

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха филиала АО
«Связьтранснефть» - «Средневолжское ПТУС»

Обучающийся

А. Ю. Кутузов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М. Н. Третьякова

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

Консультант

к.п.н., доцент, А. В. Кириллова

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

Тольятти 2023

Аннотация

Для электроснабжения потребителей электроэнергии ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневолжское ПТУС» необходимо разработать проект системы электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневолжское ПТУС». Поэтому выпускная квалификационная работа (ВКР), направленная на проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневолжское ПТУС», является достаточно актуальной.

На основании выполненных расчетов в рамках ВКР произведен выбор современного электрического оборудования ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневолжское ПТУС», включая силовые трансформаторы и устройства компенсации реактивной мощности. Кроме того, проведен расчет заземления КТП цеха.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, семи разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 72 листах формата А4, содержит 18 таблиц и 8 рисунков.

Annotation

To supply electricity to consumers of the repair shop of the branch of JSC «Svyaztransneft» - «Srednevolzhskoe PTUS», it is necessary to develop a project for the power supply system of the repair shop of the branch of JSC «Svyaztransneft» - «Srednevolzhskoe PTUS». Therefore, the final qualification work (FQW) aimed at designing the power supply system of the repair shop of the branch of JSC Svyaztransneft - Srednevolzhskoe PTUS is quite relevant.

Based on the calculations performed within the framework of the FQW, the selection of modern electrical equipment of the repair shop of the branch of JSC Svyaztransneft - Srednevolzhskoe PTUS, including power transformers and reactive power compensation devices, was made. In addition, the calculation of the grounding of the sustation of the workshop was carried out.

The FQW is an explanatory note consisting of an introduction, seven sections of the main part, a conclusion, a list of used literature and sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format. The explanatory note is made on 72 A4 sheets, contains 18 tables and 8 figures.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ объекта проектирования	7
2 Расчет электрических нагрузок	13
2.1 Расчет освещения для помещений цеха	13
2.2 Расчет электрических нагрузок цеха	25
3 Выбор силовых трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности.....	37
4 Расчет внешнего электроснабжения	45
5 Расчет токов короткого замыкания	51
6 Расчет и выбор электрооборудования.....	55
6.1 Выбор кабелей цеха.....	55
6.2 Выбор автоматических выключателей и проверка выбранных кабелей.....	59
7 Расчет заземления	65
Заключение	68
Список используемой литературы и используемых источников.....	70

Введение

В современном мире энергетические ресурсы играют ключевую роль в обеспечении производственных процессов и комфортных условий жизни людей. Электроснабжение является одной из важнейших инженерных систем на промышленных предприятиях, которая обеспечивает непрерывность работы оборудования и безопасность персонала. Актуальность ВКР заключается в том, что в связи увеличением производства работ филиалом АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС» и увеличением объема ремонтируемого оборудования необходимо разработать проект системы электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС».

Объектом исследования является ремонтный цех филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС».

Предметом исследования является система электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС».

Цель работы заключается в разработке проекта системы электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС». Ремонтный цех является одним из ключевых цехов на производственном предприятии, который занимается обслуживанием и ремонтом оборудования. Правильное проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха обеспечит стабильную работу оборудования, а также повысит эффективность работы цеха в целом.

На основании поставленной цели необходимо выделить следующие задачи ВКР:

- провести анализ ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС»;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать силовые трансформаторы и устройства компенсации реактивной мощности;

- выполнить расчет внешнего электроснабжения;
- выполнить расчет токов КЗ;
- выполнить расчет и выбор электрооборудования ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС»;
- выполнить расчет заземления.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ литературных источников по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий, а также проведен практический расчет и проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха на основе имеющихся данных о филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС».

В результате выполнения данной работы была разработана система электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС», которая отвечает требованиям безопасности и надежности работы оборудования, а также обеспечивает экономичное использование электроэнергии.

Результаты работы могут быть полезны для специалистов, занимающихся проектированием систем электроснабжения на производственных предприятиях, а также для руководителей, принимающих решения о модернизации и улучшении работы производства.

Таким образом, данная выпускная квалификационная работа представляет собой комплексный анализ и разработку системы электроснабжения ремонтного цеха на производственном предприятии, что позволит обеспечить надежную и безопасную работу оборудования и персонала, а также повысить эффективность работы ремонтного цеха в целом.

1 Анализ объекта проектирования

«Акционерное общество «Связьтранснефть» является дочерним обществом ПАО «Транснефть» (до 30.06.2016 - Открытое акционерное общество «Акционерная компания по транспорту нефти «Транснефть») - зарегистрировано 16.09.1994 г. Московской регистрационной палатой. Предприятие - единый сетевой интегратор и оператор связи нефтепроводной отрасли» [9].

«Направления деятельности Общества:

- обеспечение всеми видами технологической и оперативно-производственной связи объектов транспорта и добычи нефти в соответствии с правилами технической эксплуатации магистральных нефтепроводов;
- предоставление услуг в области связи юридическим и физическим лицам в соответствии с действующим законодательством;
- внешнеэкономическая деятельность, в том числе обеспечение технологической и оперативно-производственной связью транспортировку нефти на экспорт;
- развитие и эксплуатация сетей связи: техническое обслуживание, проектирование, строительство и реконструкция, капитальный ремонт, ввод в эксплуатацию;
- эксплуатация и техническое обслуживание систем охранной и пожарной сигнализаций;
- осуществление других видов деятельности в области связи» [9].

«Среди приоритетных задач Общества - цифровизация сети связи для создания единого информационного пространства Компании. Кроме того, предприятие нацелено на формирование мультисервисной корпоративной сети и внедрение на ее базе единой ведомственной сети передачи данных, а также сохранение и повышение технологической и эксплуатационной

надежности, отказоустойчивости и эффективности системы технологического управления транспортировкой нефти» [9].

«В настоящее время специалисты АО «Связьтранснефть» обслуживают свыше 60 тыс. км линий связи. В том числе кабели связи с металлическими проводниками, радиорелейные линии, волоконно-оптические линии связи» [9].

«Подразделения «Связьтранснефть» - это 12 филиалов, предоставляющих широкий спектр телекоммуникационных услуг предприятиям нефтегазового комплекса, другим организациям и частным лицам в более чем 60-ти регионах России (в том числе обеспечивающих технологической и оперативно-производственной связью транспортировку нефти на экспорт), в соответствии с лицензиями, выданными Министерством информационных технологий и связи Российской Федерации» [9].

«Дата создания филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС» 02 июня 1953 года» [9].

«Средневожское ПТУС предоставляет услуги технологической и оперативно-производственной связи, техническое обслуживание и текущий плановый ремонт оборудования Самарского, Бугурусланского, Саратовского, Волгоградского районных нефтяных управлений АО «Транснефть-Приволга», Куйбышевского, Пензенского, Мичуринского районных управлений АО «Транснефть-Дружба», Туймазинского нефтяного управления АО «Транснефть-Урал» [9].

