

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 группы цехов автозавода»

Студент

И.С. Докукин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе проведена разработка проекта системы электроснабжения группы производственных цехов автозавода, включающая выполнение следующих исследований: анализ электрооборудования группы цехов автозавода, включающий характеристику технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода, а также непосредственную характеристику группы производственных цехов автозавода; разработка системы электроснабжения группы цехов автозавода, включающая выбор схемы электроснабжения группы цехов автозавода, расчет электрических нагрузок группы цехов автозавода, определение центра электрических нагрузок цеховых ТП и ЦРП, выбор трансформаторов цеховых ТП, описание конструктивного выполнения цеховых ТП и ЦРП, выбор компенсирующих устройств, выбор и проверка сечения проводников, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов, описание мероприятий по эксплуатации электрооборудования группы цехов автозавода.

Разработан комплекс мероприятий по технике безопасности при выполнении работ, а также по экологической безопасности. Рассчитано заземление трансформаторной подстанции.

Работа состоит из 61 страницы, 6 чертежей формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ электрооборудования группы цехов автозавода	6
1.1 Характеристика технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода.....	6
1.2 Характеристика группы производственных цехов автозавода	8
Выводы по разделу 1.....	11
2 Разработка системы электроснабжения группы цехов автозавода.....	12
2.1 Выбор схемы электроснабжения группы цехов автозавода.....	12
2.2 Расчет электрических нагрузок группы цехов автозавода	13
2.3 Построение картограммы нагрузок и определение центра электрических нагрузок ЦРП.....	20
2.4 Выбор трансформаторов цеховых ТП	22
2.5 Конструктивное выполнение цеховых ТП и ЦРП.....	24
2.6 Выбор компенсирующих устройств.....	26
2.7 Выбор и проверка сечения проводников	30
2.8 Расчет токов короткого замыкания	33
2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов	39
2.10 Эксплуатация электрооборудования группы цехов автозавода.....	48
Выводы по разделу 2.....	50
3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда	51
3.1. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности	51
3.2. Расчёт контура заземления цеховой ТП	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	60

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является разработка проекта системы электроснабжения группы производственных цехов автозавода.

Актуальность работы обусловлена необходимостью проектирования электрических сетей и оборудования промышленных предприятий с обеспечением необходимой степени надёжности, экономичности и качества электроэнергии согласно основным положениям [1-4].

Объектом исследования является группа производственных цехов автозавода.

Предметом исследования являются электрическая схема, электрическое оборудование и сети системы электроснабжения группы производственных цехов автозавода.

Работа состоит из трёх разделов, в которых исследуются и раскрываются основные задачи работы, а именно:

- в первом разделе приводится анализ электрооборудования группы цехов автозавода, включающий характеристику технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода, а также непосредственную характеристику группы производственных цехов автозавода с указанием установленной суммарной активной нагрузки, табличными значениями коэффициента спроса электроприёмников и значением коэффициентов активной мощности, а также категориями по надёжности электроснабжения потребителей, находящихся в данных цехах;

- во втором разделе работы проводятся разработка системы электроснабжения группы цехов автозавода, включающая выбор схемы электроснабжения группы цехов автозавода, расчет электрических нагрузок группы цехов автозавода, определение центра электрических нагрузок цеховых ТП и ЦРП, выбор трансформаторов цеховых ТП, описание конструктивного

выполнение цеховых ТП и ЦРП, выбор компенсирующих устройств, выбор и проверка сечения проводников, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов, описание мероприятий по эксплуатации электрооборудования группы цехов автозавода;

- в третьем разделе разрабатывается комплекс мероприятий по безопасности жизнедеятельности при выполнении работ, экологической безопасности, а также осуществляется расчёт контура заземления ТП.

В графической части приведены следующие чертежи:

1. План расположения группы цехов на территории предприятия.
2. Однолинейная электрическая схема системы электроснабжения группы цехов.
3. Конструктивное выполнение цеховых трансформаторных подстанций с разрезом камеры силового трансформатора.
4. Конструктивное выполнение центрального распределительного пункта.
5. Узлы монтажа кабельных линий.
6. Конструкция контура заземления цеховой ТП.

Решение основных задач работы проводится с непосредственным использованием рекомендованной литературы и нормативных документов.

1 Анализ электрооборудования группы цехов автозавода

1.1 Характеристика технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода

Автомобильный завод (далее – автозавод) – это промышленное предприятие, специализирующееся на изготовлении автомобилей различных типов и комплектации, а также запасных частей и комплектующих к ним [5].

Технологический процесс автозавода представляет собой единый комплекс цехов и участков [5], в которых непосредственно выполняется основные операции, представленные на рисунке 1.

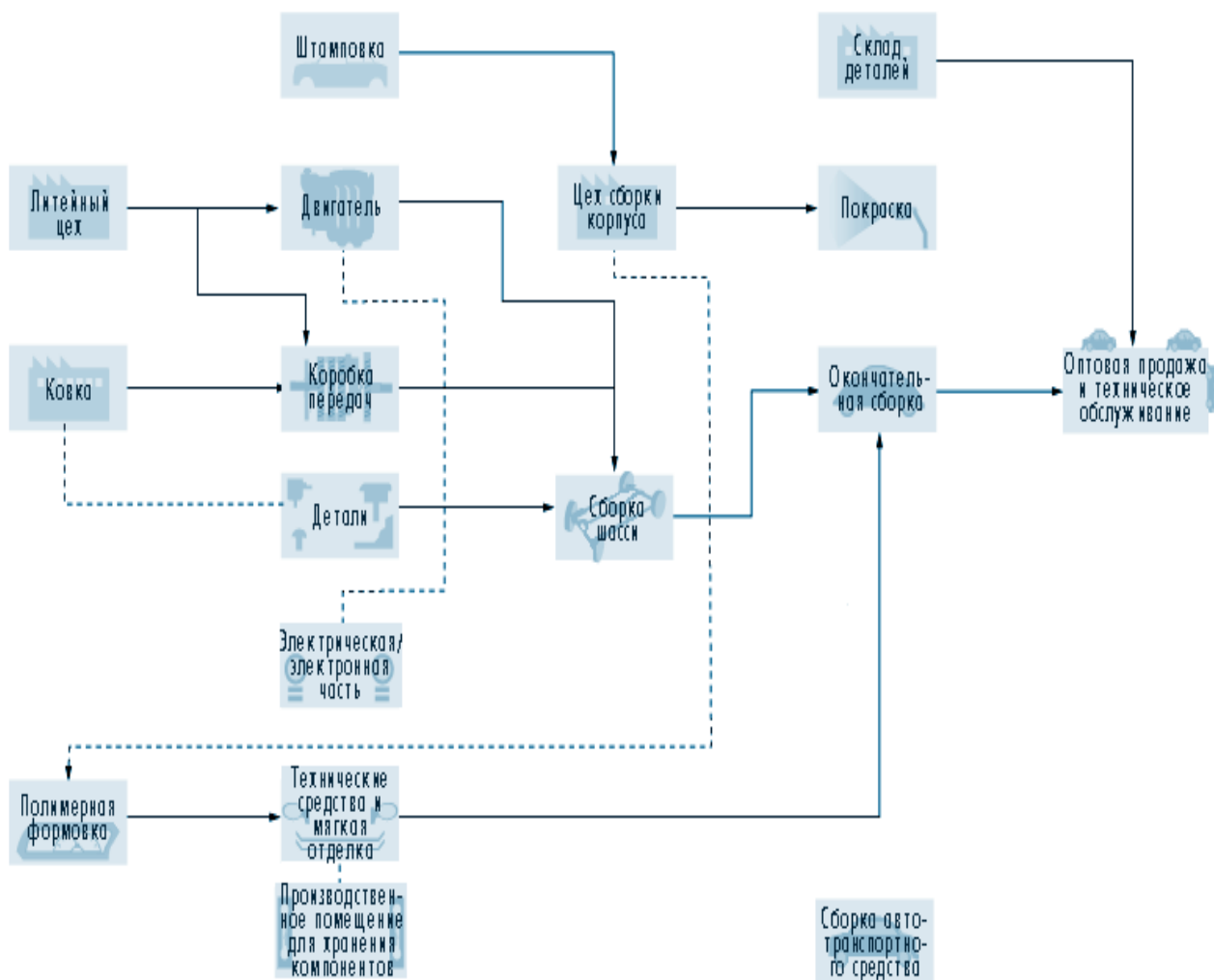


Рисунок 1 – Схема технологического процесса производства на автозаводе

Технологический процесс на автозаводе сосредоточен в группе производственных цехов, электроснабжение которых является темой работы и рассматривается в работе детально далее.

Также на территории предприятия также расположено заводоуправление с техническими службами, обеспечивающих технологический процесс производства.

Однако заводоуправление в работе не рассматривается, т.к. не относится к группе производственных цехов и в технологическом процессе производства непосредственно не принимает участия.

Группы производственных цехов автозавода представляют собой отдельные строения, собранные из металлических конструкций, стены и кровля изготовлены из сборных панелей.

Фундамент – заливной с применением цементно-бетонной смеси, полы – цементные.

Изнутри стены обшиты металлическим профильным листом 0,5 мм (белого цвета), подвесной потолок также в виде металлического профильного листа 0,5мм (белого цвета).

По длине строений располагаются опорные стальные колонны несущей фермы-кровли по всей их длине, начиная от угла через каждые шесть метров.

Из строений группы производственных цехов автозавода предусмотрены минимум по два выхода согласно требованиям пожарной безопасности.

Освещение группы производственных цехов автозавода - естественное и искусственное.

При этом площадь окон должна составлять не менее 30% от площади пола.

Искусственное освещение выполняется промышленными светодиодными светильниками с креплением к подвесному потолку, светильники размещаются равномерно по площади цехов.

Также должно быть предусмотрено аварийное освещение, при этом щитки аварийного освещения должны получать питание от второй секции сборных шин трансформаторной подстанции [1,6].

