная электропроводность;

S - сечение жил кабельной линии.

Сопротивление приборов определяется по [7]

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{пр.А}} + R_{\text{пр.В}}, \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пр}} = 0,02 + 0,02 = 0,04 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{розр}} = 2 \cdot 0,037 + 0,04 + 0,1 = 0,214 \text{ Ом};$$

Расчетные данные и каталожные данные [4] сравниваются и результаты выбора приводятся в таблице 20.

Таблица 20 – Результаты выбора и проверки трансформатора тока

Условия выбора аппарата	Данные электрической сети	Каталожные данные ТТ ТПОЛМ-10
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.ТС}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.а}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{ном.ТС}} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 217,5 \text{ А}$	$I_{\text{ном.}} = 250 \text{ А}$
По динамической устойчивости $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у.к}}$	$i_{\text{у.к1}} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$
По термической устойчивости $I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$
По допустимой нагрузке вторичной обмотки $Z_{2\text{ном}} \geq Z_{2\text{розр}}$	$Z_{2\text{розр}} = 0,19 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$

Аналогично на стороне 110 кВ выбраны трансформаторы тока марки ТФЗМ-110.

Предварительно выбирается трансформатор напряжения 110 кВ марки НДКМ-110 (таблица 21).

Таблица 21 - Выбор трансформатора напряжения 110 кВ

Условие выбора и проверки	Расчётные данные цепи	Каталожные данные аппарата
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}$	$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{раб.макс}} \leq I_{\text{н}}$	$I_{\text{раб.макс}} = 183,7 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 400 \text{ А}$
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{нр.с}}$	$i_{\text{у}} = 2,98 \text{ кА}$	$i_{\text{нр.с}} = 80 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}}$	$B_{\text{к}} = 7,71 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} = 2000 \text{ кА}^2\text{с}$

Предварительно выбирается трансформатор напряжения 10 кВ марки НАМИ-10 (таблица 2.10).

При этом сравниваются расчётные и каталожные данные для выбора трансформатора напряжения.

При этом расчётные данные цепи должны быть больше или равны соответствующим каталожным данным выбранного электрического аппарата согласно[8].

Результаты выбора трансформатора напряжения 10 кВ приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Условие выбора и проверки	Расчётные данные цепи	Каталожные данные аппарата
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 235 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 9,15 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 60 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 48,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Проверка трансформаторов напряжения по вторичной нагрузке проводится после выбора средств контроля и учёта электроэнергии, осуществляемой в работе далее.

Проверка трансформаторов напряжения и измерительных приборов, подключённых к ним на сторонах 110 кВ и 10 кВ, осуществляется по вторичной нагрузке, подключённой к трансформатору напряжения (в выбранном классе точности)

$$S_{2\Sigma} \leq S_n, \quad (62)$$

где S_n – номинальная мощность трансформатора напряжения (в выбранном классе точности);

$S_{2\Sigma}$ – нагрузка всех приборов вторичных цепей, присоединённых к данному трансформатору напряжения, ВА.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}}\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}\right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}.$$

Для установки в ОРУ 110 кВ выбран трансформатор напряжения типа НДКМ-110 [18].

Проводится проверка выбранного трансформатора напряжения по вторичной нагрузке.

Приборы учёта и контроля электроэнергии, подключённые к трансформатору напряжения, приведены в таблице 23.

Таблица 23 - Приборы учёта и контроля электроэнергии, подключённые к трансформатору напряжения

Прибор	Мощность, ВА	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Кол-во, шт	Суммарная мощность, ВА
Вольтметр	0,1	1	0	3	0,3
Ваттметр	1,5	1	0	2	3
Варметр	2,5	0,38	0,925	2	5
Счётчик активной электроэнергии	2,5	0,38	0,925	3	7,5
Счётчик реактивной электроэнергии	2,5	0,38	0,925	3	7,5
РзиА	5	1	0	-	5

Проверка выбранного трансформатора напряжения по условию (62):

$$400 \text{ ВА} > \sqrt{(0,3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 5 \cdot 0,38 + 7,5 \cdot 0,38 \cdot 2 + 5 \cdot 1)^2 + (5 + 7,5 + 7,5)^2 \cdot 0,925^2} = 25,6 \text{ (ВА)}.$$

$$S_{\text{ном}} = 400 > S_2 = 25,6 \text{ (ВА)}.$$

Таким образом, выбранные трансформаторы напряжения марки НДКМ-110 будут работать в требуемом классе точности без перегрузки.

