

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 2021

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 технического исполнения цеховых ТП и ЦРП, расчет компенсирующих устройств, расчет и проверка сечения проводников, расчет токов короткого замыкания, расчет и проверка коммутационных аппаратов, описание основных правил по эксплуатации электрооборудования группы цехов автозавода.

Рассмотрен комплекс мероприятий по технике безопасности и охране труда при выполнении работ, экологическая безопасность, расчет заземления ТП.

Работа состоит из 66 страниц, 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
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	14
2.3 Построение картограммы нагрузок и определение центра электрических нагрузок ЦРП	20
2.4 Выбор трансформаторов цеховых ТП	23
2.5 Конструктивное выполнение цеховых ТП и ЦРП	25
2.6 Выбор компенсирующих устройств	27
2.7 Выбор и проверка сечения проводников	31
2.8 Расчет токов короткого замыкания	35
2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов	41
2.10 Эксплуатация электрооборудования группы цехов автозавода	50
3. Мероприятия по технике безопасности и охране труда	54
3.1. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности	54
3.2. Расчёт контура заземления цеховой ТП	57
Заключение	62
Список используемых источников	64

Введение

Целью работы является разработка схемы системы электроснабжения объединения производственных цехов автозавода, расчет и подбор необходимого электротехнического оборудования.

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

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 проекта проводятся разработка элементов электроснабжения группы потребителей автозавода, включающая расчет схемы электроснабжения объединения цехов автозавода, определение электрических нагрузок потребителей в цехах автозавода, определение центра электрических

нагрузок цеховых ТП и ЦРП, выбор трансформаторов цеховых ТП, выбор конструктивного выполнения подстанций ТП и ЦРП, расчет мощности компенсирующих устройств, выбор сечения проводников и их проверка на динамическую стойкость, определение токов КЗ, выбор электрических коммутационных аппаратов и их проверка по напряжению, стойкости токам КЗ, на соответствие механическим и прочностным показателям, составление мероприятий по ТО и ремонту электрооборудования группы цехов автозавода;

- третий раздел работы посвящён вопросам охраны окружающей среды и техники безопасности при выполнении работ по монтажу, обслуживанию и ремонту проектируемой системы электроснабжения, выполнен расчет заземляющего контура цеховой подстанции.

Графическая часть проекта представлена следующими чертежами:

- генеральным планом предприятия с указанием размещения на его территории цехов, для которых проектируется система электроснабжения;
- однолинейная электрическая схема разрабатываемой системы электроснабжения;
- план расположения оборудования на цеховой подстанции;
- план расположения оборудования на центральном распределительном пункте;
- узлы монтажа кабельных линий;
- размеры и размещение контура заземления цеховой подстанции.

Поиск ответов на поставленные задачи выполнен с использованием рекомендованной технической литературы и нормативных документов.

1 Анализ электрооборудования группы цехов автозавода

1.1 Характеристика технологического процесса, производственных помещений и коммуникаций автозавода

Автомобильный завод (далее – предприятие) – это производственное предприятие, специализирующиеся на изготовлении автомобилей многообразных типов и конструкций, а также других сопутствующих деталей и материалов [5].

Производство автомобилей на предприятии представляет собой единый комплекс производственных корпусов и участков [5], в которых непосредственно выполняется разнообразные производственные операции (литье, штамповка, металлообработка, сборка, покраска и т.д.), представленные на рисунке 1.

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

Также на территории завода также расположены многочисленные вспомогательные службы, обеспечивающие выполнение работы основными производственными подразделениями – ПТО, энергетика, ремонтные службы, заводоуправление и т.д.

Заводоуправление и другие вспомогательные службы в работе не рассматриваются, т.к. они не относятся к группе производственных цехов и в технологическом процессе производства непосредственно не принимает участия.

Группы производственных цехов автозавода, для которых проектируется система электроснабжения, представляют собой капитальные строения со всей необходимой коммунально-бытовой инфраструктурой.