Управление освещением (щитки рабочего и аварийного освещения) должны находиться вблизи центрального входа [1,6].

Вентиляция группы производственных цехов автозавода - естественная и искусственная.

Группа производственных цехов автозавода должна иметь самостоятельные вентиляционные системы.

Вентиляционные каналы размещаются за подвесным потолком (отдельно приток с электроподогревом воздуха и вытяжка).

Управление вентиляцией размещается вблизи центрального входа.

Установки обогрева помещений группы производственных цехов автозавода располагается в служебном помещении.

Водоснабжение холодной водой – централизованное от источников, находящихся вне территории автозавода.

Подогрев воды осуществляется также для санитарно-гигиенических нужд автозавода.

1.2 Характеристика группы производственных цехов автозавода

На территории автозавода расположены основные производственные цеха и участки, непосредственно выполняющие важную роль в технологическом процессе [5]:

- литейный цех – применяется для изготовления различных механизмов и узлов автомобилей с помощью литья.

Указанный литейный цех подразделяется на отделы чёрного литья (например, для производства блоков цилиндров двигателя и других деталей и механизмов) и цветного литья (изделия из алюминия: головки цилиндров,

картера коробок передач, блоки цилиндров двигателя и других деталей и механизмов);

- штамповочный цех – необходим для производства сборочных узлов для изготовления панелей кузовов и других подобного рода изделий;

- кузнечно – термический цех – в цеху применяются процессы горячей и холоднойковки с последующей термической обработкой. В данном цеху изготавливаются детали двигателя, трансмиссии и подвесок, а также других деталей и механизмов;

- механический цех – необходим для высококачественной механической обработки узлов и деталей;

- механосборочный цех – необходим для технологического процесса предварительной механической и термической обработки изделий, а также «доводки» узлов и деталей до нужного состояния с помощью механических и термических операций, производимых на оборудовании, с последующей сборкой узлов и агрегатов.

В механосборочном цеху также есть участок сборки кузовов, который необходим для технологического процесса окончательной сборки кузовов и агрегатов из готовых и обработанных изделий, а также участок сборки шасси и амортизаторов, необходимый для технологического процесса окончательной сборки шасси и амортизаторов из готовых и обработанных изделий.

Данный цех необходим для технологического процесса предварительной механической и термической обработки изделий, а также «доводки» узлов и деталей до нужного состояния с помощью механических и термических операций, производимых на оборудовании, с последующей сборкой узлов и агрегатов.

Сборка изделий – важнейшая технологическая операция, способная выявить все возможные ошибки и недостатки, допущенные на предыдущих стадиях производства, включая проектирование.

Это – одна из финальных стадий производственного цикла. На данном этапе изготовленные и обработанные детали соединяются между собой тем или иным способом: сваркой, болтовыми соединениями, прессовкой, заклёпочными соединениями и т.д.

В зависимости от способа монтажа деталей и узлов требуется различный инструмент, оборудование и оснастка [5].

Механосборочный цех располагает всем необходимым инструментом, устройствами и оборудованием (электрическим, пневматическим, гидравлическим и ручным), необходимыми для осуществления самых разнообразных сборочных, регулировочных и ремонтных операций [5].

Наличие всего необходимого инструмента и оборудования позволяет существенно увеличить оперативность и качество выполняемых работ.

Цех отделки (внешней и внутренней) предназначен для декоративной отделки кузова и салона, корпуса, установок подушек сидений, монтаж сидений, приборной доски, внешних и внутренних панелей кузова.

Кроме того, в указанном цеху отделки расположен участок покраски, необходимый для окрашивания кузовов, деталей, узлов и механизмов.

Приёмо – сдаточные испытания готовой продукции проводятся в испытательной лаборатории, в которой есть всё необходимое оборудование для проверки узлов и механизмов.

Структурные подразделения группы производственных цехов автозавода с указанием установленной суммарной активной нагрузки, табличными значениями коэффициента спроса электроприёмников и значением коэффициентов активной мощности, а также категориями по надёжности электроснабжения потребителей, находящихся в данных цехах, представлены в таблице 1.

Выбор исходных данных осуществлялся по [6].

Таблица 1 – Исходные данные и характеристики группы производственных цехов автозавода

№ цеха	Название цеха	$P_{уст.i}$, кВт	K_c	$\cos\varphi_i$	Категория по надёжности
1	Литейный цех	1750	0,8	0,66	I
2	Штамповочный цех	1200	0,8	0,64	I
3	Цех отделки	460	0,7	0,69	I
4	Механосборочный цех	560	0,8	0,61	I
5	Механический цех	700	0,8	0,64	I
6	Кузнечно – термический цех	1345	0,75	0,66	I
7	Испытательная лаборатория	340	0,8	0,66	II

План расположения группы цехов на территории автозавода представлен на графическом листе №1 работы.

Выводы по разделу 1

В результате выполнения первого раздела проведён анализ электрооборудования группы цехов автозавода, включающий характеристику технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода, а также непосредственную характеристику группы производственных цехов автозавода с указанием установленной суммарной активной нагрузки, табличными значениями коэффициента спроса электроприёмников и значением коэффициентов активной мощности, а также категориями по надёжности электроснабжения потребителей, находящихся в данных цехах.

2 Разработка системы электроснабжения группы цехов автозавода

2.1 Выбор схемы электроснабжения группы цехов автозавода

Электроснабжение группы производственных цехов автозавода осуществляется от центрального распределительного пункта (ЦРП), от которого получает питание семь ТП – 10/0,4 кВ, преобразующих электроэнергию напряжением 10 кВ до напряжения 0,38/0,22 кВ для её распределения и непосредственного питания производственных цехов автозавода [1,5].

При этом, как было указано ранее, производственные цеха автозавода относятся к I и II категории надёжности, поэтому для питания каждого из группы производственных цехов должен быть предусмотрен второй источник питания с учётом требований резервирования согласно [1,6].

Все ТП-10/0,4 кВ в работе выполнены с использованием двух силовых трансформаторов, так как группа производственных цехов относится к I и II категории надёжности и, согласно [1], требует двух независимых источников питания с необходимыми условиями резервирования и секционирования.

В связи с этим, электроснабжение ТП-10/0,4 кВ производственных цехов осуществляется от шин напряжением 10 кВ ЦРП двумя кабельными линиями по радиальной схеме электроснабжения от разных секций шин 10 кВ (по одной линии на каждый силовой трансформатор ТП-10/0,4 кВ) согласно [1].

В схеме ТП-10/0,4 кВ на стороне 0,4 кВ, согласно [1], необходимо использовать секционированную систему сборных шин.

При этом резервирование на ТП-10/0,4 кВ осуществляется на стороне 0,4 кВ с помощью секционных автоматов, которые в нормальном режиме работы отключены и включаются системой автоматического включения резерва (АВР) при необходимости в случае аварийного прекращения подачи напряжения на одну из секций сборных шин 0,38/0,22 кВ ТП-10/0,4 кВ.

Центральное распределительное устройство 10 кВ конструктивно выполнено комплектным с применением ячеек типа КРУ марки СЭЩ-70. Для защиты отходящих линий в РУ 10 кВ применяются высоковольтные вакуумные выключатели ВВ/TEL-10/630-12.5/31.5, для питания вторичных цепей коммутации используются трансформаторы тока марки ТПОЛ-Э-12.

Трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, непосредственно питающие производственные цеха завода, конструктивно выполнены пристроенными закрытыми с применением комплектных ячеек распределительных устройств 10 кВ и 0,4 кВ. Такая подстанция состоит из силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, распределительных устройств, релейной защиты и автоматики.

Выбор и детальное описание типа ТП-10/0,4 кВ осуществляется в работе далее.

Отходящие линии, питающие потребителей производственных цехов автозавода от ТП-10/0,4 кВ, выполнены по радиальной схеме кабелем марки АВВГ разных сечений, которые выбираются в работе далее.

План расположения группы цехов на территории предприятия представлен на графическом листе 1, электрическая схема системы электроснабжения группы цехов автозавода показана на графическом листе 2.

2.2 Расчет электрических нагрузок группы цехов автозавода

Расчётная нагрузка электрических нагрузок группы цехов автозавода состоит из суммы электрических силовых и осветительных значений нагрузок группы цехов автозавода.

Расчетная нагрузка общего электрического освещения сооружений определяется методом коэффициента спроса.

Для этого необходимо сначала определить установленное (номинальное) значение нагрузки приборов освещения производственных цехов автозавода

$P_{уст.о.и}$

На этапе определения общей нагрузки цехов автозавода оно определяется так:

$$P_{уст.о.i} = k \cdot p_{р.о.i} \cdot F_i \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \quad (1)$$

где k - коэффициент, учитывающий мощность пусковых приборов в зависимости от источника света (для светодиодных ламп принимается значение $k = 1,2$);

$P_{р.о.i}$ - удельная нагрузка общего освещения i -го производственного цеха, Вт/м²;
 F_i - площадь i -го производственного цеха, подлежащего освещению, м² (размеры сооружения берутся из генплана).

Расчетное значение активной нагрузки общего освещения i -го производственного цеха определяется по формуле

$$P_{р.о.i} = K_{п.о} P_{уст.о.i} \text{ кВт} \quad (2)$$

где $K_{с.о}$ - коэффициент спроса общего освещения.

В работе принято значение $K_{п.о} = 0,95$ для светодиодных ламп.

Расчетное значение реактивной нагрузки освещения i -го производственного цеха

$$Q_{р.о.i} = P_{р.о.i} \text{tg} \varphi_{о.i} \text{, квар} \quad (3)$$

где $\text{tg} \varphi_{о.i}$ - соответствует значению коэффициента мощности i -го производственного цеха в зависимости от типа источника света, задается в [6] (величина коэффициента мощности для различных типов ламп приведены в [6]).