Аналогично проверены ранее выбранные трансформаторы напряжения марки НАМИ-10, установленные на стороне 10 кВ. Условия проверки для них также выполняются.

Далее проводится непосредственный выбор ограничителей перенапряжений.

В современной электроэнергетике, в частности, на подстанциях энергосистемы, для защиты от атмосферных перенапряжений устанавливаются ограничители перенапряжений (ОПН) вместо разрядников.

Особенностью ограничителей перенапряжений является непосредственное отсутствие искровых промежутков (в отличие от разрядников), что делает их гораздо надёжнее последних.

Кроме того, ограничители перенапряжений, помимо атмосферных перенапряжений, эффективно справляются с коммутационными и резонансными перенапряжениями.

Также технология изготовления ограничителей перенапряжения с применением новейших сверхпрочных и долговечных полимерных соединений делает их гораздо надёжнее разрядников.

Поскольку на ОРУ 110 кВ требуется ОПН внешней установки, выбираются для защиты ВЛ-110 кВ ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1.

На стороне 10 кВ используются ОПН внутренней установки типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1, которые устанавливаются в шкафах КРУ 10 кВ совместно с ранее выбранными вакуумными выключателями.

Проводится выбор электрических аппаратов напряжением до 1 кВ.

Условия выбора автоматических выключателей ввода на цеховых ТП[4 – 6]:

- по значению номинального напряжения

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}, \text{ В}, \quad (63)$$

где $U_{\text{ном.а}}$ - номинальное значение напряжения автомата, В;

$U_{\text{ном.с}}$ - номинальное значение напряжения электрической сети, В.

- по значению номинального тока

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}, \text{ А}, \quad (64)$$

где I_{ϕ} – значения тока форсированного режима (максимального рабочего тока схемы), А.

- по значению тока расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}, \text{ А}. \quad (65)$$

- по значению тока автомата и его расцепителя

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}, \text{ А}. \quad (66)$$

- по значению тока теплового расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р}}, \text{ А}, \quad (67)$$

где $I_{\text{р}}$ – значение расчетного тока, А.

- отстройка от пусковых токов

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25 \cdot I_{пуск} \text{ А}, \quad (68)$$

где $I_{пуск}$ – значение пускового тока, А

- отключающая способность автомата

$$I_{ном.вим.а} \geq I_{п.о} = I''_к \text{ А}, \quad (69)$$

где $I''_к$ – значение максимального тока трёхфазного КЗ, А

Осуществляется выбор автомата ввода для установки в шкафу ввода ТП-10/0,4 кВ №1.

В упомянутом шкафу ввода выбираются для установки автоматические выключатели типа Электрон Э25С.

Расчетные данные и каталожные данные [4] сравниваются и результаты выбора приводятся в таблице 21.

Таблица 24–Результаты выбора и проверки автомата ввода на ТП-10/0,4 кВ №1

Условия выбора	Данные электрической сети	Каталожные данные автомата типа Электрон Э25С
Условие (63)	$U_{ном.с} = 380 \text{ В}$	$U_{ном.а} = 380 \text{ В}$
Условие (64)	$I_{ном.а} = K_{рез} I_{ном.т} =$ $= 1,4 \cdot 2461,5 = 3446 \text{ А}$	$I_{ном.а} = 4000 \text{ А}$
Условие (65)	$I_{ном.р} = K_{рез} I_{ном.т} =$ $= 1,4 \cdot 2461,5 = 3446 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 4000 \text{ А}$
Условие (66)	$I_{ном.а} = 4000 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 4000 \text{ А}$