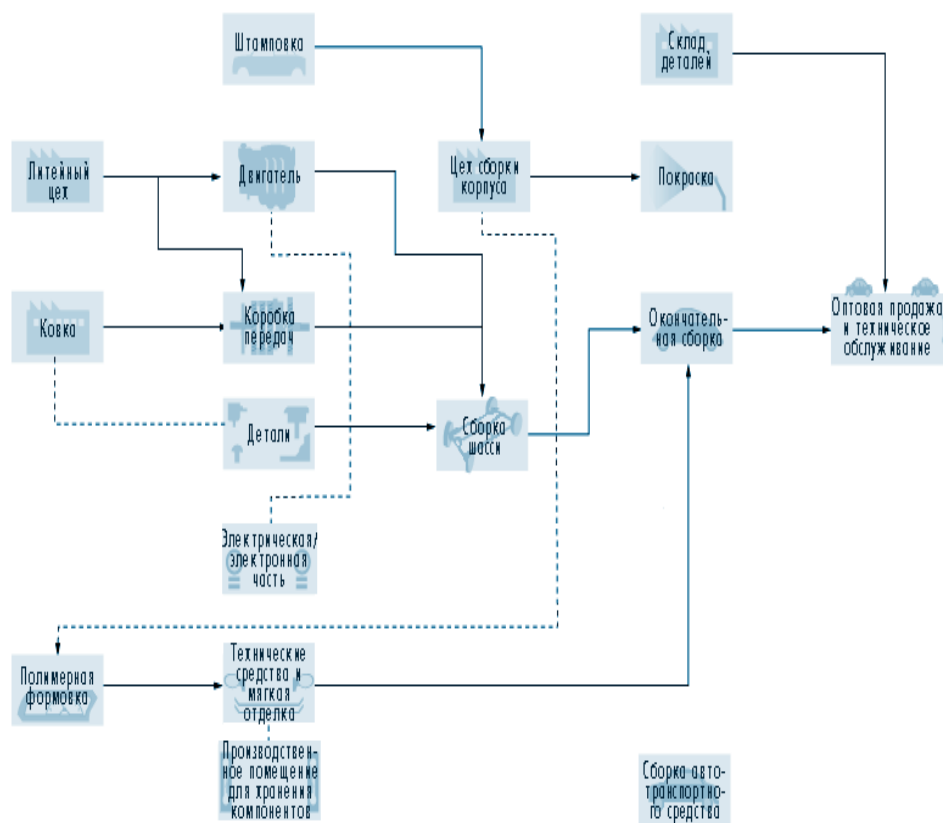


Рисунок 1 – Схема процесса производства автомобилей на предприятии

Заводская инфраструктура:

- заливные полы из цементно-бетонной смеси, обеспечивающие наиболее высокие механические и гигиенические свойства;
- стены и потолок окрашены в нейтральный белый цвет не вызывающий повышенной утомляемости;
- применен шести метровый шаг колонн несущих конструкций;
- комбинированное освещение: искусственное, светильниками общего и местного применения и естественное, через окна и зенитные фонари;
- из строений группы производственных цехов автозавода предусмотрены минимум по два выхода согласно требованиям пожарной безопасности.

«Искусственное освещение выполняется промышленными светодиодными светильниками с креплением к подвесному потолку,

светильники размещаются равномерно по площади цехов. При этом площадь окон должна составлять не менее 30% от площади пола. Также должно быть предусмотрено аварийное освещение, при этом щитки аварийного освещения должны получать питание от второй секции сборных шин трансформаторной подстанции.

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

Вентиляция в рассматриваемых производственных помещениях – естественная через окна, фрамуги и искусственная, приточно-вытяжного типа с электрическими вентиляторами..

«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» [6].

Оборудование для обеспечения необходимых климатических условий в производственных помещениях группы цехов автозавода сосредоточено в специальном служебном помещении (котельной). Здесь же осуществляется подогрев воды для бытового применения. Водоснабжение холодной водой – централизованное от источников, находящихся вне территории автозавода.

1.2 Характеристика группы производственных цехов автозавода

На территории предприятия расположены основные цеха и участки, непосредственно участвующие в преобразовании привозного сырья (в основном это металлопрокат) в конечную продукцию - автомобили:

- «литейный цех – применяется для изготовления различных механизмов и узлов автомобилей с помощью литья. 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» [5].

В механосборочном цеху также есть участок сборки кузовов, который необходим для технологического процесса финишной сборки кузовов и агрегатов из предварительно изготовленных и обработанных деталей и комплектующих, а также подразделения сборки шасси и амортизаторов, необходимого для технологического процесса финишной сборки шасси и амортизаторов из предварительно изготовленных и обработанных деталей.

В механосборочном цеху также есть необходимое оборудование для реализации технологического процесса предварительной механической и термической обработки деталей, а также их «доводки» до нужного состояния с помощью механических и термических операций, выполняемых на

специализированном технологическом оборудовании с последующей сборкой из них агрегатов и сборочных комплектов.

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

Сборка – 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» [24].

«Механосборочный цех укомплектован всем необходимым комплектом инструментов, устройствами и оснасткой (электрическим, пневматическим, гидравлическим и ручным), применяемыми для осуществления различных технологических сборочных, регулировочных и ремонтных операций» [5].

Высокая энерго- и фондовооруженность цехов позволяет за короткое время, но с высоким качеством выполнять все сборочные операции, прописанные в технологическом процессе.

Цех наружной отделки кузова и внутренней отделки салона предназначен для повышения эстетического восприятия кузова и салона- подушек и спинок сидений, приборной доски, декоративных вставок в дверях, в том числе и багажника, внешних и внутренних панелей кузова.

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

«Приёмом – сдаточные испытания произведенной продукции проводятся в испытательной лаборатории, в которой есть различное проверочное и контрольно-измерительное оборудование для проверки узлов и механизмов собранных или еще только собираемых автомобилей» [8].

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 – 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.

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 цеховых подстанций ТП – 10/0,4 кВ, формирующих электроэнергию низкого уровня 0,4 кВ для её подачи низковольтным потребителям и непосредственного питания производственных цехов автозавода.

При этом, согласно ПУЭ, «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. Поэтому 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 ПУЭ, требует двух независимых источников питания с необходимыми условиями резервирования и секционирования» [2].

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 [8].

В схеме ТП-10/0,4 кВ на стороне 0,4 кВ, согласно [8], необходимо применять секционированную систему шин низковольтного распределительного устройства.

При использовании сборных шин, резервирование на ТП-10/0,4 кВ реализовано на стороне 0,4 кВ с помощью секционных воздушных автоматических выключателей, которые в рабочем режиме работы нормально-

разомкнуты и срабатывают (замыкаются) системой автоматического включения резерва (АВР), если на одной из секций ВРУ пропадает напряжение и возникает необходимость подачи напряжения по другому (аварийному) каналу. Тем самым поддерживается непрерывность электроснабжения и исключается вероятность возникновения неисправностей (например, поломки инструмента) по причине пропадания напряжения [28].