«В настоящее время филиал обеспечивает работу линий связи, проходящих по территориям 11 субъектов Российской Федерации, - Астраханской, Волгоградской, Пензенской, Ростовской, Самарской, Саратовской, Тамбовской, Ульяновской, Оренбургской областям, а также Калмыкии и Татарстану. Общая протяженность линий связи более – 11 000 км» [9].

«За последние годы были реализованы несколько крупных проектов: построены сети связи для магистрального нефтепродуктопровода Волгоград –

Тихорецк, внутрizonовые волоконно-оптические линии связи для нефтепродуктопроводов Куйбышев – Брянск, Уфа – Западное направление, системы подвижной радиосвязи» [9].

«В планах до 2025 планируется замена устаревшего оборудования SDH и организация системы спектрального уплотнения, строительство 10 объектов цифровой системы подвижной радиосвязи, которые обеспечат устойчивое радиопокрытие на протяжении 2000 км нефтепродуктопроводов в девяти субъектах Российской Федерации» [9].

Цех получает питание от ПС 110/10 кВ «Городская-2». Расстояние от ПС 110/10 кВ «Городская-2» до цеховой ТП – 1,0 км. Низкое напряжение на ПС 110/10 кВ «Городская-2» – 10 кВ. Потребители цеха относятся ко 2 и 3 категории по надежности электроснабжения согласно ПУЭ. $T_{нб} = 4500$ ч для всех отделений. Грунт в районе цеха – суглинок при температуре +5 °С. Каркас здания смонтирован из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Характеристика надежности электроснабжения и условия производственной среды представлена в таблице 1 [17]. Пожароопасные и взрывоопасные среды в цехе отсутствуют.

Таблица 1 – Характеристика условий среды и надежности питания

Наименование отделения цеха	Условия производственной среды	Категория надежности питания
Вальцетокарное отделение	Нормальная	III
Слесарный участок	Нормальная	III
Участок плазменной резки	Нормальная	III
Термическое отделение	Пыльная, жаркая	III
Станочное отделение	Нормальная	III

«План рассматриваемого цеха с расположением оборудования представлен на рисунке 1» [6].

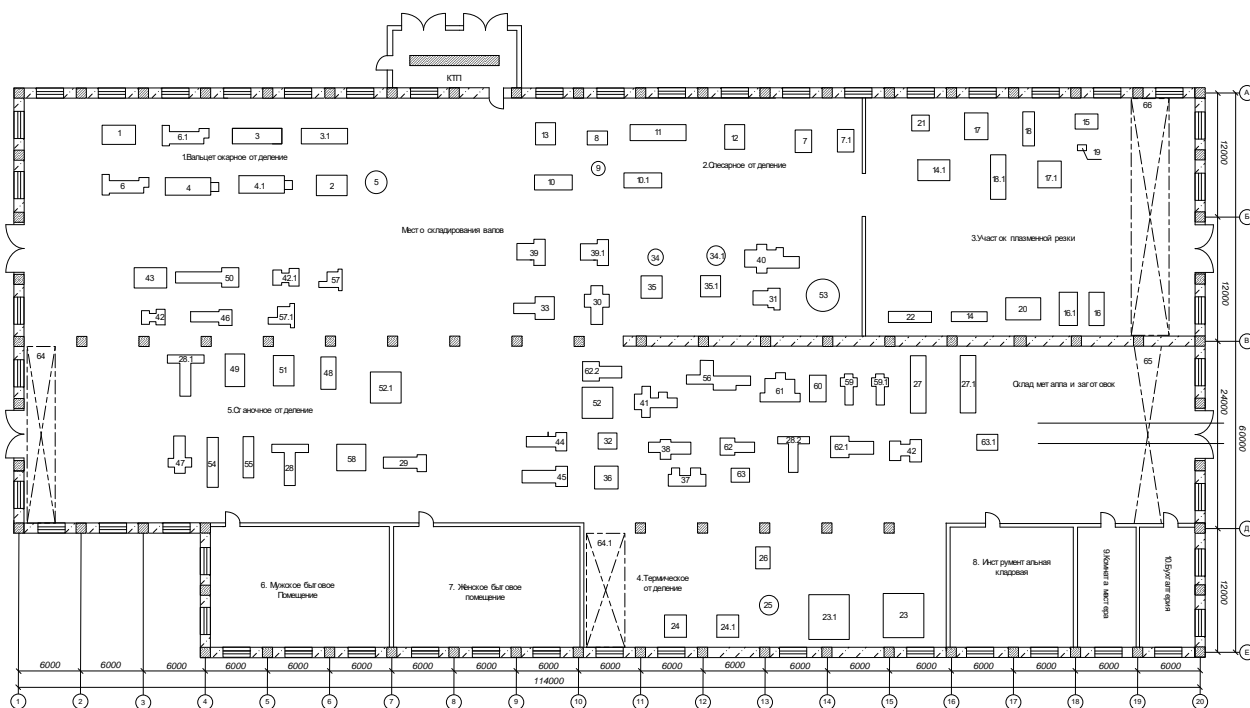


Рисунок 1 – План цеха с расположением оборудования

«Ведомость электрооборудования, которое планируется установить в производственном цехе, приведена в таблице 2. Номера потребителей в таблице 2 соответствуют номерам оборудования на плане (рисунок 1)» [6].

Таблица 2 – Ведомость электрооборудования, установленного в цехе

№ на плане	Наименование стана	Кол-во	Мощность, кВт	Ки	cosφ, о.е.	tgφ, о.е.
Вальцетокарное отделение						
1	Станок вальцетокарный	1	44	0,17	0,65	1,17
2	Печь для разогрева валов	1	110	0,6	0,98	0,2
3	Установка для наплавки валков	2	102	0,6	0,98	0,2
4	Станок вальцетокарный	2	12,5	0,14	0,6	1,33
5	Заточный станок	1	1,75	0,14	0,6	1,33
6	Станок вальцетокарный	2	31,6	0,14	0,6	1,33
Слесарный участок						
7	Пресс гидравлический	2	5,5	0,2	0,65	1,17
8	Заточный станок	1	4	0,14	0,6	1,33
9	Пылеулавливающий агрегат	1	1,5	0,14	0,6	1,33
10	Станок радиально – сверлильный	2	9,8	0,14	0,6	1,33
11	Геркулес	1	39,5	0,17	0,65	1,17
12	Молот пневматический ковочный	1	10	0,24	0,65	1,17
13	Молот пневматический ковочный	1	20	0,24	0,65	1,17
Участок плазменной резки						