Продолжение таблицы 24

Условия выбора	Данные электрической сети	Каталожные данные автомата типа Электрон Э25С
Условие (67)	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 3446 = 3790,6 \text{ А}$	$I_{у.т.р} = 1,1 \cdot I_{ном.р} = 1,1 \cdot 3446 \approx 4000 \text{ А}$
Условие (68)	$6 \cdot I_{ном.т} = 6 \cdot 2461,5 = 14769 \text{ А}$	$I_{у.э.р} = 4 \cdot I_{ном.р} = 4 \cdot 4000 = 16000 \text{ А}$
Условие (69)	$I_{п.о} = I_{к2} = 14,8 \text{ кА}$	$I_{ном.в.а} = 65 \text{ кА}$

Условия выбора и проверки выполняются, окончательно выбирается автомат ввода ТП-10/0,4 кВ №1 марки Электрон Э25С. Выбор выключателей ввода остальных цеховых ТП завода проведён аналогично и результаты приведены в таблице 25. При этом для удобства в качестве всех автоматов ввода во всех цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны автоматы марки Электрон Э25С, но при этом различны токи уставок расцепителей данных автоматов.

Таблица 25–Результаты выбора и проверки автомата ввода на цеховых ТП-10/0,4 кВ

№КТП	$S_{ном.тп}$, кВА	Марка автомата ввода	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р}$, А	$I_{у.э.р}$, А
КТП-1	2×2500	Электрон Э25С	4000	4000	16000
КТП-2	2×2500	Электрон Э25С	4000	4000	16000
КТП-3	2×1600	Электрон Э25С	4000	2500	10000
ТКП-4	2×1600	Электрон Э25С	4000	2500	10000
КТП-5	2×2500	Электрон Э25С	4000	4000	16000
КТП-6	2×2500	Электрон Э25С	4000	4000	16000
КТП-7	2×2500	Электрон Э25С	4000	4000	16000
КТП-8	2×1250	Электрон Э25С	4000	2000	10000
КТП-9	2×1600	Электрон Э25С	4000	2500	10000

3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности при работе в электроустановках

Согласно требованиям [15-19], перед началом работ в электроустановках необходимо провести организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

К организационным мероприятиям относятся [15-19]:

- выдача нарядов и распоряжений для проведения работ в электроустановках;
- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- непосредственное проведение инструктажей (вводного, на рабочем месте, плановых, внеплановых);
- допуск рабочей бригады к работе;
- надзор во время выполнения работ бригадой;
- оформление перерывов в работе;
- перевод на другое рабочее место (при необходимости);
- окончание работ в электроустановках.

К техническим мероприятиям относятся [15-19]:

- производство необходимых коммутационных переключений;
- принять меры, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных аппаратов путём применения их блокировок, а также расшиновке цепи, отсоединения кабельных и воздушных вводов, снятием отдельных коммутационных аппаратов и (или) их приводов (ключей) и т.д.;
- вывесить запрещающие плакаты на приводах коммутационных аппаратов и ключах управления;
- убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях путём использования технических средств (указателей напряжения и т.д.);

- наложить переносное заземление там, где это необходимо (на токоведущих частях электроустановок). В случае, если на электрооборудовании установлены заземляющие ножи, необходимо их включить. В этом случае переносное заземление разрешается не устанавливать;

- оградить рабочее место, а также токоведущие части, оставшиеся под напряжением;

- вывесить плакаты по технике безопасности (предписывающие и предупреждающие).

Необходимо помнить, что в электроустановках всех типов и классов напряжения должен быть обеспечен видимый разрыв. В электроустановках до 1 кВ его обеспечивают рубильники (при их отключении) и предохранители (при их снятии), а в сетях выше 1 кВ – разъединители (при их отключении) и предохранители (при их снятии).