Центральное распределительное устройство 10 кВ «конструктивно выполнено комплектным с применением ячеек типа КРУ марки СЭЩ-70 (одностороннего обслуживания с кассетным выключателем). Для защиты отходящих линий в распределительном устройстве 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» [27].

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. Кроме КРУ в цеховых трансформаторных подстанциях эксплуатируются силовые трансформаторы 10/0,4 кВ, устройства релейной защиты и автоматики. Их более подробное описание будет приведено в одном из последующих подпунктов.

Системы электроснабжения отдельно стоящих цехов выполнено по радиальной схеме. Способ прокладки кабеля – воздушный. Марка кабеля – АВВГ (силовой кабель с алюминиевой жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ). Кабель рассчитан на номинальное переменное напряжение 1 кВ. Расчет сечений кабеля будет выполнен в одном из последующих подпунктов.

Генеральный план предприятия с указанием размещения на его территории цехов, для которых проектируется система электроснабжения,

представлен в графической части проекта на листе 1, предлагаемая электрическая схема системы электроснабжения – на 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.

Расчет электрических нагрузок выполним в несколько этапов.

На первом этапе рассчитаем осветительную нагрузку. Используем метод коэффициента спроса [29].

Для этого требуется сначала определить суммарное номинальное значение потребления энергии приборами освещения промышленных цехов автозавода $P_{уст.о.і}$.

На этапе определения общей нагрузки цехов автозавода оно определяется так:

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

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

$p_{p.о.і}$ - удельная нагрузка общего освещения i -го производственного цеха, Вт/м²;

F_i - площадь i -го производственного цеха, подлежащего освещению, м²» [3]. Длина и ширина производственного цеха определяется по графической части проекта (генплану).

Общее удельное значение активной части электроэнергии, потребляемой системой освещения i -го производственного цеха определяется по выражению

$$P_{p.o.i} = k_{п.о} \cdot P_{уст.o.i}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где $k_{п.о}$ - коэффициент спроса цеховых светильников. Принимаем для светильников со светодиодными лампами $k_{п.о} = 0,95$.

Общее удельное значение реактивной части электроэнергии, потребляемой системой освещения i -го производственного цеха определяется по выражению

$$Q_{p.o.i} = P_{p.o.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{o.i}, \text{ квар}, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{o.i}$, - «коэффициент мощности i -го производственного цеха в зависимости от типа источника света. Величины коэффициентов мощности для различных типов ламп приведены здесь» [4]).

Полная расчетная мощность цехового освещения i -го производственного цеха определяется по выражению

$$S_{p.o.i} = \sqrt{P_{p.o.i}^2 + Q_{p.o.i}^2}, \text{ кВА}. \quad (4)$$

По формуле (1) определяется установленное (рабочее) значение нагрузки цехового освещения, по формулам (2), (3) и (4) рассчитываются величины потребления цехом активной, реактивной и полное значение электроэнергии общего освещения производственных цехов.

Так, для цеха отделки

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

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

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

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

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	Величины			
				$P_{уст.о.}$, 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

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

где K_c - коэффициент спроса потребителей производственного цеха (числовые значения K_c производственных цехов указаны в [7]);

$P_{уст.i}$ - 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:

$$\begin{aligned} P_{p.c} &= 0,8 \cdot 1750 = 1400 \text{ кВт}, \\ Q_{p.c} &= 1400 \cdot 1,14 = 1593,6 \text{ квар}, \\ S_{p.c} &= \sqrt{1400^2 + 1593,6^2} = 2121,2 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Остальные расчетные значения по другим цехам сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчетная силовая нагрузка цехов автозавода

№ цеха	Название цеха	P _{уст.i} , кВт	K _с	cosφ _i / tgφ _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 и 3.

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

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

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 4.

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 $K_0=0,85-0,9$)

$$P_p = K_0 \sum_{i=1}^m P_{p.ц.i}, \text{ кВт,} \quad (11)$$

$$Q_p = K_0 \sum_{i=1}^m Q_{p.ц.i}, \text{ квар,} \quad (12)$$

где m - число расчетных групп, шт.

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

№ цеха	Название цеха	Результаты расчетов		
		$P_{р.ц}$, кВт	$Q_{р.ц}$, квар	$S_{р.ц}$, 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

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) также приведены в таблице 4.

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 связи с отсутствием уточненных данных по электрическим потребителям, расположенных на территории рассматриваемых цехов, примем допущение – будем считать, что электрические потребители распределены по территории цеха равномерно [30]. Тогда 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:

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

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

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

Так, например, 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		Г _{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

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

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

где $X_{цi}$, $Y_{цi}$ - 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

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p}{N \cdot \beta_T}, \quad (18)$$

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

P_p - расчетная активная мощность цеха, кВт;

N - число трансформаторов ТП, шт;

β_T - коэффициент загрузки трансформатора цеховой ТП» [9].

Для примера, для установки в ТП-3 цеха отделки, требуется трансформатор мощностью

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

Используя данные расчета, в ТП-3 цеха отделки необходимо установить трансформатор ближайшей большей стандартной мощностью, это 630 кВА. Выбираем тип трансформатора ТМЗ. Получаем, что в ТП-3 необходимо установить два трансформатора ТМЗ-630/10.