Продолжение таблицы 2

№ на плане	Наименование стана	Кол-во	Мощность, кВт	Ки	cosφ, о.е.	tgφ, о.е.
14	Ножницы листовые	2	7	0,14	0,6	1,33
15	Станок вальцегибочный	1	13	0,14	0,6	1,33
16	Машина листогибочная	2	24	0,14	0,6	1,33
17	Станок отрезной	2	1,9	0,14	0,6	1,33
18	Ножницы комбинированные	2	5,5	0,14	0,6	1,33
19	Точильно – шлифовальный станок	1	0,75	0,14	0,6	1,33
20	Установка плазменной резки	1	19,5	0,6	0,98	0,2
21	Ножницы комбинированные	1	5,5	0,14	0,6	1,33
22	Станок радиально – сверлильный	1	9,8	0,14	0,6	1,33
Термическое отделение						
23	Печь электротермическая	2	70	0,6	0,98	0,2
24	Установка высокочастотная	2	2,4	0,3	0,6	1,33
25	Преобразователь сварочный	1	28	0,3	0,6	1,33
26	Вентилятор	1	7	0,8	0,8	0,75
Станочное отделение						
27	Токарный станок	2	40,5	0,17	0,65	1,17
28	Консально – фрезерный станок	3	28,5	0,14	0,6	1,33
29	Токарно – винторезный станок	1	116	0,17	0,65	1,17
30	Долбежный станок	1	11	0,14	0,6	1,33
31	Зубофрезерный станок	1	9,45	0,2	0,65	1,17
32	Зубофрезерный станок	1	46,1	0,2	0,65	1,17
33	Зубофрезерный станок	1	10,6	0,2	0,65	1,17
34	Пылеулавливающий агрегат	2	1,5	0,14	0,6	1,33
35	Обдирочно – шлифовальный станок	2	2,8	0,2	0,65	1,17
36	Универсально – заточный станок	1	7,7	0,14	0,6	1,33
37	Зубофрезерный станок	1	9,85	0,2	0,65	1,17
38	Токарно – винторезный станок	1	23	0,14	0,6	1,33
39	Токарно – винторезный станок	2	8,3	0,14	0,6	1,33
40	Горизонтально – расточный станок	1	40,1	0,2	0,65	1,17
41	Горизонтально – расточный станок	1	12,55	0,2	0,65	1,17
42	Токарно – винторезный станок	3	18,5	0,14	0,6	1,33
43	Токарно – винторезный станок	1	16,28	0,14	0,6	1,33
44	Токарно – винторезный станок	1	23,62	0,14	0,6	1,33
45	Токарно – винторезный станок	1	30,5	0,14	0,6	1,33
46	Токарно – винторезный станок	1	19,9	0,14	0,6	1,33
47	Вертикально – фрезерный станок	1	6,99	0,14	0,6	1,33
48	Продольно – фрезерный станок	1	76,42	0,17	0,65	1,17
49	Консально – фрезерный станок	1	6,64	0,14	0,6	1,33
50	Токарно – винторезный станок	1	22	0,14	0,6	1,33
51	Продольно фрезерный станок	1	36,7	0,14	0,6	1,33
52	Установка для наплавки валков	2	102	0,6	0,98	0,2
53	Электропечь шахтная	1	110	0,6	0,4	0,2
54	Радиально – сверлильный станок	1	9,8	0,14	0,6	1,33
55	Строгальный станок	1	11	0,14	0,6	1,33
56	Продольно фрезерный станок	1	73,1	0,17	0,65	1,17

Продолжение таблицы 2

№ на плане	Наименование стана	Кол-во	Мощность, кВт	Ки	cosφ, о.е.	tgφ, о.е.
57	Лоботокраный станок	2	37	0,17	0,65	1,17
58	Автомат зуборезный	1	70,1	0,2	0,65	1,17
59	Долбежный станок	2	3,8	0,14	0,6	1,33
61	Токарно – винторезный станок	1	12	0,14	0,6	1,33
62	Токарно – винторезный станок	3	11,125	0,14	0,6	1,33
63	Автомат отрезной – круглопильный	2	11,11	0,14	0,6	1,33
64	Кран мостовой Q = 5т.	2	20,7	0,15	0,8	0,75
65	Кран мостовой Q = 10т.	1	55	0,15	0,8	0,75
66	Кран мостовой Q = 15т.	1	81,5	0,15	0,8	0,75

Ремонтный цех предназначен для выполнения ремонтных работ и технического обслуживания различных видов оборудования, машин, транспортных средств и других объектов. В ремонтном цехе осуществляется диагностика, ремонт, замена компонентов, настройка и испытание оборудования с целью восстановления его работоспособности и эффективности.

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР проведен анализ объекта проектирования – ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС». Приведены общие сведения о предприятии. также даны характеристики цеха, плана цеха с расположением оборудования, характеристики оборудования. Данный раздел является основополагающим для выполнения дальнейших расчетов системы электроснабжения ремонтного цеха.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет освещения для помещений цеха

Выбор освещенности, системы освещения и источников света.

«Во всех помещениях цеха необходимо рассчитать общее равномерное освещение. В качестве источников света применяются светильники со светодиодами OSRAM» [11].

Нормируемая освещенность помещений цеха составляет:

- для вальцетокарного, слесарного, термического и станочного отделений, участка плазменной резки – 200 лк [7], [11], [18];
- для мужского и женского бытовых помещений – 150 лк [7], [11], [18];
- для инструментальной кладовой – 75 лк [7], [11], [18];
- для комнаты мастеров и бухгалтерии – 300 лк [7], [11], [18];
- для КТП – 100 лк [7], [11], [18].

Выбор типа осветительных приборов, их размещения и высоты подвеса.

Для вальцетокарного, слесарного, термического и станочного отделений, участка плазменной резки и КТП используются светильники со светодиодными лампами. Для установки выбираем «светильники L-industry 230 фирмы LEDEL. Внешний вид светильников представлен на рисунке 2» [19].



Рисунок 2 – «Внешний вид светильников L-industry 230» [19]

«Универсальный LED светильник L-industry 230 разработанный специально для электроосвещения промышленных объектов, складских и логистических помещений. По ряду примененных решений у светильника L-industry 230 отсутствуют аналоги» [19].

«Литой корпус светильника выполнен из сплава алюминия. Система «канального» охлаждения позволила выполнить светильник в 2,5 раза меньше существующих аналогов по габаритам и массе» [19].

Характеристики светильника приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики светильника *L-industry 230* [19]

Характеристика	Значение
«Напряжение питания переменного тока, В» [19]	от 140 до 265
«Частота, Гц» [19]	50 ± 10%
«Напряжение питания постоянного тока, В» [19]	от 200 до 250
«Потребляемая мощность, Вт» [19]	170
«Общий световой поток, люмен*» [19]	23430(Г60)
«Цветовая температура, К» [19]	4000, 5000
«Коэффициент мощности драйвера, λ» [19]	≥ 0,95
Коэффициент пульсаций светового потока	≤ 1
«Габаритные размеры, мм» [19]	492x320x320
«Масса, кг» [19]	8
«Температура эксплуатации, С» [19]	от -60 до +50
«Вид климатического исполнения» [19]	УХЛ 3
«Степень защиты корпуса светильника» [19]	IP 65

«В светильнике используется уникальная оптическая система, которая позволяет «на месте» выбрать необходимую диаграмму распределения светового потока (15°, 30°, 45°)» [19]. Оптическая система объединяет в себе мультилинзу и защитное стекло, что исключает потерю светового потока на вторичной оптике, и обеспечивает оптический КПД свыше 93%.