Расчетное значение полной нагрузки общего освещения i -го производственного цеха

$$S_{р.о.i} = \sqrt{P_{р.о.i}^2 + Q_{р.о.i}^2} \text{, КВА.} \quad (4)$$

По формуле (1) определяется установлено (номинальное) значение нагрузки общего освещения, по формуле (2) - (4) определяются расчетное

активное, реактивное, полное значение нагрузки общего освещения каждого производственного цеха.

Так, для цеха отделки

$$P_{уст.о.3} = 1,2 \cdot 12 \cdot 9720 \cdot 10^{-3} = 140 \text{ кВт.}$$

$$P_{р.о.3} = 0,95 \cdot 140 = 133 \text{ кВт.}$$

$$Q_{р.о.3} = 133 \cdot 0,33 = 43,9 \text{ квар.}$$

$$S_{р.о.3} = \sqrt{133^2 + 43,9^2} = 140,1 \text{ кВА.}$$

Результаты расчетов для других производственных цехов приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Определение расчетной нагрузки общего электрического освещения производственных цехов

Название цеха	Площадь $F_i, \text{ м}^2$	Тип ламп	$P_{р.о.i},$ Вт/м ²	Результаты расчетов			
				$P_{уст.о.},$ кВт	$P_{р.о.},$ кВт	$Q_{р.о.},$ квар	$S_{р.о.},$ кВА
Литейный цех	8640	LED	11	104,5	99,3	42,0	118,6
Штамповочный цех	8640		16	108,2	101,3	54,5	119,3
Цех отделки	9720		12	140,0	133,0	43,9	140,1
Механосборочный цех	2592		16	45,6	38,8	17,1	47,5
Механический цех	4608		19	87,6	83,2	49,4	102,1
Кузнечно – термический цех	3456		11	45,6	43,3	24,2	55,6
Испытательная лаборатория	1728		17	32,3	30,7	13,2	41,4
Всего				593,9	559,6	350,3	737,7

Расчетное значение силовой активной нагрузки для производственных цехов при напряжении 0,38/0,22 кВ определяется по формуле

$$P_{p.c.i} = K_c P_{уст.i}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где K_c - коэффициент спроса потребителей производственного цеха (числовые значения K_c производственных цехов указаны в [6]);

$P_{уст.i}$ - установленная активная мощность i -го производственного цеха (числовые значения $P_{уст.i}$ производственных цехов приведены в таблице 1 данной работы).

Расчетное силовое реактивную нагрузку i -го производственного цеха

$$Q_{p.c.i} = P_{p.c.i} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар}, \quad (6)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_i$ - соответствующее значение коэффициенту мощности $\cos \varphi_i$ i -го производственного цеха (числовые значения $\cos \varphi_i$ производственных цехов приведены в [6]).

Расчетное значение силовой полной нагрузки i -го производственного цеха определяется так

$$S_{p.c.i} = \sqrt{P_{p.c.i}^2 + Q_{p.c.i}^2}, \text{ кВА} \quad (7)$$

Определяются расчетные силовые значения активной, реактивной и полной нагрузки производственных цехов.

Так, для литейного цеха автозавода по (5) – (7) значение расчетной силовой нагрузки

$$P_{p.c} = 0,8 \cdot 1750 = 1400 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.c} = 1400 \cdot 1,14 = 1593,6 \text{ квар}.$$

$$S_{p.c} = \sqrt{1400^2 + 1593,6^2} = 2121,2 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов для других производственных цехов приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Определение расчетной силовой нагрузки производственных цехов завода

№ цеха	Название цеха	$P_{уст.i}$, кВт	K_c	$\cos\varphi_i / \operatorname{tg}\varphi_i$	Результаты расчетов		
					$P_{р.с.}$, кВт	$Q_{р.с.}$, квар	$S_{р.с.}$, кВА
1	Литейный цех	1750	0,8	0,66 / 1,14	1400	1593,6	2121,2
2	Штамповочный цех	1200	0,8	0,64 / 1,2	960	1152,6	1500
3	Цех отделки	460	0,7	0,69 / 1,05	320	335,7	463,8
4	Механосборочный цех	562	0,8	0,66 / 1,14	450	361,8	566,8
5	Механический цех	700	0,8	0,64 / 1,2	561	673,5	876,6
6	Кузнечно – термический цех	1344	0,75	0,66 / 1,14	1008	1147,4	1527,3
7	Испытательная лаборатория	340	0,8	0,66 / 1,14	272	309,6	412,1
Всего					4840,5	5559,9	7373,4

Для определения расчетной нагрузки группы производственных цехов завода необходимо вычислить общее (суммарное) значение расчетной нагрузки производственных цехов завода.

При расчете общего значения расчетной нагрузки производственных цехов завода с учетом расчетной нагрузки общего электрического освещения принимается коэффициент одновременности совпадения максимумов нагрузки $K = 1$.

Необходимые расчетные данные (расчетная силовая нагрузка и расчетная нагрузка общего электрического освещения производственных цехов завода) берутся в соответствии с таблицами 2.1 и 2.2.

Общее расчетное значение активной нагрузки i -го производственного цеха завода определяется по формуле

$$P_{p.ц.i} = P_{p.c.i} + P_{p.o.i} \text{ кВт.} \quad (8)$$

Общее расчетное значение реактивной нагрузки i -го производственного цеха завода определяется по формуле определяется как

$$Q_{p.ц.i} = Q_{p.c.i} + Q_{p.o.i}, \text{ квар.} \quad (9)$$

Таким образом, общее расчетное значение полной нагрузки i -го производственного цеха завода определяется по формуле

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{P_{p.ц.i}^2 + Q_{p.ц.i}^2}, \text{ кВА.} \quad (10)$$

Так, для цеха отделки

$$P_{p.ц.3} = 320 + 133 = 453 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p.ц.i} = 335,7 + 43,7 = 379,4 \text{ квар.}$$

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{453^2 + 379,4^2} = 590,9 \text{ кВА.}$$

Результаты расчетов для других производственных цехов завода определяется по формулам (8) – (10) и приведены в таблице 2.3.

Общее расчетное значение активной нагрузки группы производственных цехов завода (нагрузка на шинах ЦРП) определяется с учетом коэффициента одновременности совпадения максимумов нагрузки этих групп или сооружений (его принимают в интервале $K_O = 0,85 - 0,9$)

$$P_p = K_O \sum_{i=1}^m P_{p.ц.i} \text{ кВт,} \quad (11)$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^m Q_{p.ц.i}, \text{ квар}, \quad (12)$$

где m - число расчетных групп, шт.

Расчетная полная мощность при этом определяется так:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (13)$$

Результаты расчётов общей (суммарной) нагрузки производственных цехов завода и группы производственных цехов завода (т.е. нагрузки на шинах 10 кВ ЦРП) приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Определение расчетной общей (суммарной) нагрузки производственных цехов завода и группы производственных цехов завода

№ цеха	Название цеха	Результаты расчетов		
		$P_{p.ц}$, кВт	$Q_{p.ц}$, квар	$S_{p.ц}$, кВА
1	Литейный цех	1499,3	1765,6	2316,3
2	Штамповочный цех	1091,3	1152,6	1587,3
3	Цех отделки	453,0	379,4	590,9
4	Механосборочный цех	475,0	429,0	640,1
5	Механический цех	644,2	673,5	932,0
6	Кузнечно – термический цех	1051,3	1161,6	1566,7
7	Испытательная лаборатория	2302,7	605,9	2381,1
Всего по заводу (нагрузка группы производственных цехов)		7516,8	4955,9	9003,5
Всего с учетом $K_o = 0,85$ (нагрузка группы производственных цехов завода – нагрузка ЦРП)		6389,3	4212,5	7653,0

2.3 Построение картограммы нагрузок и определение центра электрических нагрузок ЦРП

Для снижения расхода цветного металла на электрическую сеть и уменьшения потерь электроэнергии, желательно располагать ЦРП в центре электрических нагрузок (ЦЭН).

Для наглядности определения центра электрических нагрузок (ЦЭН) рассчитывается картограмма нагрузок цехов завода, непосредственно получающих питание от ЦРП.

В работе ЦЭН ЦРП можно определить примерно, считая, что его нагрузки распределены равномерно на его территории.

В этом случае ЦЭН ЦРП совпадает с его геометрическим центром.

Проводится построение картограммы электрических нагрузок производственных цехов автозавода, которые питаются от ЦРП.

Площадь круга в принятом масштабе m равна полному значению расчетной нагрузки:

$$S_{p.ц.i} = \pi r_{ц.i}^2 m, \text{ кВА}, \quad (14)$$

где $S_{p.ц.i}$ - расчетное значение полной нагрузки, кВА;

$r_{ц.i}^2$ - радиус окружности, м;

m - масштаб, кВА/см².

Из этого выражения определяется радиус окружности

$$r_{ц.i} = \sqrt{\frac{S_{p.ц.i}}{\pi m}}, \text{ м}. \quad (15)$$

Так для ТП №3, питающем цех отделки, радиус при принятом масштабе $m = 20$ кВА/м

$$r_{ц.i} = \sqrt{\frac{981,2}{3,14 \cdot 20}} = 3,9 \text{ м}.$$

Аналогичные расчеты для других производственных цехов автозавода приводятся в таблице 5.

Таблица 5 – Координаты и радиусы кругов картограмм производственных цехов автозавода

№ ТП	Название цеха	Координаты		r _{ц,i} , м.
		X _ц , м.	Y _ц , м.	
1	Литейный цех	49	31,4	6,1
2	Штамповочный цех	49	21,8	5,0
3	Цех отделки	49	8,6	3,1
4	Механосборочный цех	20,8	10,4	3,2
5	Механический цех	23,2	26,6	3,9
6	Кузнечно – термический цех	6,2	29	5,0
7	Испытательная лаборатория	6,2	10,4	6,2

Координаты ЦЭН ЦРП определяются в условной системе координат.