Кроме всего прочего, при выполнении работ в электроустановках необходимо пользоваться специальными защитными средствами: спец. одеждой и обувью (выдаётся работодателем), спец. инструментами (обязательно должны быть поверены), спец. приспособлениями индивидуальной защиты (диэлектрические коврики, подставки, перчатки, каски и др.).

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [15-19].

При этом всем прошедшим обучение присваивается соответствующая группа допуска по электробезопасности.

Всего существует пять групп по электробезопасности.

Каждая последующая группа включает в себя знание предыдущей, а также новые знания и навыки, присущие данной группе.

При назначении ответственных за безопасное проведение работ обязательно должна учитываться группа по электробезопасности (не ниже установленной).

Также при работе в электроустановках необходимыми являются навыки оказания первой медицинской помощи до приезда врача.

Каждый член бригады должен владеть навыками выполнения искусственного дыхания, непрямого массажа сердца, освобождения пострадавшего от электрического напряжения и т.д.

Все данные аспекты являются строго обязательными к выполнению при работе в электроустановках.

3.2 Расчёт контура заземления цеховых ТП

Согласно ПУЭ, сопротивление заземляющего устройства должно быть не более

$$R_z \leq R = \frac{125}{I}, \quad (70)$$

где I – значение расчетного тока замыкания на землю, А.

Значение расчетного тока замыкания на землю:

$$I = 10 \cdot \left(\frac{l_B}{350} + \frac{l_K}{10} \right) \quad (71)$$

где l_B , l_K , – длина соответственно воздушных линий и кабелей, электрически связанных между собой, км [1].

В нашем случае имеются только кабельные линии, суммарная длина которых $l_K = 12,2$ км, а $l_B = 0$ км.

Следовательно

$$I = 10 \cdot \frac{12,2}{10} = 12,2 \text{ A.}$$

$$R = \frac{125}{12,2} = 10,2 \text{ Ом.}$$

Принимается удельное сопротивление грунта в месте сооружения контура заземления $\rho = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Расчетное значение удельного сопротивления грунта:

$$\rho_p = K \cdot \rho, \quad (72)$$

где K – коэффициент сезона.

По условию (72)

$$\rho_p = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$\rho_p = 2,11 \cdot 60 = 132 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Сопротивление одного стержня из угловой стали:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot B} + 0,51 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \quad (73)$$

По условию (73)

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{90}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,04} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 0,8 + 3 \cdot 3}{4 \cdot 0,8 + 3} \right) = 164,7 \text{ Ом.}$$

Ориентировочное число вертикальных стержней без учёта их взаимного экранирования:

$$n = \frac{R_g}{R} = \frac{164,7}{10,2} = 16,1$$

Принимается $n = 16$ шт.

Результирующее сопротивление всех вертикальных стержней с учётом их взаимного экранирования:

$$R_{г.э.} = \frac{164,7}{16 \cdot 0,5} = 20,6 \text{ Ом}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя длиной

$$l_z = n \cdot a, \text{ м.} \tag{74}$$

$$l_z = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м. :}$$

$$R_r = 0,366 \frac{\rho_p}{l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{2d \cdot t}, \text{ Ом.} \tag{75}$$

$$R_r = 0,366 \cdot \frac{126,6}{12} \cdot \lg \frac{2 \cdot 12^2}{0,01 \cdot 0,8} = 16 \text{ Ом.}$$

Тогда результирующее сопротивление горизонтального замкнутого контура с учётом экранирования:

$$R_{z.э.} = \frac{16,0}{0,8} = 20 \text{ Ом}$$

Результирующее сопротивление всего устройства заземления:

$$R_z = \frac{20,6 \cdot 20}{20,6 + 20} = 10,1 \text{ Ом},$$

что соответствует условию (57)

$$R_z = 10,1 < R = 10,2, \text{ Ом.}$$

Условия проверки всех требований выполнены.