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

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.

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

№ ТП	Наименование цеха	$P_{\text{р.ц}}$, кВт	N, шт.	$\beta_{\text{т}}$, и.о.	$S_{\text{ном.т.р}}$, кВА	Марка силового трансформатора
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

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		Напряже-ние 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)» [10].

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 величина реактивной мощности, которую допустимо передавать через ТМЗ10/0,4 в сеть напряжением до 1 кВ в целях обеспечения желаемого коэффициента мощности:

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

где N- число трансформаторов ТП, шт .;

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

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

Если расчетное значение получается отрицательным, то $Q_T=0$.

Мощность КУ с электрической емкостью номинальным напряжением 0,4 кВ рассчитывается по формуле

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

где $Q_{\text{р.т}}$ - реактивная мощность, определяемая при расчете электрических цеховых нагрузок.

Для использования принимается ближайшая большая величина мощности конденсаторной установки (УК) $Q_{н.к.ст}$ [4].

В случае $Q_{н.к} < 0$, компенсация реактивной мощности ТП на стороне низкого напряжения не требуется.

Например, для ТП №3:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.8 \cdot 630)^2 - 453^2} = 900.5 \text{ квар}$$

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

Полученное расчетное значение $Q_{н.к} < 0$, то устанавливать конденсаторы со стороны низкого напряжения не нужно.

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

Мощность высоковольтных компенсирующих устройств определяется по формуле

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

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

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

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

Продолжение таблицы 8

№ 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
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	-	-	-

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	$U_{\text{ном}}$, кВ	$Q_{\text{ном}}$, 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 проекте проводится выбор параметров кабельных линий от ЦРП к ЦТП напряжением 10 кВ.

Выбор параметров кабельной линии выполняется по следующей методике.

Определяется расчетное сечение жил кабеля при протекании через них рабочих токов.

Сечение жил на напряжение выше 1 кВ выбирается по экономической плотности тока. Сечение жил кабеля рассчитывается по формуле

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

где « $I_{\text{н}}$ – величина номинального тока, А;

$j_{\text{е}}$ – справочное значение экономически выгодной плотности тока, А/мм², принимается $j_{\text{е}} = 1,6 \text{ А / мм}^2$ » [8].

По значению экономического сечения кабеля принимается ближайшее большее стандартное значение ($S_{ст}$).

Ток в рабочем режиме работы трансформатора соответствует номинальному току трансформаторов, установленных на подстанциях:

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

где « $S_{ном.т}$ – номинальная мощность трансформаторов, примененных на цеховых ТП, кВА;

$U_{ном}$ – номинальное первичное напряжение трансформаторов, установленных на ТП, кВ ($U_{ном} = 10$ кВ)» [21].

Для примера, проводится выбор сечения кабельной линии 10 кВ от ЦРП до ТП №1:

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

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

$$I_{ном.т.цтп} = I_n, \text{ А}.$$

Сечения кабелей на участке от шин ЦРП к ТП №1:

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

$$S_{ст} = 35 \text{ мм}^2,$$

$$I_{доп} = 115 \text{ А}.$$

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

Проверка сечения проводников на термическую и динамическую стойкость.

«Сечение кабеля проверяется на нагрев током максимального режима по формуле

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

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

$I'_{доп}$ - допустимый ток, А.

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

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

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

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

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды можно вычислить по формуле

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

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

$T_{ср}$ - фактическая температура среды, °С» [12].

Принимаем для кабелей напряжением до 10 кВ следующие значения справочных данных:

- продолжительная допустимая температура $T_{ж.н} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$;
- нормированная температура среды $T_{ср.н} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;
- поправочный температурный коэффициент $K_{ср} = 1$.

Принятый к расчету кабель между ЦРП и ТП №1 контролируется по максимальному режиму:

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

Проверка пройдена, сечения кабелей допускают работу в нагруженном температурном режиме при максимальной нагрузке без перегрева изоляции.

Расчет, подбор и проверка остальных кабельных линий от центрального распределительного пункта к цеховым трансформаторным подстанциям, а также вводного кабеля от районной энергосистемы до центрального распределительного пункта предприятия, 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	$S_{ек,2}$, 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» [13].

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 засыпание траншеи необходимо выполнить вынудой из траншеи землей. Причем засыпание нужно делать слоями толщиной 0,2-0,25 м, смачивая каждый слой почвы водой и уплотняя методом трамбовки» [13].

2.8 Расчет токов короткого замыкания

В качестве примера рассчитаем токи короткого замыкания, при возникновении аварийной ситуации в сети цеха, обслуживаемого ТП-1.

На данной подстанции используются два трансформатора ТМЗ-630/10/0,4.

Принимаем к расчету базисную мощность короткого замыкания равной номинальной мощности трансформатора $S_6 = S_{ном.т} = 630$ кВА.

Базисные напряжения:

$$U_{61} = 1,05 \cdot U_{ном.ВН}, \text{ кВ}; \quad (28)$$

$$U_{61} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_{62} = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}}, \text{ А}, \quad (29)$$

$$I_6 = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,7 \text{ А}.$$

Параметры схем замещения.