При этом координаты ЦЭН ЦРП определяются с учётом координат и нагрузок производственных цехов автозавода, получающих непосредственное питание от ЦРП.

Координаты ЦЭН ЦРП можно вычислить по формулам

$$X_{Ц} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.i} X_{ц.i}}{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.i}}, \text{ м,} \quad (16)$$

$$Y_{Ц} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.i} Y_{ц.i}}{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.i}}, \text{ м,} \quad (17)$$

где $X_{ц.i}, Y_{ц.i}$ - координаты ЦЭН производственных цехов автозавода;

n - количество производственных цехов автозавода.

Расчет координат ЦЕН по (16) и (17)

$$X_{\text{ц}} = \frac{2316,3 \cdot 49 + 1587,3 \cdot 49 + 590,9 \cdot 49 + 640,1 \cdot 20,8 + 932,0 \cdot 23,2 + 1566,7 \cdot 6,2 + 2381,1 \cdot 6,2}{2316,3 + 1587,3 + 590,9 + 640,1 + 932,0 + 1566,7 + 2381,1} = 26,7 \text{ м.}$$

$$Y_{\text{ц}} = \frac{2316,3 \cdot 31,4 + 1587,3 \cdot 21,8 + 590,9 \cdot 8,6 + 640,1 \cdot 10,4 + 932,0 \cdot 26,6 + 1566,7 \cdot 29 + 2381,1 \cdot 10,4}{2316,3 + 1587,3 + 590,9 + 640,1 + 932,0 + 1566,7 + 2381,1} = 20,4 \text{ м.}$$

ЦРП необходимо разместить в центре электрических нагрузок с координатами (26,7 м; 20,4 м).

Однако эти координаты находятся у помещения механического цеха, где размещение ЦРП невозможно, поэтому в связи с этим ЦРП смещаем в сторону питания от энергосистемы.

2.4 Выбор трансформаторов цеховых ТП

Номинальную мощность трансформаторов цеховых подстанций производственных цехов автозавода выбирают по эмпирической формуле

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}}}{N \beta_{\text{т}}}, \quad (18)$$

где $S_{\text{ном.т.р}}$ - полная номинальная (паспортная) мощность трансформатора;

$P_{\text{р.}}$ - расчетная активная мощность цеха, кВт;

N - число трансформаторов ТП, шт;

$\beta_{\text{т}}$ - коэффициент загрузки трансформатора цеховой ТП.

Так, для цеха отделки номинальная мощность трансформаторов цеховой ТП по (18)

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{453}{1 \cdot 1} = 453 \text{ кВА.}$$

Согласно выполненному расчету, для цеховой ТП цеха отделки выбирается для установки на цеховой ТП два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10.

Аналогичные расчеты для выбора номинальной мощности трансформаторов цеховых подстанций других производственных цехов автозавода приводятся в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов цеховых подстанций производственных цехов автозавода

№ ТП	Наименование цеха	$P_{р.ц}$, кВт	N, шт.	β_T , и.о.	$S_{ном.т.р}$, кВА	Марка силового трансформатора для установки на ТП
1	Литейный цех	1499,3	2	0,8	937	ТМЗ-1000/10
2	Штамповочный цех	1091,3	2	0,8	682	ТМЗ-1000/10
3	Цех отделки	453,0	1	0,9	503	ТМЗ-630/10
4	Механосборочный цех	475,0	1	0,9	527	ТМЗ-630/10
5	Механический цех	644,2	2	0,8	402	ТМЗ-630/10
6	Кузнечно – термический цех	1051,3	2	0,8	657	ТМЗ-1000/10
7	Испытательная лаборатория	302,7	2	0,8	189	ТМЗ-250/10

Для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ выбираются силовые трансформаторы марки ТМЗ с первичным номинальным напряжением 10 кВ и вторичным напряжением 0,4 кВ.

Технические данные для выбранных трансформаторов цеховых подстанций приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические данные трехфазных масляных двухобмоточных трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ трансформаторных подстанций производственных цехов автозавода

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжения КЗ, %	Ток, ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМЗ-250/10	250	10	0,4	0,74	3,7	4,5	2,3
ТМЗ-630/10	630			1,31	7,6	5,5	1,8
ТМЗ-1000/10	1000			1,90	10,8	5,5	1,2

2.5 Конструктивное выполнение цеховых ТП и ЦРП

Трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, непосредственно питающие производственные цеха завода, конструктивно выполнены пристроенными, закрытого типа с применением комплектных ячеек распределительных устройств 10 кВ и 0,4 кВ.

Питание цеховых трансформаторных подстанций выполняется по радиальной схеме электроснабжения.

Для приёма электроэнергии на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ установлены две камеры ввода 10 кВ марки КСО-10-Э1, в которых находятся выключатели нагрузки и предохранители, обеспечивающие защиту цеховых ТП на напряжении 10 кВ.

Через шкаф ввода 10 кВ получают питание силовые трансформаторы, которые трансформируют напряжение 10 кВ в напряжение 0,4 кВ.

При этом для каждого силового трансформатора применяется ввод от отдельной ячейки РУ-10 кВ, что значительно повышает надёжность схемы, т.к. такая схема предусматривает отдельное питание трансформаторов по радиальной схеме, и, далее, потребителей производственных цехов.

Согласно рекомендациям [1], для внутрицеховых подстанций при мощности трансформатора до 1600 кВА выбраны трансформаторы закрытого исполнения типа ТМЗ (трехфазный, с естественным масляным охлаждением, с герметичным баком повышенной прочности с азотной подушкой).

На указанных трансформаторах напряжение регулируется перестановкой ответвлений первичной обмотки при отключенном от сети трансформаторе.

Данные трансформаторы с масляным охлаждением имеют термосигнализаторы для измерения температуры верхних слоев масла.

Уровень масла в баке контролируется маслоуказателем.

Для контроля внутреннего давления трансформаторы имеют электроконтактные манометры.

Повышение давления контролирует реле давления.

На стороне 0,4 кВ применяется радиальная схема электроснабжения, что связано с категорией надёжности потребителей производственных цехов завода и значительно повышает условия надёжности.

В распределительном устройстве используются распределительные шкафы типов:

- ШНВ-2 (шкаф низковольтный вводной);
- ШНЛ-2 (шкаф низковольтный линейный);
- ШНС-2 (шкаф низковольтный секционный).

Во всех шкафах устанавливаются автоматические выключатели марки ВА (во вводных шкафах – вводные выключатели, в линейных – линейные выключатели и в секционном – секционные).

К низковольтным линейным шкафам через автоматические выключатели подключаются питающие кабели.

Для учета электроэнергии, а также с целью измерения напряжения и тока, во всех фазах вводных шкафов низкого напряжения устанавливаются

трансформаторы, а для учета электроэнергии – трёхфазные счетчики активной и реактивной электроэнергии.

Центральный распределительный пункт (ЦРП), от которого получают питания все цеховые ТП-10/0,4 кВ, выполнен в виде отдельно стоящего здания, в котором размещены камеры комплектных распределительных устройств типа СЭЩ-70.

В указанных камерах на выкатных тележках находятся выключатели высокого напряжения (вводные, линейные и секционный), а также трансформаторы тока марки ТПОЛМ-10.

Данный тип камер не требует установки разъединителя, так как видимый разрыв согласно требованиям [1] в них обеспечивают втычные контакты в ремонтном положении выкатной тележки.

Описанное конструктивное выполнение цеховых трансформаторных подстанций группы производственных цехов автозавода с разрезом камеры силового трансформатора представлено на графическом листе 3.

Конструктивное выполнение центрального распределительного пункта показано на графическом листе 2.

2.6 Выбор компенсирующих устройств

Мощность конденсаторных устройств определяется при расчетах систем внутризаводского электроснабжения.

В качестве компенсирующих устройств на стороне низкого напряжения цеховых ТП-10/0,4 кВ применяются комплектные конденсаторные установки типа УКРП-0,4-УЗ, которые получают питание кабельными линиями от шкафов низковольтного ввода.

Такая конденсаторная установка (КУ) состоит из шкафа ввода и шкафа с конденсаторами. В шкафу ввода установлен вводный предохранитель и регулятор.

Шкаф с конденсаторами состоит из силовых блоков, каждый из которых содержит конденсаторы типа МКР.

Каждая секция содержит выключатель-предохранитель и специальный магнитный пускатель на соответствующий ток, предназначенный для коммутации реактивных токов.

Данный тип конденсаторов имеет экологически чистый наполнитель.

Максимальная реактивная мощность, которую целесообразно передавать через трансформатор 10/0,4 кВ в сеть напряжением до 1 кВ для обеспечения желаемого коэффициента его загрузки β_T

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \text{ квар}, \quad (19)$$

где N - число трансформаторов ТП, шт. ;

$S_{\text{ном.т}}$ - полная номинальная мощность трансформатора цеховой подстанции, кВА;

$P_{\text{р.ТП}}$ - расчетная активная мощность нагрузки ТП, кВт.

Если под корнем величина со знаком минус, то принимают $Q_T = 0$.

Мощность конденсаторных установок с конденсаторами номинальным напряжением 0,4 кВ определяется как

$$Q_{\text{н.к}} = Q_{\text{р.т}} - Q_T, \text{ квар}, \quad (20)$$

где $Q_{\text{р.т}}$ - расчетная реактивная мощность, равной расчетной реактивной мощности цеха, который питает ТП-10/0,4 кВ, квар.

Для применения принимается ближайшая стандартная величина мощности комплектной конденсаторной установки (УК) $Q_{\text{н.к.ст}}$, которая выбирается из [7].

Если $Q_{\text{н.к}} \leq 0$, то устанавливать конденсаторы номинальным напряжением 0,4 кВ не нужно.