«Светодиод OSRAM OSLON Square имеет одни из лучших в настоящее время показателей по соотношению лм/Вт, сроку службы и надежности» [19].

«Расчетная высота подвеса» [11]:

$$H_p = h_{\text{пом}} - h_{\text{р.п.}} - h_c, \quad (1)$$

где $h_{\text{пом}}$ – высота помещения, равная 9 м;

$h_{\text{р.п.}}$ – высота рабочей поверхности, равная 0,8 м;

$h_{\text{с}}$ – высота свеса светильника, принимаемая равной 3,5 м;

$$H_p = 9 - 0,8 - 3,5 = 4,7 \text{ м.}$$

«Для использования в мужском и женском бытовых помещениях, в инструментальной кладовой, комнате мастеров и бухгалтерии применяем светильники L-office 55. Технические характеристики светильника L-office 55 представлены в таблице 4» [19].

Таблица 4 – «Технические характеристики светильника L-office 55» [19]

Характеристика	Значение
«Напряжение питания переменного тока, В» [19]	от 165 до 265
«Частота, Гц» [19]	$50 \pm 10\%$
«Напряжение питания постоянного тока, В» [19]	от 230 до 320
«Потребляемая мощность, Вт» [19]	32
«Общий световой поток, люмен*» [19]	5050
«Цветовая температура, К» [19]	4000, 5000
Индекс цветопередачи, <i>CRI</i>	82 / 90
Коэффициент мощности драйвера, λ	$\geq 0,95$
Коэффициент пульсаций светового потока, %	≤ 1
«Габаритные размеры, мм» [19]	57x592x592
«Масса, кг» [19]	2,2
«Температура эксплуатации, С» [19]	от +1 до +35
«Вид климатического исполнения» [19]	УХЛ 4
«Степень защиты корпуса светильника» [19]	IP 50

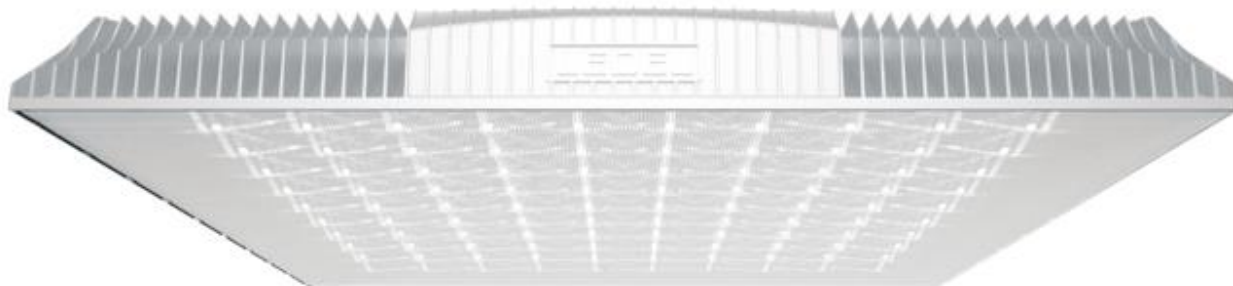


Рисунок 3 – «Внешний вид светильников L-office 55» [19]

«Расчетная высота подвеса определяется, учитывая высоту данных помещений 3,5 м, высоту свеса светильников – 1,0 м» [11]:

$$H_p = 4,0 - 0,8 - 1,0 = 2,2 \text{ м.}$$

Расчет мощности и выбор светильников.

Произведем расчет для вальцетокарного отделения.

«Индекс помещения» [7], [11], о.е.:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (2)$$

где A и B – длина и ширина помещения, м;

H_p – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;

$$i = \frac{42 \cdot 12}{4,7 \cdot (42 + 12)} = 2,0$$

«Коэффициент использования помещения определяется в зависимости от индекса помещения, от сочетания коэффициентов отражения поверхностей помещения, от КСС светильника. Для $i = 2,0$, $\rho_n = 0,5$, $\rho_c = 0,3$, $\rho_p = 0,1$ и КСС типа Д» [7], [11].

«Расчётное количество светильников» [11]:

$$N = \frac{E_n \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (3)$$

где E_n – «нормативная минимальная освещённость» [7], [11], лк;

$k_{\text{зап}}$ – «коэффициент запаса, равный 1,5» [7], [11];

S – площадь помещения, м²,

z – «коэффициент, характеризующий неравномерность освещения, равный 1,1 для светодиодных светильников» [7], [11], о.е.;

η – коэффициент использования светового потока [7], [11];

$$S = A \cdot B, \quad (4)$$

$$S = 42 \cdot 12 = 504 \text{ м}^2.$$

$$N = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 504 \cdot 1,1}{23430 \cdot 0,68} = 10,4 \text{ светильника.}$$

Принимаем 10 светильников.

Для подтверждения верности расчетов необходимо проверить световой поток при принятом количестве светильников [7], [11]:

$$\Phi_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (5)$$

$$\Phi_{\text{расч}} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 504 \cdot 1,1}{10 \cdot 0,68} = 24459 \text{ лм.}$$

Отличие светового потока от требуемого, % [7], [11]:

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_{\text{свет}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{расч}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{23430 - 24459}{24459} \cdot 100\% = -4,2 \%,$$

что допустимо ($-10 \% \leq \Delta\Phi_{\%} \leq +20 \%$).

Расчет для остальных помещений цеха производится аналогично. Результаты расчета остальных помещений сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты светотехнического расчета

Помещение	E_n , лк	h , м	A , м	B , м	S , м ²	i	η , о.е.	$N_{расч}$, шт	Тип светильника	$\Phi_{ном}$, лм	N	$\Phi_{расч}$, лм	$\Delta\Phi\%$
Вальцетокарное отделение	200	4,7	42	12	504	2,0	0,68	10,4	L-industry 230	23430	10	24459	-4,2
Слесарное отделение	200	4,7	40	12	480	2,0	0,68	9,9		23430	10	23294	0,6
Участок плазменной резки	200	4,7	32	24	768	2,9	0,76	14,2		23430	14	23820	-1,6
Термическое отделение	200	4,7	36	12	432	1,9	0,67	9,1		23430	9	23642	-0,9
Станочное отделение	200	4,7	$\frac{114}{82}$	$\frac{24}{12}$	3720	5,3	0,86	60,9		23430	$\frac{28}{33}$	23401	0,1
Мужское бытовое помещение	150	2,2	18	12	216	3,3	0,79	13,4	L-office 55	5050	14	4834	4,5
Женское бытовое помещение	150	2,2	18	12	216	3,3	0,79	13,4		5050	14	4834	4,5
Инструментальная кладовая	75	2,2	12	12	144	2,7	0,75	4,7		5050	5	4752	6,3
Комната мастера	300	2,2	6	12	72	1,8	0,66	10,7		5050	10	5400	-6,5
Бухгалтерия	300	2,2	6	12	72	1,8	0,66	10,7		5050	10	5400	-6,5
Примечание - Станочное отделение не прямоугольной формы. Состоит из двух прямоугольных частей, размерами 114 м × 24 м и 82 м × 12 м.													