Сопротивление системы:

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

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

Сопротивление кабельных линий

$$X_{кб.1}^* = x_{окб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{у.е.}, \quad (31)$$

$$r_{кб.1}^* = r_{окб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{у.е.}, \quad (32)$$

$$X_{кб.1}^* = 0,083 \cdot 0,05 \frac{0,63}{10,5^2} = 0,24 \cdot 10^{-4} \text{ у.е.},$$

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

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

Активное и индуктивное сопротивление обмоток трансформатора

$$r_T^* = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.Т}}, \text{у.е.}, \quad (33)$$

$$x_T^* = \sqrt{(u_k^*)^2 - (r_T^*)^2}, \text{у.е.}, \quad (34)$$

$$r_T^* = \frac{7,6}{630} = 0,0121 \text{ у.е.},$$

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

где $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания, кВт;

u_k - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Суммарное сопротивление, приведенное к точке К1:

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

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

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

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

Определяем суммарное сопротивление приведенное к точке К2

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

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

$$r_{\Sigma K2}^* = r_{K61}^* + r_T^*, \text{ у. е.}, \quad (38)$$

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

Составляем схему расчета и схему замещения, на которой отмечаем все рассчитанные сопротивления (смотреть рисунок 2).

Переходим от условных единиц к именованным и приводим общее сопротивление линии к точке К2:

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

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

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

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

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

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

По справочным данным [7] принимаются следующие величины активных и индуктивных сопротивлений автоматов:

$$r_{a1} = 0,00014 \text{ Ом};$$

$$x_{a1} = 0,00008 \text{ Ом};$$

$$r_{a2} = 0,007 \text{ Ом};$$

$$x_{a2} = 0,0045 \text{ Ом}.$$

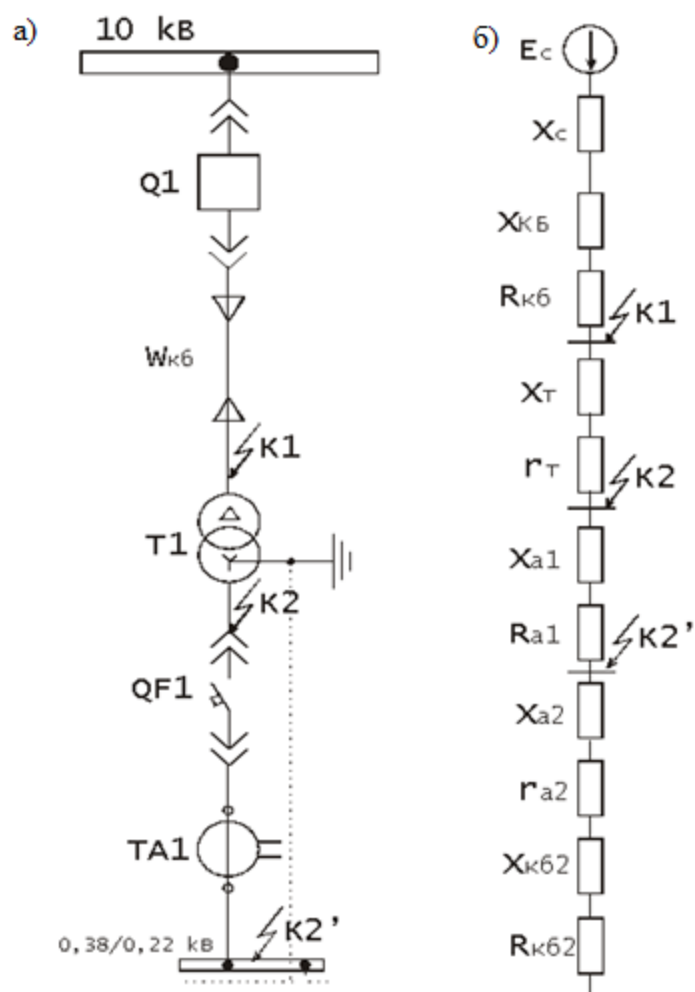


Рисунок 2 – Схема для расчета токов КЗ: а - расчетная схема;

б - схема замещения

Рассчитываем суммарное сопротивление в именованных единицах приведенное к точке К2":

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

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

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

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

Ток трехфазного КЗ в точке К1:

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

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

Ток трехфазного КЗ в точках К2, К2":

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{26}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K.i}}, \text{ кА}, \quad (45)$$

$$I_{K.2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0156} = 14,8 \text{ А},$$

$$I_{K.2''}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01563} = 14,79 \text{ А}.$$

Ударный ток определяется по формуле

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

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

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

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

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

где K_y - ударный коэффициент.

2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов

Необходимо проверить правильность выбора коммутационных аппаратов на стороне низкого напряжения 0,4 кВ.

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

Определим, какие автоматические выключатели необходимо поставить на вводе цеховых ТП-10/0,4 кВ.

«Условия выбора автоматических выключателей:

- 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

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

где I_p – значение расчетного тока, А.

- отстройка от пусковых токов

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

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

- отключающая способность автомата

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

где I_k'' – значение максимального тока трехфазного КЗ, А» [14]

Результаты выбора и проверки вводного автомата в подстанции ТП-1 сведены в таблицу 11.

Применяемый тип аппарата ВА55-43.

Результаты проверки приводятся в первом и во втором столбце таблицы 11.

Проверка выполнена по выше представленным формулам (47)-(53).

Таблица 11 – Расчетные и каталожные данные автоматического выключателя

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

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

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

Продолжение таблицы 12

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
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

Для унификации и единообразия, 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.

Рассмотрим правила подбора и проверки высоковольтных автоматических выключателей напряжением 10 кВ.