Так, для ТП №3

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 453^2} = 900,5 \text{ квар};$$

$$Q_{н.к} = 379,4 - 900,5 = -521,1 \text{ квар.}$$

Так как на ТП №3 значение $Q_{н.к} \leq 0$, то устанавливать конденсаторы номинальным напряжением 0,4 кВ на ТП №3 не нужно.

Аналогичные расчеты для выбора номинальной мощности конденсаторов с номинальным напряжением 0,4 кВ для цеховых подстанций других сооружений приводятся в таблице 8.

Таблица 8 – Определение мощности комплектных конденсаторных установок номинальным напряжением 0,4 кВ

№ ТП	$P_{р.ц}$, кВт	Q_T , квар	Марка трансформатора	$Q_{р.т}$, квар	$Q_{н.к}$, квар	Типономинал КУ	Количество х мощность КУ, шт х квар
1	1499,3	558,7	ТМЗ-1000/10	1765,6	1206,8	УКРП-0,4-600-20УЗ	2 х 600
2	1091,3	1170,0	ТМЗ-1000/10	1152,6	-17,4	-	-
3	453,0	900,5	ТМЗ-630/10	379,4	-521,1	-	-
4	475,0	889,1	ТМЗ-630/10	429,0	-460,1	-	-
5	644,2	775,3	ТМЗ-630/10	673,5	-101,8	-	-
6	1051,3	1206,1	ТМЗ-1000/10	1161,6	-44,5	-	-
7	2302,7	-514,2	ТМЗ-250/10	605,9	-	-	-

Мощность высоковольтных компенсирующих устройств определяется по формуле

$$Q_{в.к} = Q_{к.п} - \sum Q_{н.к.ст}, \text{ квар}, \quad (21)$$

где $Q_{к.п}$ - мощность компенсирующих устройств;

$\sum Q_{н.к.ст}$ - суммарная мощность установленных низковольтных КУ.

Для применения принимается ближайшая стандартная величина мощности КУ $Q_{н.к.ст}$, которая выбирается из специальной технической литературы [8].

Количество УК должна быть парной, потому что на всех цеховых ТП установлено по два силовых трансформатора.

Мощность высоковольтных компенсирующих устройств:

$$Q_{в.к} = 2615,2 - 1200 = 1415,2 \text{ квар.}$$

Согласно [8] выбираются два КУ типа УКЛ-10,5-700 УЗ.

При установке высоковольтных УК остается некомпенсированной реактивная мощность, которая компенсируется с помощью дополнительных низковольтных КУ в сетях энергосистемы.

Величину некомпенсированной реактивной мощности в работе определяют так:

$$Q_{неск} = Q_{в.к} - Q_{в.к.ст}, \text{ квар;} \quad (22)$$

$$Q_{неск} = 1415,2 - 1400 = 15,2 \text{ квар.}$$

Данная величина некомпенсированной реактивной мощности должна быть учтена при выборе КУ в системе электроснабжения электроснабжения питающей ПС энергосистемы.

Технические данные комплектных конденсаторных установок номинальным напряжением конденсаторов конденсаторов 10,5 кВ для установки на шинах 10 кВ ЦРП приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические данные комплектных конденсаторных установок с номинальным напряжением конденсаторов 10,5 кВ

Тип установки	$U_{ном}$, кВ	$Q_{ном}$, квар	Масса, кг	Габариты КУ, мм	Количество КУ, шт.
УКЛ-10,5 - 700 УЗ	10,5	700	600	2910 × 880 × 1850	2

2.7 Выбор и проверка сечения проводников

В работе проводится выбор сечения кабельных линий от ЦРП к цеховым ТП напряжением 10 кВ.

Выбор сечения кабельной линии проводится в три этапа.

1) Выбор сечений в нормальном режиме работы.

Сечение кабелей напряжением выше 1 кВ выбирается по экономической плотности тока. Сечение кабеля определяется по формуле

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{е}}}, \text{ мм}^2, \quad (23)$$

где $I_{\text{н}}$ - ток нормального режима, А;

$j_{\text{е}}$ - нормированное значение экономически выгодной плотности тока, А / мм², [3], принимается $j_{\text{е}} = 1,6$ А / мм²).

По значению экономического сечения кабеля выбирается стандартное значение сечения ($S_{\text{ст}}$).

Ток нормального режима работы равен номинальному току трансформаторов, установленных на цеховых ТП

$$I_{\text{ном.т.цТП}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \text{ А}, \quad (24)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформаторов, установленных на цеховых ТП, кВА;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное первичное напряжение трансформаторов, установленных на цеховых ТП, кВ ($U_{\text{ном}} = 10$ кВ).

Проводится выбор сечения кабельной линии 10 кВ от ЦРП до ТП №1

$$I_{\text{ном.т.ТП1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А.}$$

Ток нормального режима равен номинальному току силового трансформатора, установленного на цеховой ТП №1

$$I_{\text{НОМ.Т.ТП1}} = I_{\text{н}}, \text{ А.}$$

Сечения кабелей на участке от шин ЦРП к ТП №1

$$S_{\text{ек}} = \frac{57,8}{1,6} = 36,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2.$$

$$I_{\text{доп}} = 115 \text{ А.}$$

Выбирается кабель марки ААШв-10 (3×35), прокладка – в земле.

2) Проверка сечения проводников по максимальному режиму.

Сечение кабеля проверяется на нагрев током максимального режима по формуле

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} I_{\text{н}} \text{ А,} \quad (25)$$

где $K_{\text{пер}}$ - коэффициент перегрузки кабелей. Принимается равным 1;

$I'_{\text{доп}}$ - допустимый ток, А, значение которого определяется по формуле

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{ср}} K_{\text{пр}} I_{\text{доп}} \text{ А,} \quad (26)$$

где $K_{\text{ср}}$ - поправочный коэффициент на температуру окружающей среды, если она отличается от стандартной (таблица 1.3.3 ПУЭ)

$K_{\text{пр}}$ - поправочный коэффициент на количество кабелей, лежащих рядом в земле. Принимается $K_{\text{пр}} = 0,9$;

$I_{\text{доп}}$ - допустимый длительный ток проводника стандартного сечения, А.

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды можно вычислить по формуле

$$K_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{ср}}}{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{ср.н}}}}, \quad (27)$$

где $T_{\text{ж.н}}$ и $T_{\text{ср.н}}$ - соответственно нормированная длительно-допустимая температура жилы и нормированная температура среды, °С;

$T_{\text{ср}}$ - фактическая температура среды, °С.

Для кабелей марки ААШв напряжением 10 кВ продолжительная допустимая температура

$$T_{ж.н} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для кабелей, проложенных в земле, нормированная температура среды

$$T_{ср.н} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды составляет

$$K_{ср} = 1.$$

Выбранные кабели от шин ЦРП к ТП №1 проверяются по максимальному режиму:

$$1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 115 = 103,5 > 1 \cdot 57,8 = 57,8 \text{ А}.$$

Условия выполняются, сечения кабелей могут работать в максимальном режиме нагрузки без перегрева изоляции.

Выбор остальных кабельных линий от ЦРП к цеховым ТП, а также вводного кабеля к ЦРП от энергосистемы, проводится аналогично и результаты приводятся в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор кабельных линий от ЦРП к цеховым ТП и вводного кабеля к ЦРП

№ ТП	Марка трансформатора	I_n , А	$S_{ек}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
1	ТМЗ-1000/10	57,8	36,1	ААШв-10 (3×35)	115
2	ТМЗ-1000/10	57,8	36,1	ААШв-10 (3×35)	115
3	ТМЗ-630/10	36,4	22,8	ААШв-10 (3×25)	90
4	ТМЗ-630/10	36,4	22,8	ААШв-10 (3×25)	90
5	ТМЗ-630/10	36,4	22,8	ААШв-10 (3×25)	90
6	ТМЗ-1000/10	57,8	36,1	ААШв-10 (3×35)	115
7	ТМЗ-250/10	14,5	9,1	ААШв-10 (3×16)	75

ЦРП	-	213,1	133,2	ААШв-10 (3×120)	240
-----	---	-------	-------	-----------------	-----

Кабельная сеть 10 кВ выполняется в траншее кабелем марки ААШв. Кабели прокладываются в земляной траншее на глубине 0,7 м от планировочной отметки земли.

Перед прокладкой кабелей в траншее выполнить предварительное подсыпки слоем из просеянного песка толщиной 0,1 м. Кабели должны прокладываться в траншее волнообразно («змейкой»), создавая тем самым некоторый запас кабелей по длине, необходимый для компенсации продольных напряжений, которые могут возникнуть в результате оседания почвы или температурных изменений, а также в случае пробоя кабеля.

Запас, образованный волнообразной прокладкой кабелей в траншее, должен составлять 1-3% общей длины кабелей, прокладываемых в данной траншее.

При параллельной прокладке кабельных линий расстояние по горизонтали между кабелями, взаимно резервируемыми, должна быть не менее 1 м.

При прокладке кабельных линий в зоне насаждений расстояние от кабелей до стволов деревьев должно быть не менее 2 м.

При параллельной прокладке расстояние по горизонтали от кабельных линий до трубопроводов канализации должна быть не менее 1 м.

При пересечении кабельными линиями трубопроводов, расстояние между кабелем и трубопроводом должно быть не менее 0,5 м.

При пересечении кабельными линиями въездов для автотранспорта, пешеходных дорожек, переходов, прокладку кабеля нужно выполнить в асбестоцементных и стальных коррозионно устойчивых трубах на глубине 1 м от полотна дороги.

В местах входа кабелей в асбестоцементные и стальные коррозионно устойчивые трубы и выхода из них, на кабель надо намотать 3-4 слоя джутовой пряжи для предотвращения повреждения острыми краями труб.

После укладки кабелей на выполненную «подушку» нужно выполнить засыпания кабелей слоем мягкой просеянной землей, не содержащей камней и строительного мусора, или слоем песка толщиной 0,1 м, поверх которого уложить в один слой (поперек трассы кабелей) глиняные кирпичи для защиты кабелей от механических повреждений. Кирпичи должны выступать за крайние кабели не менее, чем на 50 мм.