Расположение светильников в цехе приведено на рисунке 6.

Расчет освещения КТП точечным методом [7], [11].

Норма освещенности для КТП должна составлять 100 лк [18]. Размер помещения 12 м х 6 м х 9 м. Среда нормальная, степень защиты IP20. Выбираются люминесцентные лампы ЛБ80, тип светильника ЛСП02: КСС – Д-2, число ламп в светильнике 2. Высота подвеса светильников 3 м. Высота рабочей поверхности 1,5 м.

Расположение светильников в КТП приведено на рисунке 4.

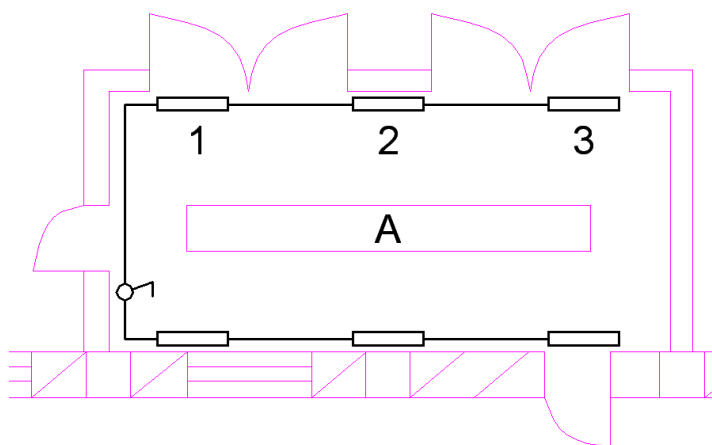
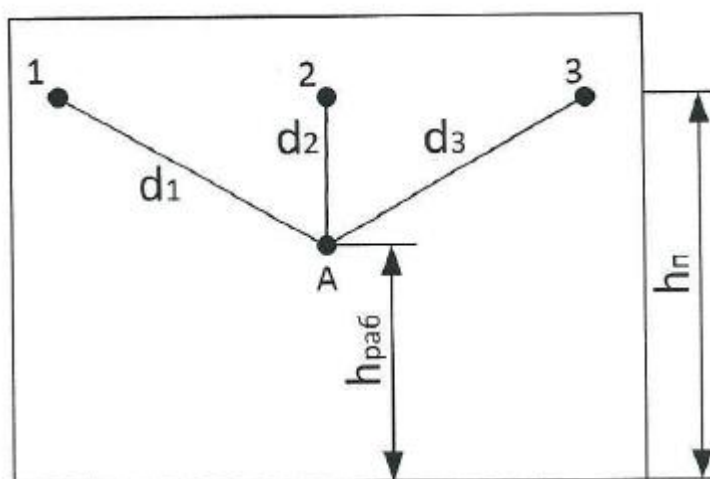


Рисунок 4 – Расположение светильников в КТП

Проекция светильников на рабочую поверхность приведена на рисунке 5.



$h_{\text{раб}}$ – высота рабочей поверхности (принимается 1,5 м); $h_{\text{п}}$ – высота подвеса светильников (принимается 3 м);

Рисунок 5 – Проекция светильников на рабочую поверхность

Расчет освещения КТП приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет освещения КТП

Точка	$h_{\text{расч}}$, м	d , м	α , град	e_{100} , лк	I_{α}	e , лк
1	3,4	4,5	37	2,54	261,2	6,634
2	3,4	2,2	56,7	3,434	172,76	5,933
3	3,4	4,5	37	2,54	261,2	6,634

Условная освещенность, лк:

$$e_1 = 2,54 \cdot \frac{261,2}{100} = 6,634 \text{ лк.}$$

Суммарная освещенность в точке А, лк:

$$\Sigma e = 6,634 + 5,933 + 6,634 = 19,201 \text{ лк.}$$

Освещенность в точке А, лк:

$$E_A = \frac{2 \cdot 4960 \cdot 1,2 \cdot 19,201}{1000 \cdot 1,5} = 152,38 \text{ лк} > 100 \text{ лк.}$$

Исходя их расчетов, на КТП устанавливаются 6 светильников типа ЛСП02 с лампами ЛБ80.

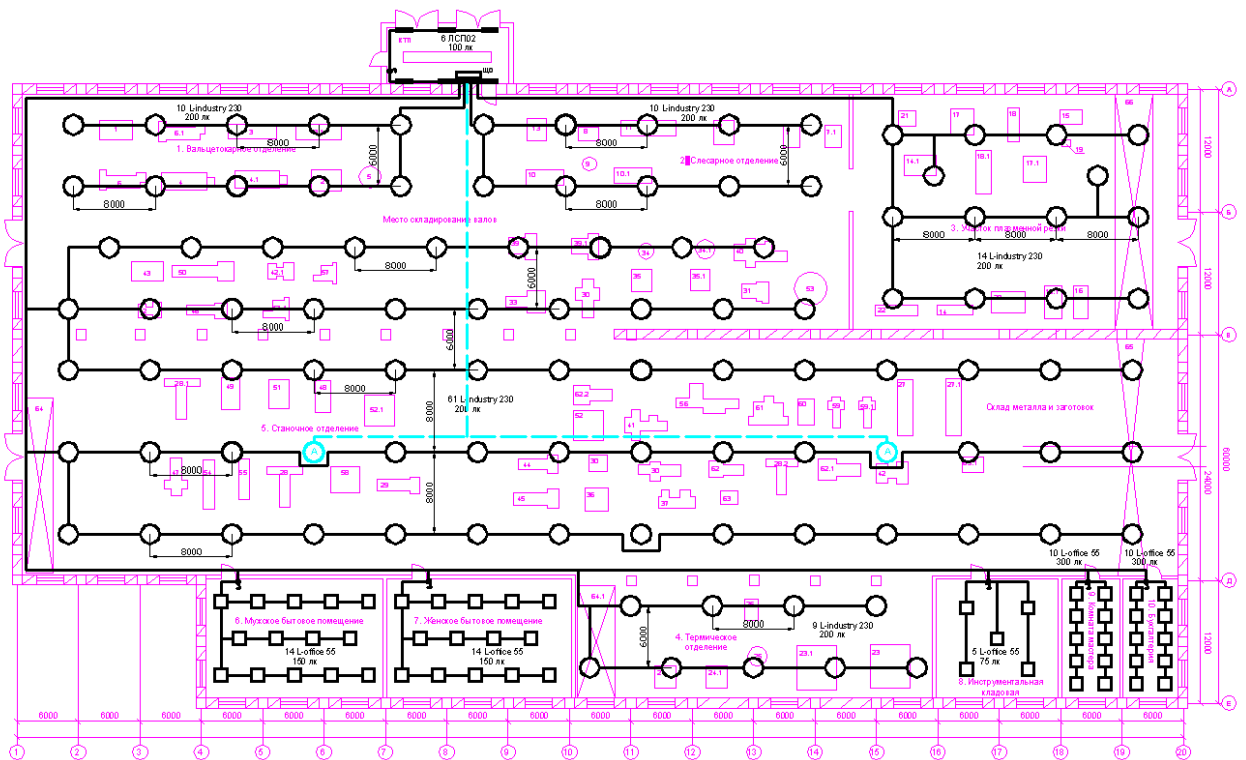


Рисунок 6 – План рабочего электроосвещения цеха

Аварийное освещение.