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

- значению номинального напряжения

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

где $U_{номЭА}$ - значение номинального напряжения электрического аппарата, кВ;

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

- значению номинального тока

$$I_{номЭА} \geq I_{ф}, \text{ А}, \quad (55)$$

где $I_{номЭА}$ - значение номинального тока электрического аппарата, А;

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

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

- проверка по электродинамической стойкости для электрических аппаратов 10 кВ

$$I_{\text{дин}} \geq I_y, \text{ A}, \quad (56)$$

где I_y - расчетный ударный ток» [15];

- допустимого значения тока термической стойкости электрических аппаратов 6 кВ

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_T^2 \cdot t, \text{ A}^2 \cdot \text{с}. \quad (57)$$

Для примера, выполним подбор и проверку автоматического выключателя на стороне высокого напряжения ТП-1.

Выключатели устанавливаются в камерах на ЦРП.

Результаты проверки и паспортные данные выключателя сведены в таблицу 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 $U_{\text{ном.а.}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а.}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.в.}} = 10 \text{ кВ}$
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 $I_{\text{ном.выкл}} \geq I_{\text{к1(0)}}''$	$I_{\text{к1(0)}}'' = 8,405 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.выкл}} = 12,5 \text{ кА}$
По динамической устойчивости $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{ук.1}}$	$i_{\text{ук.1}} = 19,3 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$
По термической Устойчивости $I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$

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 выполняется выбор и необходимые проверки трансформаторов тока (ТТ).

«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;

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

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

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

где l - суммарная длина кабельной линии;

ν - удельная электропроводность;

S - сечение жил кабельной линии.

Сопротивление приборов определяется по формуле

$$R_{пр} = R_{пр.А} + R_{пр.В}, \text{ Ом} \gg [16];$$

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

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

Результаты расчета и выбора трансформатора тока сравниваются с его паспортными данными (смотреть таблицу 14).

Таблица 14 – Трансформатор тока

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные ТТ марки ТПЛК-10
По номинальному напряжению $U_{ном.ТТ} \geq U_{ном.с}$	$U_{ном.м}=10\text{кВ}$	$U_{ном.ТТ}=10\text{кВ}$
По номинальному току $I_{ном.ТТ} \geq I_{ф}$	$I_{ф}=231,2\text{А}$	$I_{ном.ТТ}=250\text{А}$
По динамической устойчивости $i_{дин} \geq i_{ук.}$	$i_{ук.1}=19,3\text{кА}$	$i_{дин}=32\text{кА}$

Продолжение таблицы 14

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные ТТ марки ТПЛК-10
По термической Устойчивости $I_T^2 t_T \geq B_K$	$B_K=211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$
По допустимой нагрузке на вторичную обмотку $Z_{2\text{ном}} \geq Z_{2\text{розр}}$	$Z_{2\text{розр}}=0,19 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}}=0,4 \text{ Ом}$

Рассмотрим защитную и коммутационную аппаратуру на стороне высокого напряжения. Для обесточивания устройства ввода применим выключатель нагрузки, а для защиты от перегрузки и короткого замыкания – предохранитель. Условия выбора выключателя нагрузки возьмём из [7]. Результат выбора – в таблице 15.

Таблица 15 – Выключатель нагрузки

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/ 400-10-УЗ
По номинальному напряжению $U_{\text{ном.ВН}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.м}}=10\text{кВ}$	$U_{\text{ном.тт}}=10\text{кВ}$
По номинальному току $I_{\text{ном.ВН}} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ф}}=231,2\text{А}$	$I_{\text{ном.тт}}=250\text{А}$
По динамической Устойчивости $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{ук}}$	$i_{\text{ук.1}}=19,3\text{кА}$	$i_{\text{дин}}=32\text{кА}$
По термической устойчивости $I_T^2 t_T \geq B_K$	$B_K=211,9 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2\text{с}$

Выбираем высоковольтный предохранитель ПК-10-100-31,5/УЗ (смотреть таблицу 16) и проверяем его по «следующей методике:

- по условию номинального напряжения ;
- 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 окр.среде;
- несрабатывания при токах, возникающих при включении силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ:

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

- по значению номинального тока патрона предохранителя (корпуса)

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

- по отключающей способности предохранителя

$$I_{\text{НОМ.ВЫК}} \geq I_{\text{К}}, \text{ кА} \gg [17] \quad (63)$$

Таблица 16 – Результаты выбора и проверки высоковольтных предохранителей

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные предохранителя ПК-10-100-31,5/УЗ
По номинальному напряжению	$U_{\text{НОМ.С}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ.П}}=10 \text{ кВ}$

Продолжение таблицы 16

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

2.10 Эксплуатация электрооборудования группы цехов автозавода

Одним из условий правильной эксплуатации кабельных линий это ее содержание в чистоте, поэтому необходимо периодически ее осматривать и очищать от загрязнений. Это касается как мелких загрязнений (мусор, листва и т.д), так и крупных предметов, оставленных в непосредственном контакте с кабельной линией и которые могут препятствовать доступу к кабельной линии при ее обслуживании или в экстренном случае при аварии.