Окончательное засыпания траншеи необходимо выполнить вынутой из траншеи землей. Причем засыпания нужно делать слоями толщиной 0,2-0,25 м, смачивая каждый слой почвы водой и уплотняя методом трамбовки.

2.8 Расчет токов короткого замыкания

Проводится расчет токов короткого замыкания к ТП №1, на которой установлены два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/10.

Определяется базисная мощность, равная номинальной мощности силового трансформатора, установленного на цеховой ТП №1

$$S_{\text{б}} = S_{\text{ном.т}} = 630 \text{ кВА.}$$

Определяются базисные напряжения

$$U_{\text{б1}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.ВН}}, \text{ кВ}; \quad (28)$$

$$U_{\text{б1}} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{б2}} = 0,4 \text{ кВ.}$$

Базисный ток определяется по формуле

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б1}}}, \text{ А}; \quad (29)$$

$$I_{\text{б}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,7 \text{ А.}$$

Определение параметров схемы замещения.

1) Определяется сопротивление системы

$$x_{*c} = \frac{I_6}{I_{п.о}^{(3)}}, \text{ у.е.}; \quad (30)$$

$$x_{*c} = \frac{34,7}{6000} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ у.е.}$$

2) Определяется сопротивление кабельной линии

$$x_{*кб1} = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ у.е.}; \quad (31)$$

$$r_{*кб1} = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ у.е.}, \quad (32)$$

где $x_{0кб1}$ и $r_{0кб1}$ - соответственно реактивное и активное удельные сопротивления кабеля, Ом / км ($x_0 = 0,083$ Ом / км, $r_0 = 0,625$ Ом / км).

$$x_{*кб1} = 0,083 \cdot 0,05 \frac{0,63}{10,5^2} = 0,24 \cdot 10^{-4} \text{ у.е.};$$

$$r_{*кб1} = 0,625 \cdot 0,05 \frac{0,63}{10,5^2} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ у.е.}$$

3) Определяется сопротивление трансформатора

$$r_{*T} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.т}}, \text{ у.е.}; \quad (33)$$

$$x_{*T} = \sqrt{u_{*к}^2 - r_{*T}^2} \text{ у.е.}, \quad (34)$$

где $\Delta P_{кз}$ - потери КЗ трансформатора, кВт;

$u_{*к}$ - напряжение КЗ трансформатора, %.

$$r_{*T} = \frac{7,6}{630} = 0,0121 \text{ у.е.};$$

$$x_{*T} = \sqrt{0,055^2 - 0,0121^2} = 0,0537 \text{ у.е.}$$

4) Определяется суммарное сопротивление в относительных единицах к точке К1

$$x_{\Sigma K1}^* = x_C^* + x_{K61}^*, \text{ у.е.}; \quad (35)$$

$$x_{\Sigma K1}^* = 0,0058 + 0,000024 = 0,00582 \text{ у.е.}$$

$$z_{\Sigma K1}^* = \sqrt{x_{\Sigma K1}^{*2} + r_{\Sigma K1}^{*2}}, \text{ у.е.}; \quad (36)$$

$$z_{\Sigma K1}^* = \sqrt{0,00582^2 + 0,00018^2} = 0,00582 \text{ у.е.}$$

5) Определяется суммарное сопротивление к точке К2

$$x_{\Sigma K2}^* = x_{\Sigma K1}^* + x_T^*, \text{ у.е.}; \quad (37)$$

Расчётная схема и построенная по ней схема замещения сети приведены на рисунке 2.

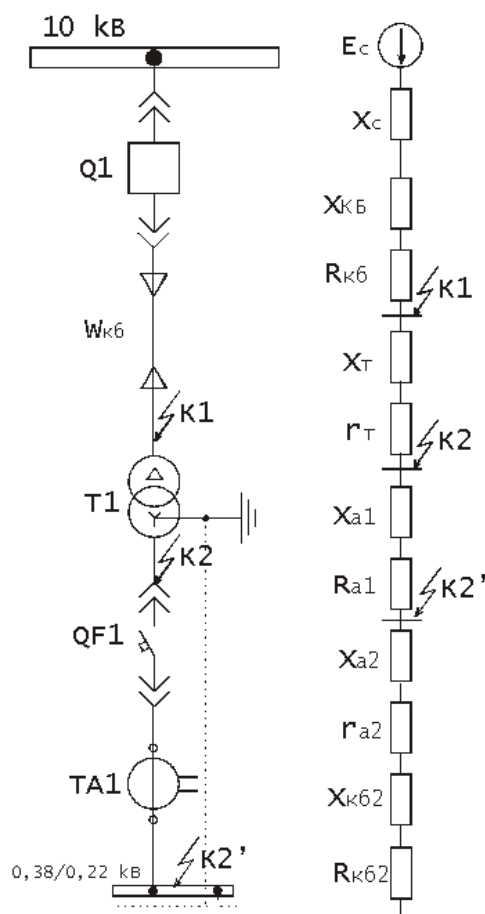


Рисунок 2 – Схема для расчета токов КЗ: а - расчетная схема;

б - схема замещения

$$x_{\Sigma K2}^* = 0,00582 + 0,0537 = 0,0595 \text{ у.е.}$$

$$r_{\Sigma K2}^* = r_{к61}^* + r_T^* \text{ , у.е.;} \quad (38)$$

$$r_{\Sigma K2}^* = 0,00018 + 0,0121 = 0,0123 \text{ у.е.}$$

б) Определяется суммарное сопротивление в именованных единицах к точке K2

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K2}^* \frac{U_{62}^2}{S_6} \text{ , Ом;} \quad (39)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,0595 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0152 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{*\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом}; \quad (40)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0123 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0031 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad (41)$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,0031^2 + 0,0152^2} = 0,0155 \text{ Ом.}$$

7) С ([1], таблица 6.3) принимаются следующие значения сопротивлений автоматов

$$r_{a1} = 0,00014 \text{ Ом};$$

$$x_{a1} = 0,00008 \text{ Ом};$$

$$r_{a2} = 0,007 \text{ Ом};$$

$$x_{a2} = 0,0045 \text{ Ом.}$$

8) Определяется суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2 "

$$r_{\Sigma K2'} = r_{\Sigma K2} + r_{a1}, \text{ Ом}; \quad (42)$$

$$r_{\Sigma K2'} = 0,0031 + 0,00014 = 0,00324 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{r_{\Sigma K2'}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad (43)$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{0,00364^2 + 0,0152^2} = 0,01563 \text{ Ом.}$$

Определяется ток трехфазного КЗ в точке К1

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{I_6}{z_{*\Sigma K1}}, \text{ А}; \quad (44)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{34,7}{0,0087} = 3988 \text{ А.}$$

Определение тока трехфазного КЗ в точках К2, К2 "

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K.i}}, \text{ кА}; \quad (45)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0156} = 14,8 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01563} = 14,79 \text{ кА};$$

Ударный ток определяется по формуле

$$i_{y.K.i} = \sqrt{2} \cdot K_y I_{K.i}^{(3)}, \text{ кА}; \quad (46)$$

где K_y - ударный коэффициент.

$$i_{y.\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,988 = 10,2 \text{ кА};$$

$$i_{y.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,8 = 29,3 \text{ кА};$$

$$i_{y.\kappa 2''} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,79 = 29,2 \text{ кА};$$

$$i_{y.\kappa 3} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 0,364 = 0,719 \text{ кА}.$$

2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов

Осуществляется выбор электрических аппаратов в электрической сети напряжением до 1 кВ.

Как было указано ранее, в РУ 0,4 кВ всех цеховых ТП-10/0,4 кВ устанавливаются воздушные автоматические выключатели (автоматы).

В работе проводится выбор автоматов ввода цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Условия выбора автоматических выключателей [4 – 6]:

- по значению номинального напряжения

$$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}, \text{ В}, \quad (47)$$

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

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

- по значению номинального тока

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}, \text{ А}, \quad (48)$$

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

- по значению тока расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}, \text{ А}. \quad (49)$$

- по значению тока автомата и его расцепителя

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}, \text{ А}. \quad (50)$$

- по значению тока теплового расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р}}, \text{ А}, \quad (51)$$

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

- отстройка от пусковых токов

$$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.е.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}, \text{ А}, \quad (52)$$

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

- отключающая способность автомата

$$I_{\text{ном.вык.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I''_{\text{к}}, \text{ А}, \quad (53)$$

где $I''_{\text{к}}$ – значение максимального тока трёхфазного короткого замыкания, А

Осуществляется выбор автомата ввода для установки в шкафу ввода цеховой ТП №1 (таблица 10).

В шкафу ввода на ТП №1 устанавливаются автоматы типа ВА 55-43.

Выбор и проверка параметров автомата осуществляется по вышеприведенным условиям.

Данные расчетов и каталога приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчетные и каталожные данные автоматического выключателя

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные автомата ВА 55-43
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 380 \text{ В}$	$U_{\text{ном.а}} = 380 \text{ В}$
По номинальному току автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.а}} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} = 1,4 \cdot 958,3 = 1342$	$I_{\text{ном.а}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току расцепителя $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.р}} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} = 1,4 \cdot 958,3 = 1342$	$I_{\text{ном.р}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току автомата и его расцепителя $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 1600 \text{ А}$
По номинальному току теплового расцепителя $I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\phi}$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 1,1 \cdot 1342 = 1475,8 \text{ А}$	$I_{\text{у.т.р}} = 1600 \text{ А}$
По условию отстройки от пиковых токов $I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.э.р}} \geq (6-10) I_{\text{ном.т}}$	$6 \cdot I_{\text{ном.т}} = 6 \cdot 958,3 = 5749,8 \text{ А}$	$I_{\text{с.в}} = I_{\text{у.э.р}} = 4 \cdot I_{\text{ном.р}} = 4 \cdot 1600 = 6400$
По номинальному току выключения автомата $I_{\text{ном.вык.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I''_{\text{к}}$	$I_{\text{к2}} = 14,8 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.вык.а}} = 45 \text{ кА}$

Аналогично выбираются автоматы ввода к другим цеховым ТП-10/0,4 кВ и результаты приведены в таблице 12.