Для обеспечения эвакуации персонала при ЧС необходимо предусмотреть эвакуационное освещение и светильники «Выход», поскольку возможно нахождение более 20 человек в помещении станочного отделения. Эвакуационное освещение выполняется в проходе, при прекращении питания от основных трансформаторов, аварийное освещение автоматически переключается на резервный источник (аккумуляторная батарея). Для эвакуационного освещения применяются светильников *L-industry 230* из числа рассчитанных для рабочего освещения. Данные светильники подключаются также от щита ЩО. Для работы в случае потери питания от основного источника каждый светильник снабжается встроенным аккумулятором. Размещение аварийных светильников представлено на плане цеха (рисунок 7).

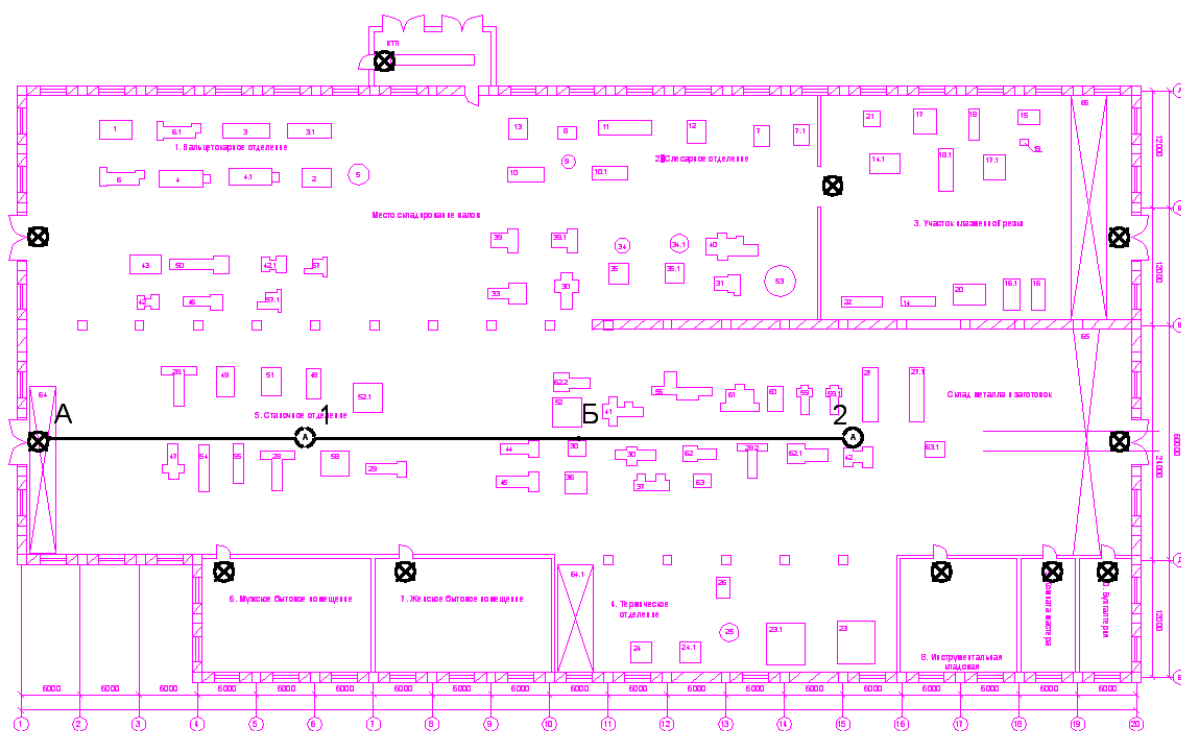


Рисунок 7 – План аварийного электроосвещения цеха

Светильники «Выход» ССА1001, устанавливаются над дверными проемами и служат для обозначения места выхода из помещения. «Параметры ССА1001 приведены в таблице 7» [11].

Таблица 7 – Параметры светильников ССА1001 «Выход»

Марка светильника	Напряжение, В	Количество и мощность ламп	Тип ламп	Степень защиты	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ССА1001	220	6x0,5	Линейка светодиодов	IP20	363x152x23	0,4

Определяется угол α и горизонтальная освещенность e_{100} :

$$h_{\text{расч}} = H - h_c - h_p, \quad (7)$$

$$h_{\text{расч}} = 9 - 3,5 - 0 = 6,5 \text{ м.}$$

Результаты определения угла α и горизонтальной освещенности e_{100} сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Определение угла α и горизонтальной освещенности e_{100}

h_p , м	6,5				
Точка	А		Б		
Светильник	1	Σe	1	2	Σe
d , м	28	0,624	28	28	1,248
α , °	13		13	13	
e_{100} , лк	0,234		0,234	0,234	
I_α , кд	266,5		185,6	266,5	
$E_A = \frac{1 \cdot 23430 \cdot 1,2 \cdot 0,624}{1000 \cdot 1,5} = 11,7 \text{ лк}$ > 0,5 лк.			$E_A = \frac{2 \cdot 23430 \cdot 1,2 \cdot 0,624}{1000 \cdot 1,5} = 23,4 \text{ лк}$ > 0,5 лк.		

Расчет осветительных нагрузок.

Уточнённое значение расчетной мощности освещения, кВт,

$$P_p = N \cdot P_{\text{св}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot k_{\text{со}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{св}}$ – мощность светильника, Вт;

N – количество светильников в помещении;

$k_{\text{ПРА}}$ – «коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре, $k_{\text{ПРА}} = 1,25$ для люминесцентных ламп, $k_{\text{ПРА}} = 1,0$ для

светодиодных ламп» [11];

k_{co} – коэффициент спроса.