Если кабельная трасса проложена под землей, то нужно следить за тем, чтобы кабель не был поврежден воздействием земли. Это может быть как естественным процессом (проседание почвы, размыв потоком воды и т.п.) так и воздействием деятельности человека, в первую очередь это производство земляных работ с применением экскаваторов и бульдозеров. Безопасной зоной вокруг кабельной трассы в земле считается полоска земли в один метр в каждую сторону. На данном расстоянии механизированные земляные работы запрещены, но разрешено выполнять их вручную, при соблюдении всех необходимых мер безопасности.

«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.

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 жили невозможно, то измеряют температуру металлической оболочки кабеля.

После этого делают перерасчет с учетом перепада температуры между жилой и оболочкой кабеля» [18].

Одной из причин, значительно снижающих срок службы как внутренней, так и внешней изоляции кабеля, является ее перегрев. При выявлении перегрева необходимо срочно принять меры к устранению данной неисправности. Для этого проводится следующий «комплекс мероприятий по снижению температуры жил кабеля:

- уменьшают нагрузку на кабели;
- улучшают вентиляцию;
- увеличивают расстояние между кабелями;
- используют кабели большего сечения» [19].

При текущем обслуживании трансформаторов проводится «контроль трансформатора и его armатуры:

- 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» [20].

При капитальном ремонте трансформаторов проводится «следующий комплекс восстановительных работ:

- открытие трансформатора;
- чистка и замена масла;
- сушка изоляции;
- ремонт выемной части (при необходимости);
- сборка трансформатора;
- проведение установленных измерений и испытаний» [21].

Коммутационная аппаратура, применяемая в цеховых подстанциях, имеет большой срок эксплуатации, минимальное количество обслуживающих воздействий. Типовыми неисправностями автоматических выключателей является износ или повреждение контактов и/или механизма их привода,

изменение настроек расцепителей. Некоторые неисправности возможно устранить смазкой и регулировкой. Контакты допускают их зачистку и шлифовку. Нагар на контактах удаляется ветошью со спиртом или мелкой наждачной бумагой. После зачистки нужно проверить и при необходимости отрегулировать прижимное усилие.

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 [22], прежде чем начать работы в электроустановках необходимо выполнить организационные и технические мероприятия по охране труда и технике безопасности.

«К организационным мероприятиям при выполнении работ в электроустановках относятся:

- 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» [22].

Как видно, организационные мероприятия направлены на то, чтобы работающие узнали все необходимые требования по охране труда и технике безопасности, а значит и выполняли свою работу безопасно как для себя, так и для электротехнического оборудования.

«К техническим мероприятиям при выполнении работ в электроустановках относятся:

- произвести необходимые коммутационные переключения;

- принять меры, для предотвращения самопроизвольного включения коммутационных аппаратов путём применения блокировок, а также расшировке цепи, отсоединения воздушных и кабельных вводов, снятием приводов (ключей) и или отдельных коммутационных аппаратов и т.д.;

- вывесить на ключах управления и приводах коммутационных аппаратов запрещающие плакаты;

- путём использования технических средств (указателей напряжения и т.д.) убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях;

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

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

- вывесить (предписывающие и предупреждающие) плакаты по ТБ» [23].

Необходимо помнить, важным инструментом безопасности является визуальный контроль разъединения электрической цепи, так называемый видимый разрыв, который обеспечивается:

- при напряжении до 1 кВ рубильниками или снятием предохранителей;

- при напряжении выше 1 кВ разъединителями или снятием предохранителей.

Наличие и использование в работе специальных защитных средств обязательно. «Это:

- диэлектрическая обувь и специальная одежда;

- диэлектрические коврики, перчатки;

- поверенный инструмент с диэлектрическими свойствами и т.д.

До выполнения обслуживания электроустановок допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста и прошедшие соответствующие инструктажи и обучение согласно требований.

По результатам обучения, работникам присваивается группа допуска по электробезопасности, соответствующая их уровню квалификации» [22].

«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» [25].

Рассматривая экологическую безопасность, выделим источники, загрязняющими почву и атмосферу. Такими являются масляные трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ.

В них основным загрязнителем является бывшее в употреблении трансформаторное масло. Масло должно утилизироваться в специальные ёмкости, а ни в коем случае выливаться на землю.

Для сбора масла на цеховых ТП-10/0,4 кВ имеется маслоприёмник, представляющий собой герметичную бетонную площадку с углублениями. Маслоприёмник защищает почву от контакта с отработанным трансформаторным маслом.

Также вред окружающей среде наносит сорбент (силикагель), используемый в масляных трансформаторах в целях снижения влажности. Он также должен быть собран и утилизирован согласно установленных рекомендаций.

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 [8] «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 все металлические части, а так же нейтраль и корпус трансформатора, которые могут оказаться под напряжением из-за повреждении изоляции» [8].

Все соединения заземляющего контура выполняются 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 [26].

Рекомендуемые величины: «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» [26].

«Удельные значения сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{p.g} = \rho_{уд} \cdot K_{n.g}, \quad (64)$$

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

где $\rho_{уд}$ – справочное нормируемое значение удельного сопротивления грунта [26];

$K_{n.g}$ и $K_{n.в}$ – справочное нормируемое значение коэффициентов «горизонтальных и вертикальных электродов» [26].

По условиям (64) и (65)

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

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 1500 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Значение сопротивления растеканию стержневого вертикального электрода [13]:

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

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

где l - длина электрода, м;

d - внешний диаметр электрода, м;

t – принимаемое расстояние от поверхности земли до середины электрода, м» [26].