Для удобства на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ выбирается одинаковая марка автомата - ВА 55-43, но с различными уставками расцепителей, что необходимо для выполнения монтажа и надёжности сети, которая защищается данными автоматами.

Таблица 12 – Выбор вводных автоматических выключателей к цеховым ТП

Номер ТП	Марка трансформатора	Тип автомата	$U_{ном,}$ В	$I_{ном.а,}$ А	$I_{ном.р,}$ А	$I_{у.т.р,}$ А	$I_{у.э.р,}$ А	$I_{в.а,}$ кА
1	ТМЗ-1000/10	ВА 55-43	660	1600	1600	1600	6400	45
2	ТМЗ-1000/10	ВА 55-43	660	1600	1600	1600	6400	45
3	ТМЗ-630/10	ВА 55-43	660	1600	1000	1000	4000	45
4	ТМЗ-630/10	ВА 55-43	660	1600	1000	1000	4000	45
5	ТМЗ-630/10	ВА 55-43	660	1600	1000	1000	4000	45
6	ТМЗ-1000/10	ВА 55-43	660	1600	1600	1600	6400	45
7	ТМЗ-250/10	ВА 55-43	660	1600	400	400	1600	45

Далее проводится выбор электрических аппаратов напряжением 10 кВ.

Условия выбора данных электрических аппаратов приводятся далее согласно [4 – 6].

Известно, что электрические аппараты напряжением выше 1 кВ выбираются и проверяются по следующим условиям:

- значению номинального напряжения

$$U_{ном.ЭА} \geq U_{ном.с}, \text{ кВ}, \quad (54)$$

где $U_{ном.ЭА}$ - значение номинального напряжения электрического аппарата, кВ;

$U_{ном.с}$ - значение номинального напряжения электрической сети, в которой устанавливается электрический аппарат;

- значению номинального тока

$$I_{ном.ЭА} \geq I_{ф}, \text{ А} \quad (55)$$

где $I_{ном.ЭА}$ - значение номинального тока электрического аппарата, А;

$I_{ф}$ - значение тока форсированного режима электрической сети, в которой устанавливается электрический аппарат;

- соответствие окружающей среде, рода установки (внешняя, внутренняя), характеристикам и параметрам защиты, конструктивному выполнению (стационарная, выдвижная);

- проверка по электродинамической стойкости для электрических аппаратов 10 кВ

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

где i_y - расчетный ударный ток;

- допустимого значения тока термической стойкости электрических аппаратов 6 кВ

$$I_{\text{TТ}}^2 t_{\text{T}} \geq I_{\text{кТ}}^2 t, \text{А}^2 \cdot \text{с}. \quad (57)$$

Осуществляется непосредственный выбор высоковольтного выключателя, который установлен для защиты и коммутации цеховой ТП №1. Выключатели устанавливаются в камерах на ЦРП.

Расчетные данные и каталожные данные [4] сравниваются и результаты выбора приводятся в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор и проверка высоковольтного выключателя

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя ВВ / TEL-10-12,5 / 630-У2-41
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.в}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{ном.в}} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 231,2 \text{ А}$	$I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ А}$

Продолжение таблицы 13

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя ВВ / TEL-10-12,5 / 630-У2-41
Род установки, ответственность окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	У2
По способности выключения $I_{\text{ном.вими́к}} \geq I''_{\text{к1(0)}}$	$I''_{\text{к1(0)}} = 8,405 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.вими́к}} = 12,5 \text{ кА}$
По динамической устойчивости $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у.к1}}$	$i_{\text{у.к1}} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$
По термической устойчивости $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$

Такие же выключатели с теми же параметрами устанавливаются в камерах на ЦРП для защиты цеховых ТП на стороне 10 кВ. Все они удовлетворяют условиям выбора и проверок, т.к. рабочий ток линий, которые они защищают, не превышает значения 630 А, на который рассчитан данный тип выключателя, а остальные значения и параметры сети остаются практически без изменений.

Далее проводится выбор и соответствующие проверки трансформаторов тока.

Нагрузка вторичных выводов трансформаторов тока

$$Z_{\text{розр}} = 2 \cdot R_{\text{к}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{пер}}, \text{ Ом}, \quad (58)$$

где $R_{\text{к}}$ - значение сопротивления кабелей, подключённых к трансформаторам тока, Ом;

$R_{\text{пр}}$ - значение сопротивления приборов, подключённых к трансформаторам тока, Ом;

$R_{\text{пер}}$ - значение переходного сопротивление контактов в цепях трансформаторов тока, Ом.

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

$$R_k = \frac{l}{\nu S}, \text{ Ом}, \quad (59)$$

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 14.

Таблица 14 – Результаты выбора и проверки трансформатора тока

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные ТТ марки ТПЛК-10
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.ТТ}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.ТТ}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{ном.ТТ}} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 231,2 \text{ А}$	$I_{\text{ном.ТТ}} = 250 \text{ А}$
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 $I_{\text{т.т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 211,9 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{\text{т.т}}^2 t_{\text{т}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \text{ с}$
По допустимой нагрузке на вторичную обмотку $Z_{2\text{ном}} \geq Z_{2\text{розр}}$	$Z_{2\text{розр}} = 0,19 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$

В ячейках ввода РУ 10 кВ на цеховых ТП-10/0,4 кВ устанавливаются выключатель нагрузки и предохранитель.

Проводится выбор и проверки выключателя нагрузки QW1-QW2 (таблица 15).

Таблица 15 – Результаты выбора и проверок выключателей нагрузки

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/ 400-10-УЗ
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.ВН}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.ВН}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току $I_{\text{ном.ВН}} \geq I_{\phi}$	$I_{\phi} = 231,2 \text{ А}$	$I_{\text{ном.ВН}} = 250 \text{ А}$
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 $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$

Далее производится выбор и проверки высоковольтных предохранителей согласно методике, изложенной в [5,7]:

- по условию номинального напряжения – условие (54);
- по условию номинального тока плавкой вставки

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\phi} \text{ А,} \quad (60)$$

где $I_{\text{ном.вст}}$ - значение номинального тока плавкой вставки, А;

- соответствие роду установки, климатическим условиям и окружающей среде;

- несрабатывания при токах, возникающих при включении силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1 \div 2) I_{\text{НОМ.Т}}, \text{ А}; \quad (61)$$

- по значению номинального тока патрона предохранителя (корпуса)

$$I_{\text{НОМ.П}} \geq I_{\text{НОМ.ВСТ}}, \text{ А}; \quad (62)$$

- по отключающей способности предохранителя

$$I_{\text{НОМ.ВЫК}} \geq I_{\text{к}}, \text{ кА}. \quad (63)$$

Результаты выбора и проверки предохранителей 10 кВ для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ [7] приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты выбора и проверки высоковольтных предохранителей

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные предохранителя ПК-10-100-31,5/У3
По номинальному напряжению $U_{\text{НОМ.П}} \geq U_{\text{НОМ.С}}$	$U_{\text{НОМ.С}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ.П}} = 10 \text{ кВ}$
По номинальному току плавкой вставки $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ф}} = 56 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$
Род установки, соответствие окружающей среде	Устанавливается в помещении с нормальной средой	У3
Несрабатывания при переходных процессах $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1 \div 2) I_{\text{НОМ.Т}}$	$1,5 \cdot 38,5 = 57,7 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$
По номинальному току $I_{\text{НОМ.П}} \geq I_{\text{НОМ.ВСТ}}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 100 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.П}} = 100 \text{ А}$
По отключающей способности $I_{\text{НОМ.ВИМ}} \geq I_{\text{к}}$	$I_{\text{к}} = 7,662 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.ВИМ}} = 31,5 \text{ кА}$

2.10 Эксплуатация электрооборудования группы цехов автозавода

При наблюдении за трассой кабельных линий следить за тем, чтобы на трассе поддерживалась чистота.

Вблизи трассы не должны находиться ненужные предметы, поскольку они могут мешать при ликвидации аварий и ремонта линий.

Поверхностный слой почвы на трассе не должен иметь провалов и других отклонений, которые могут вызвать повреждения защитных оболочек кабелей.

Земляные работы здесь можно проводить только с разрешения главного энергетика предприятия.

Особую опасность для проложенных кабелей в земле составляют земляные работы, выполняются механизированным способом.

Во всех случаях запрещено выполнять работы механизмами на расстоянии 1 м от кабеля.

На этом участке работы выполняются вручную и только лопатами.

Наблюдение за кабельными трассами осуществляется путем периодических осмотров этих трасс.

Во время паводков, ливней и в других случаях, когда почва размягчается и возникает опасность повреждения кабелей, проложенных в земле, осуществляют внеочередные осмотры кабельных трасс.

Для учета исправности, выявленных во время осмотров, осуществляет обзор кабельной трассы.

Кабельные трассы внимательно осматривают на всей их протяженности и особенно в местах пересечения трасс каналов, кюветов и переходов кабелей с земли на стены и опоры [17, 18].

Во время осмотров кабелей необходимо обращать внимание на соблюдение на них чистоты.

Осматривают кабельные трассы преимущественно два человека.

Контроль за нагрузкой кабелей происходит в сроки, определенные главным энергетиком, но не менее двух раз в год.

Поскольку определить непосредственно температуру жилы невозможно, то измеряют температуру металлической оболочки кабеля.

После этого делают перерасчет с учетом перепада температуры между жилой и оболочкой кабеля.

Если токопроводящие жилы нагреваются выше допустимых пределов, принимаются меры для устранения этого нагрева.