Расчет осветительной нагрузки сведен в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчет осветительной нагрузки

Помещение	Тип светильника	N	$P_{св},$ кВт	$k_{ПРА}$	k_c	$P_p, \text{Вт}$	$tg\varphi$	$Q_p, \text{вар}$
Вальцетокарное отделение	<i>L-industry 230</i>	10	0,227	1,0	0,95	2,157	0,33	0,712
Слесарное отделение	<i>L-industry 230</i>	10	0,227	1,0	0,95	2,157	0,33	0,712
Участок плазменной резки	<i>L-industry 230</i>	14	0,227	1,0	0,95	3,019	0,33	0,996
Термическое отделение	<i>L-industry 230</i>	9	0,227	1,0	0,95	1,941	0,33	0,640
Станочное отделение	<i>L-industry 230</i>	28	0,227	1,0	0,95	13,155	0,33	4,341
		33	0,227	1,0			0,33	
Мужское бытовое помещение	<i>L-office 55</i>	14	55	1,0	0,85	0,655	0,33	0,216
Женское бытовое помещение	<i>L-office 55</i>	14	55	1,0	0,85	0,655	0,33	0,216
Инструментальная кладовая	<i>L-office 55</i>	5	55	1,0	0,85	0,234	0,33	0,077
Комната мастера	<i>L-office 55</i>	10	55	1,0	0,85	0,468	0,33	0,154
Бухгалтерия	<i>L-office 55</i>	10	55	1,0	0,85	0,468	0,33	0,154
КТП	ЛБ80	12	0,227	1,25	0,6	2,043	0,43	0,878
Эвакуационное освещение	<i>L-industry 230</i>	2	0,227	1,0	1,0	0,454	0,33	0,150
Указатель «Выход»	ССА1001	11	0,021	1,0	1,0	0,231	0,33	0,076
ИТОГО						27,6		9,3

Электротехнический расчет освещения цеха.

Все светильники цеха запитаны от шкафа ЩО, подключенного от ТП. Питание электроосвещения вальцетокарного, слесарного и станочного отделений выполняется трехфазным и управляется магнитными пускателями, установленными под шкафом ЩО. Электроосвещение станочного отделения выполнено пятью различными группами. Электроосвещение остальных помещений выполнено однофазным. Светильники включаются выключателями, установленными на входе в соответствующие помещения.

«Выбор проводников для осветительных сетей осуществляется по расчетному току» [1]:

$$I_{\text{д.д.}} \geq I_{\text{р.}} \quad (9)$$

«Так мощность осветительных приборов вальцетокарного цеха равна 2,4 кВА, рабочий ток равен 3,6 А, то принимаем кабель ВВГ-5х1,5 с длительно-допустимым током $I_{\text{дл.доп}} = 19 \text{ А}$ » [10].

«Потеря напряжения в линии определяется по формуле» [1]:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (10)$$

где P – активная мощность светильников линии, кВт;

l – длина линии, м;

C – «коэффициент, для трехфазных сетей $C = 77 \text{ кВт} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$; для однофазных сетей $C = 17 \text{ кВт} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$ » [1];

F – сечение кабеля, мм^2 .

Для вальцетокарного отделения

$$\Delta U = \frac{2,3 \cdot 60}{77 \cdot 1,5} = 1,2\% < 5\%.$$

«а значит, выбранный кабель проходит проверку по допустимой потере напряжения» [11].

Таблица 10 содержит результаты расчетов, по которым осуществляется выбор всех остальных кабелей для осветительной сети.

Таблица 10 – Выбор сечения проводников осветительной сети ремонтного цеха

Наименование отделения	$S_{\text{р}}$, кВА	$I_{\text{р}}$, А	Кабель	$I_{\text{дл.доп}}$, А	l , м	ΔU , %
Вальцетокарное отделение	2,4	3,6	ВВГ-5х1,5	19	60	1,2
Слесарное отделение	2,4	3,6	ВВГ-5х1,5	19	60	1,2

Продолжение таблицы 10

Наименование отделения	S_p , кВА	I_p , А	Кабель	$I_{дл.доп}$, А	l , м	ΔU , %
Участок плазменной резки	3,3	5,1	ВВГ-5х1,5	19	120	3,3
Термическое отделение	2,2	3,3	ВВГ-5х1,5	19	190	3,4
Станочное отделение	2,2	3,3	ВВГ-5х1,5	19	140	2,5
	2,4	3,6	ВВГ-5х1,5	19	150	2,9
	3,3	5,1	ВВГ-5х2,5	27	170	2,8
	3,3	5,1	ВВГ-5х2,5	27	180	3,0
	3,3	5,1	ВВГ-5х2,5	27	190	3,1
Мужское бытовое помещение	0,8	3,7	ВВГ-3х2,5	27	160	2,9
Женское бытовое помещение	0,8	3,7	ВВГ-3х2,5	27	180	3,3
Инструментальная кладовая	0,3	1,3	ВВГ-3х1,5	19	220	2,4
Комната мастера	0,6	2,6	ВВГ-3х2,5	27	230	3,0
Бухгалтерия	0,6	2,6	ВВГ-3х2,5	27	240	3,1
КТП	0,5	2,2	ВВГ-3х1,5	19	20	0,4

2.2 Расчет электрических нагрузок цеха

«Оцениваем ожидаемые электрические нагрузки, используя способ расчетного коэффициента. Ведущие положения данного способа указаны в «Руководящих указаниях по расчету электрических нагрузок» (РТУ 36.18.32.4-92) [12].

«По данному документу все СЭС с точки зрения расчета электрических нагрузок разделяют на шесть уровней. Изначально проводится расчет для системы второго уровня, к которой относятся распределительные шинопроводы и щиты, с которых непосредственно подключены отдельные потребители электроэнергии напряжением до 1 кВ» [12].

«Рассмотрим подробно вальцетокарное отделение, подключенное от силового пункта №1 СП-1. На этом участке находятся 9 потребителей электроэнергии суммарной установленной мощностью 447,95 кВт. Величина коэффициента использования по активной мощности $K_{ИА}$ и коэффициентов мощности $\cos\varphi$ и $tg\varphi$ для каждой из групп электроприемников являются исходными данными» [12].

«На следующем этапе для каждой группы однотипных потребителей электроэнергии определяется средняя нагрузка» [12]:

$$P_C = n \cdot K_{\text{ИА}} \cdot P_{\text{НОМ}}; \quad (11)$$

$$Q_C = n \cdot K_{\text{ИА}} \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg}\phi; \quad (12)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – «установленная активная мощность группы однотипных потребителей электроэнергии, кВт» [12];

n – количество однотипных потребителей электроэнергии, которые подключены к ШР.

Для станка вальцетокарного $P_{\text{НОМ}}=44$ кВт, $n=1$; $\cos\phi=0,65$, $K_{\text{ИА}}=0,17$:

$$P_C = 1 \cdot 0,17 \cdot 44 = 7,5 \text{ кВт};$$

$$Q_C = 1 \cdot 0,17 \cdot 44 \cdot 1,17 = 8,8 \text{ квар.}$$

Эффективное количество электроприемников:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum_{i=1}^n p_{\text{НОМ}i})^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{НОМ}i}^2}, \quad (13)$$

где n – реальное количество потребителей электроэнергии;

$p_{\text{НОМ}i}$ – «установленная активная мощность i -го потребителя электроэнергии, кВт» [12].

«Для СП1, который установлен в вальцетокарном отделении» [12]:

$$n_{\text{Э}} = \frac{447,95^2}{37156,68} = 5,4,$$

принимается $n_{\text{Э}} = 5$.