Число вертикальных заземлителей (электродов) по [14]:

$$N = \frac{R_B}{K_{и.в} \cdot R_з}, \text{ шт}, \quad (67)$$
$$N = \frac{23,65}{0,66 \cdot 4} = 8,96 \text{ шт}$$

где « $K_{и.в.}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей (электродов) без учета влияния горизонтальных электродов при их размещении по контуру» [26].

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

«Расчетное значение сопротивления растеканию горизонтальных электродов:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_p}{K_{и.з} \cdot 2\pi \cdot l_z} \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \quad (66)$$
$$R_{\Gamma} = \frac{200}{0.32 \cdot 2\pi \cdot 5} \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0.08 \cdot 0.5} = 26.17 \text{ Ом.}$$

где $K_{и.з.}$ – нормируемое значение коэффициента использования горизонтальных соединительных электродов в контуре из вертикальных электродов [26];

l – суммарная длина горизонтальных электродов, м;

t – расстояние до поверхности земли, м;

b – ширина полосы, м» [26].

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

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

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

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

$$N = \frac{R_B}{K_{и.в} + R_B}, \quad (70)$$

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

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:

$$R_{в.э} = \frac{R_B}{K_{и.в} \cdot N}, \text{ Ом}, \quad (69)$$

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

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

$$R_{в.э} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \quad (69)$$

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

Выводы по разделу 3.

Все соединения заземляющего контура выполняются электросваркой внахлест.

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

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 [8].

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

Заключение

В соответствии с заданием на проектирование в данной работе спроектирована система электроснабжения группы цехов завода по производству автомобильной техники.

Конечные цеховые потребители электроэнергии получают электричество уровня 0,4 кВ от цеховых трансформаторных подстанций, по одной на каждый цех. На ТП происходит снижение уровня напряжения с 10 кВ до низковольтного 0,4 кВ. Высокое напряжение подводится с центрального распределительного пункта.

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

Для осуществления поставленных задач в работе были 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 выполнения 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. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
2. Баранов Л. А. Светотехника и электротехнология. - М.: Колос, 2018. 343с.
3. Безопасность жизнедеятельности в энергетике : учебник для студ. высш. учеб. Заведений - М. : Издательский центр «Академия», 2018. — 400 с. [Электронный ресурс] : URL: https://academia-moscow.ru/ftp_share/_books/fragments/fragment_17032.pdf (дата обращения: 10.09.2021)
4. Газалов В. С. Светотехника и электротехнология: учебное пособие. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
5. Группы допуска по электробезопасности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «U-hold.ru». URL: <https://www.u-hold.ru/stati/gruppy-dopuska-elektrikov-i-osobnosti-ikh-polucheniya/> (дата обращения: 12.09.2021)
6. Капитальный ремонт трансформаторов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Forca.ru». URL: <https://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatacii/podstancii/kapitalnyy-remont-transformatorov.html> (дата обращения: 10.09.2021)
7. Коэффициент мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Хомов Электро». URL: <https://khomovelectro.ru/articles/koeffitsient-moshchnosti-osnovnye-ponyatiya.html> (дата обращения: 04.09.2021)
8. Кудрин Б. И. Электроснабжение - М.: Academia, 2018. 352 с.
9. Курдюмов В. И., Зотов Б. И. Энергетика и экономика. – М.: Колос, 2016. 247 с.
10. Подстанции промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Forca.ru». URL: <https://forca.ru/knigi/arhivy/montazh-podstanciy-promyshlennyh-predpriyatiy-5.html> (дата обращения: 14.09.2021)

11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей: 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
13. Производственный процесс. Автомобилестроение. [Электронный ресурс] : URL: https://www.cfin.ru/management/manufact/product_process.shtml. (дата обращения: 05.09.2021)
14. Расчет освещенности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Световые технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/illumination-calculator/>. (дата обращения: 01.09.2021)
15. Расчет вентиляции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «AboutDC.ru». URL: <https://aboutdc.ru/page/1728.php> (дата обращения: 04.09.2021)
16. Расчет заземления [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Zandz.com». URL: https://zandz.com/ru/raschet_zazemleniya/ (дата обращения: 12.09.2021)
17. Ремонт силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : URL: https://studme.org/240005/tehnika/remont_silovyh_transformatorov (дата обращения: 11.09.2021)
18. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение.- Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
19. Сибикин Ю. Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок.- Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
20. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).
21. Справочник по проектированию электрических сетей : под ред. Д.Л.

Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС., 2018. 312 с.

22. Справочник по проектированию электроснабжения : под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

23. Техническое обслуживание силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ЕНТО.ru». URL: <https://ehto.ru/spravochnik-elektrika/tehnicheskoe-obsluzhivanie-silovyh-transformatorov> (дата обращения: 10.09.2021)

24. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. - М.: Лань, 2015. 480 с.

25. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению.- М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.

26. Kolleen Kessler. Electricity and magnetism. See all formats and editions. Paperback, September 12, 2016.

27. Howard C. Hayden. Energy: a textbook. See all formats and editions. Perfect Paperback, June 2, 2018.

28. Stephen P. Mayfield. Our Energy Future: Introduction to renewable energy and biofuels. Paperback – Illustrated, 18 Mart, 2016.

29. Robert L. Jaffe. The physics of energy. MIT Energy Initiative from the S. D. Bechtel, Jr. Foundation. Publication is planned for March 2018

30. David MacKay's. Understanding energy use and technology. By Bill Gates. January 15, 2010.