Снижают температуру жил кабелей следующими способами:

- уменьшают нагрузку на кабели;
- улучшают вентиляцию;
- увеличивают расстояние между кабелями;
- используют кабели большего сечения.

При текущем ремонте трансформаторов проводится осмотр трансформатора и всей арматуры:

- слив грязи из расширителя;
- смена масла (если необходимо);
- проверка масло-указательных устройств, спускового крана и уплотнений, рабочего и защитного заземления, сопротивления изоляции обмоток, испытания трансформаторного масла, проверка газовой защиты [17, 18].

При капитальном ремонте трансформаторов проводится:

- открытие трансформатора;
- чистка и замена масла;
- сушка изоляции;
- ремонт выемной части (при необходимости);
- сборка трансформатора;
- проведение установленных измерений и испытаний.

На цеховых ТП-10/0,4 кВ установлены автоматические выключатели серии ВА, которые распространены в электроустановках, благодаря своей надежности. В автоматических выключателях серии ВА повреждаются преимущественно контакты, отключающий механизм и пружины.

При обслуживании указанные детали и узлы зачищаются, смазываются, а при необходимости – регулируются или заменяются.

Ремонт трансформаторов тока заключается в следующем: при наличии заусенцев или оплавлений, их надо зачистить напильником; при частичном или полном выходе из строя стали сердечника, он восстанавливается путем замены листов.

Выводы по разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, в работе осуществлено: проведена разработка системы электроснабжения группы цехов автозавода, включающая выбор схемы электроснабжения группы цехов автозавода, расчет электрических нагрузок группы цехов автозавода, определение центра электрических нагрузок цеховых ТП и ЦРП, выбор трансформаторов цеховых ТП, описание конструктивного выполнения цеховых ТП и ЦРП, выбор компенсирующих устройств, выбор и проверка сечения проводников, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов, описание мероприятий по эксплуатации электрооборудования группы цехов автозавода.

3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности

Согласно требованиям [19-20], перед началом работ в электроустановках необходимо провести организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

К организационным мероприятиям при выполнении работ в электроустановках относятся [19-20]:

- 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 при выполнении работ в электроустановках относятся [19-20]:

- производство необходимых коммутационных переключений;
- принять меры, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных аппаратов путём применения их блокировок, а также расшивке 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 [19-20].

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.

С точки зрения экологической безопасности, основными источниками, загрязняющими окружающую среду, являются силовые трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ.

При этом основным источником загрязнения является отработанное трансформаторное масло, которое должно утилизироваться в специальные ёмкости.

Для данной цели на цеховых ТП-10/0,4 кВ имеется маслоприёмник, представляющий собой герметичную бетонную площадку с углублениями. Маслоприёмник предохраняет почву от попадания в неё трансформаторного масла.

Категорически запрещается выливать отработанное трансформаторное масло в грунт. Для этой цели используются специальные герметичные ёмкости.

Также опасность для окружающей среды представляет сорбент (силикагель), используемый в силовых трансформаторах в качестве осушителя. Он также должен быть утилизирован согласно установленных требований.

3.2. Расчёт контура заземления цеховой ТП

Устройство контура заземления цеховых ТП-10/0,4 кВ выполняется в соответствии со СНиП 3.05.06-96.

В соответствии с п. 1.7.109 [1] для заземления электроустановок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Однако они отсутствуют, поэтому сооружение контура заземления цеховых ТП-10/0,4 кВ является обязательным.

Заземлению подлежат нейтраль и корпус трансформатора, а также все другие металлические части, могущие оказаться под напряжением при повреждении изоляции.

Все соединения заземляющего контура выполнить электросваркой внахлест.

Сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом, при этом учитывается, что удельное сопротивление грунта составляет не более 100 Ом·м.

Производится расчёт контура заземления цеховой ТП–10/0,4 кВ, согласно методике [13].

Принимаются в качестве вертикальных заземлителей (электродов) стальные стержни диаметром 16 мм и длиной 2 м.

Верхние концы электродов погружаются на 0,5 м.

Расстояние между вертикальными электродами принимается 4 м.

Тип почвы в месте сооружения контура заземления – суглинок.

Удельные значения сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей [13]:

$$\rho_{p.e} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.e}, \quad (64)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (65)$$

где $\rho_{y\partial}$ – справочное нормируемое значение удельного сопротивления грунта [13];

$K_{n.e}$ и $K_{n.g}$ – справочное нормируемое значение коэффициентов горизонтальных и вертикальных электродов [13].

По условиям (64) и (65)

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_{p.g} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Значение сопротивления растеканию стержневого вертикального электрода [13]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \quad (66)$$

где l - длина электрода, м;

d - внешний диаметр электрода, м;

t – принимаемое расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 23,65 \text{ Ом}.$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) по [14]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт}, \quad (67)$$

где $K_{u.e}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей (электродов) без учета влияния горизонтальных электродов при их размещении по контуру, [13].

$$N = \frac{23,65}{0,66 \cdot 4} = 8,96 \text{ шт}.$$

Принимается предварительно с учётом нормируемой величины заземляющего устройства число вертикальных электродов $N = 9$ шт.

Расчетное значение сопротивления растеканию горизонтальных электродов [13]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.e} \cdot 2\pi \cdot l_e} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_e^2}{b \cdot t}, \text{ Ом}, \quad (68)$$

где $K_{u.e}$ – нормируемое значение коэффициента использования горизонтальных соединительных электродов в контуре из вертикальных электродов [13];

l – суммарная длина горизонтальных электродов, м;

t – расстояние до поверхности земли, м;

b – ширина полосы, м.

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом}.$$

Уточненное сопротивление вертикальных электродов с учётом величины нормируемого значения сопротивления [13]

$$R_{в.э.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом}. \quad (69)$$

$$R_{в.э.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом}.$$

Уточненное количество вертикальных электродов с учётом коэффициента использования вертикальных электродов [13]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{ шт}, \quad (70)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 + 4,72} = 7,6 \text{ шт}.$$

Окончательно принимается в проектируемом контуре заземления на цеховых ТП-10/0,4 кВ, 8 шт. вертикальных электродов, расположение – по периметру трансформаторной подстанции.

Рассчитывается сопротивление вертикальных заземлителей (электродов) проектируемого контура заземления с учётом их выбранного количества:

$$R_{в.е} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{ Ом}. \quad (71)$$

$$R_{в.е} = \frac{23,65}{0,66 \cdot 8} = 4,48 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление всех заземлителей (электродов) контура заземления определяется таким образом:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_T}{R_B + R_T}, Ом. \quad (72)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,48 \cdot 26,17}{4,48 + 26,17} = 3,74 \text{ Ом.}$$

Полученное значение сопротивления проектируемого контура заземления составляет 3,74 Ом, что меньше предельно допустимого нормируемого значения 4 Ом, следовательно, спроектированный контур заземления цеховых ТП-10/0,4 кВ, питающих производственные цеха автозавода, удовлетворяет необходимым требованиям и положениям [1].

Конструктивное выполнение спроектированного заземляющего контура цеховых ТП-10/0,4 кВ, питающих производственные цеха автозавода, представлено на графическом листе 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта системы электроснабжения группы производственных цехов автозавода.

Такая системы электроснабжения состоит из центрального распределительного пункта (ЦРП), от которого на напряжении 10 кВ получают питание цеховые трансформаторные подстанции (ТП-10/0,4 кВ), распределяющие электроэнергию на напряжении 0,38/0,22 кВ потребителям группы производственных цехов автозавода.

Канализация электроэнергии в системе электроснабжения группы производственных цехов автозавода выполнена кабельными линиями электропередачи на всех её звеньях.

Для осуществления поставленных задач в работе было проведены следующие исследования:

- анализ электрооборудования группы цехов автозавода, включающий характеристику технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода, а также непосредственную характеристику группы производственных цехов автозавода;

- непосредственная разработка системы электроснабжения группы цехов автозавода, включающая выбор схемы электроснабжения группы цехов автозавода, расчет электрических нагрузок группы цехов автозавода, определение центра электрических нагрузок цеховых ТП и ЦРП, выбор трансформаторов цеховых ТП, описание конструктивного выполнение цеховых ТП и ЦРП, выбор компенсирующих устройств напряжением 0,4 кВ и 10 кВ, выбор и проверка сечения проводников, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов 0,4 кВ и 10 кВ, описание мероприятий по эксплуатации электрооборудования группы производственных цехов автозавода.

- разработка комплекса мероприятий по технике безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения производственных цехов автозавода, а также рассмотрены мероприятия по экологической безопасности. Рассчитано заземление трансформаторной подстанции.

Разработанная система электроснабжения группы производственных цехов автозавода отвечает требованиям нормативных документов по качеству и надёжности электроснабжения потребителей, а также критериям электробезопасности и экономичности.

Результаты работы можно использовать для проведения аналогичных разработок и выполнения типичных заданий на промышленных предприятиях страны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // РД РАО «ЕЭС России». – М.: Министерство энергетики, 2013.
3. 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»
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
5. Производственный процесс. Автомобилестроение. Режим доступа: https://www.cfin.ru/management/manufact/product_process.shtml. Дата обращения 30.03.2020 г.
6. П-1. КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6761261/>. Дата обращения 30.03.2020 г.
7. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС.,2018. 312 с.
8. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
9. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
10. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
11. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

12. Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.
13. Шеховцов, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.
14. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).
15. Баранов, Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. – 343с.
16. Газалов, В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. – 268 с.
17. Сибикин, Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 464 с.
18. Экономика энергетики - Рогалев Н.Д. - Учебное пособие. Режим доступа: <https://institutiones.com/download/books/1558-ekonomika-energetiki-rogalev.html>. Дата обращения 17.02.2020 г.
19. Курдюмов, В.И., Зотов, Б.И. Энергетика и экономика – / В. И. Курдюмов, Б. И. Зотов – М.: Колос, 2015. – 247 с.
20. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. - 174 с.: ил.