Принимается для контура заземления системы освещения 16 вертикальных стержней с расположением по квадрату (4x4 шт), с расстоянием между стержнями 5 м.

Конструкция заземляющего устройства показана на графическом листе №6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработан проект системы электроснабжения машиностроительного завода согласно требований нормативных документов с учётом надёжности, качества электроэнергии, передаваемой потребителям, экономичности и электробезопасности.

В соответствии с поставленной целью в работе выполнены следующие основные задачи:

- описаны исходные данные для проектирования;
- выполнен расчет электрических нагрузок проектируемого объекта;
- произведён выбор числа и мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП, а также выбор компенсирующих устройств;
- выполнено построение картограммы электрических нагрузок завода, определены центры электрических нагрузок;
- проведён выбор напряжений питающей и распределительной сети;
- осуществлён выбор числа и мощности трансформаторов на ГПП;
- произведён расчет потерь мощности и энергии в трансформаторах ГПП;
- выбрана принципиальная схема ГПП;
- произведён расчет сечений кабельных линий;
- выполнен расчет токов короткого замыкания;
- осуществлён выбор электрооборудования;
- разработана компоновка ГПП, ТП;
- описаны мероприятия по охране труда и техники безопасности, включающие анализ опасных и вредных человека факторов, профилактические мероприятия, необходимые документы для предупреждения нарушений.

В результате выполнения работы было выбрано и обосновано следующее оборудование системы электроснабжения проектируемого предприятия сельскохозяйственного машиностроения:

- обоснована схема электроснабжения предприятия, произведён расчёт электрических нагрузок предприятия;

- в качестве трансформаторных подстанций были выбраны комплектные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ (всего – 9 ПС), на которых устанавливались следующие типонаминалы силовых трансформаторов, а именно: ТМГ – 1250/10 – 1 ПС, ТМГ – 1600/10 – 3 ПС, ТМГ – 2500/10 – 5 ПС;

- выбраны питающие кабели, с прокладкой в траншее, а именно: для питания КТП от ГПП и отдельных высоковольтных синхронных двигателей (СД) от ГПП – АСБ, для питания РП от КТП – АВВГ;

- выбраны и проверены силовые трансформаторы, которые устанавливаются на ГПП – два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110;

- выбраны и проверены электрические аппараты для установки в распределительных устройствах на ГПП и КТП.

Проектирование проведено согласно требованию нормативных документов с использованием рекомендованной литературы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. – 632 с.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: КНОРУС, 2016. – 348 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
4. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // РД РАО «ЕЭС России». – М.: Министерство энергетики, 2013.
6. Силовые масляные трансформаторы ТМГ // ПромЭлектроСервис. Режим доступа: <http://www.elektro-portal.com/series/show/transformator-tmg>. Дата обращения: 15.03.2020 г.
7. Ермилов А. А. Как выполняются предприятия подстанции // Научно-технические технологии. 2012. № 27. - С. 37-45.
8. С. В. Родыгина, Павлюченко Д.А. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. 47 с.
9. Киреева, Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. – М.: КноРус, 2016. 236 с.
10. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. - Томск : ТПУ, 2011. 249 с.
11. Неклепаев Б.В. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. - М: ЭНАС, 2013. 145 с.

12. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. - М: "Энергия", 2010. 84 с.
13. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. - М. : Лань, 2012. 400 с.
14. Дубинин В.Н. Об эффективности электроснабжения промышленных предприятий// Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. 2016. № 2.
15. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. - М. : Эксмо, 2011. 159 с.
16. Фризен В.Э, С.Л. Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. 184 с.
17. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Эксмо, 2018. 98 с., ил.
18. Сибикин, Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий / Ю.Д. Сибикин. - М.: КноРус, 2016. 264 с.
19. Шабанов, И.И. Электробезопасность в производстве. Учебное пособие. / И. И. Шабанов: ФГОУ ВПО АЧГАА. 2008. 253 с.
20. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2005 г. 168 с.
21. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.