«Далее определяется средневзвешенный коэффициент использования по СП1» [12]:

$$K_{\text{ИА}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{ИА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}i}}, \quad (14)$$

где $k_{\text{ИА}i}$ – коэффициент использования,

$$K_{\text{ИА}} = \frac{208,5}{447,95} = 0,47.$$

«Средневзвешенный $\text{tg}\phi$ определяется аналогично» [12]:

$$\text{tg}\phi = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{ИА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i} \cdot \text{tg}\phi_i}{\sum_{i=1}^n k_{\text{ИА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}}, \quad (15)$$

где $\text{tg}\phi_i$ – «коэффициент реактивной мощности i -го потребителя электроэнергии» [12];

$$\text{tg}\phi = \frac{63,2}{208,5} = 0,30.$$

«По рассчитанному значению $\text{tg}\phi$ определяется величина $\cos\phi$.

Согласно РТМ расчетную мощность для системы второго уровня следует определять по формуле» [12]:

$$P_{\text{P}} = K_{\text{P}} \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{ИА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}, \quad (16)$$

$$Q_p = (1 \dots 1, 1) \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{ИА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (17)$$

где $K_{\text{РА}}$ – «коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности, приведен в РТМ в зависимости от эффективного количества потребителей электроэнергии и средневзвешенного коэффициента использования по активной мощности $K_{\text{РА}}=f(n_{\text{Э}}, K_{\text{ИА}})$ » [12];
 l – при $n_{\text{Э}} > 10$; 1,1 - при $n_{\text{Э}} \leq 10$.

«Полную расчетную нагрузку следует определять по формуле» [12]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (18)$$

«Расчетный ток» [12]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (19)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – «номинальное напряжение, кВ» [12].

Для СП1 $K_p = 1,16$, тогда

$$P_p = 1,16 \cdot 208,5 = 241,8 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 63,2 = 69,5 \text{ квар.}$$

Расчетная мощность проверяется по условию (если сумма мощностей трех наибольших электроприемников больше, чем расчетная величина, то для дальнейших расчетов принимается большая величина):

$$P_p < \sum_{i=1}^3 P_{\text{НОМ}}^{\text{max}} \cdot k_3, \quad (20)$$

где k_3 – коэффициент загрузки, принимается равным 0,8;

$$Q_p < \sum_{i=1}^3 Q_{\text{НОМ}}^{\text{max}} \cdot k_3, \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^3 P_{\text{НОМ}}^{\text{max}} \cdot k_3 = (110 + 102 + 102) = 251,2 \text{ кВт};$$

Так как $P_p < \sum_{i=1}^3 P_{\text{НОМ}}^{\text{max}} \cdot k_3$, то $\sum_{i=1}^3 P_{\text{НОМ}}^{\text{max}} \cdot k_3$ принимается за расчетную

МОЩНОСТЬ

$$\sum_{i=1}^3 Q_{\text{НОМ}}^{\text{max}} \cdot k_3 = (22,0 + 20,4 + 20,4) = 62,8 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{251,2^2 + 62,8^2} = 258,9 \text{ кВА};$$

$$I_p = \frac{258,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 393,9 \text{ А}.$$

«Аналогично определяются и нагрузки остальных отделений, результаты расчета показаны в таблице 11» [12].

«После определения нагрузок по участкам следует переходить к расчету нагрузок по секциям шин и в целом по цеху, то есть следует рассчитать электрические нагрузки на сборных шинах 0,4 кВ ЦТП, которые относятся к системе третьего уровня» [12].

«Расчетную активную и реактивную мощности можно определить по выражениям» [12]:

$$P_p = K_{PA} \cdot \sum_{i=1}^n k_{ИАi} \cdot P_{НОМi}, \quad (22)$$

где K_{PA} – «коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности, зависит от таких же показателей, что и на втором уровне, однако его следует определять в РТМ по другой таблице» [12].

$$Q_p = K_{PA} \cdot \sum_{i=1}^n k_{ИАi} \cdot P_{НОМi} \cdot \operatorname{tg}\phi_i, \quad (23)$$

«Коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности и коэффициент расчетной нагрузки по реактивной мощности следует принимать одинаковыми, в связи с тем, что на третьем уровне графики активной нагрузки уже более ровные во времени, чем в системе второго уровня» [12].

«При расчете нагрузок по цеху в целом также следует рассчитать эффективное число электроприемников, средневзвешенный коэффициент использования и коэффициент реактивной мощности» [12].

Так, для первой секции шин ТП

$$n_{\text{Э}} = \frac{858,7^2}{52126,1} = 14;$$

$$K_{ИА} = \frac{354,1}{858,7} = 0,41;$$

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{142,8}{354,1} = 0,40; \cos\phi = 0,93;$$

$$K_{PA} = f(n_{\text{Э}}, K_{ИА}) = 0,85;$$

$$P_p = 0,85 \cdot 354,1 = 301,0 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,85 \cdot 142,8 = 121,4 \text{ квар.}$$

Полная мощность определяется по формуле

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (24)$$

$$S_p = \sqrt{301,0^2 + 121,4^2} = 324,5 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток определяется по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}; \quad (25)$$

$$I_p = \frac{324,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 493,6 \text{ А.}$$

«Проведем расчет пиковых нагрузок» [26].

«Пиковой нагрузкой одного или группы электроприемников называется кратковременная нагрузка (1-2 секунды), обусловленная пуском электродвигателей, эксплуатационным коротким замыканием и т.д.» [26].

«При количестве электроприемников» [26]

$$n = 2 \dots 5$$

$$i_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + \Sigma I_{\text{НОМ}} - I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}, \quad (26)$$

где $I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}$ – «номинальный ток наибольшего электроприемника, А» [26],

$I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$ – «пусковой ток наибольшего электроприемника, А» [26],

$$n > 5$$

$$i_{\text{пик}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} + I_{\text{р}} - k_{\text{и}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}, \quad (27)$$

где $k_{\text{пуск}}$ – «кратность пускового тока наибольшего электроприемника, о.е. $k_{\text{пуск}} = 5 \dots 7$ – для асинхронного двигателя с к.з. ротором; $k_{\text{пуск}} \geq 2,5$ – для двигателя постоянного тока или асинхронного с фазным ротором; $k_{\text{пуск}} \geq 3$ – для печных и сварочных трансформаторов» [26].

$$n = 1$$

$$i_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}, \quad (28)$$

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{НОМ}}^{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (29)$$

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}, \quad (30)$$

Пример для потребителей, подключенных к СП1: т.к. $n_3 = 5$, то

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,98} = 200,9 \text{ А},$$

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = 3 \cdot 200,9 = 602,7 \text{ А},$$

$$i_{\text{пик}} = 602,7 + 962,8 - 200,9 = 1364,6 \text{ А}.$$

Результаты расчетов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчета электрических нагрузок

Наименование узлов СЭС и электроприемников	n	Уст мощ-ть		K _{ИИА}	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , кВт	n•P _{НОМ} ²	nЭ	K _Р	P _Р , кВт	Q _Р , квар	S _Р , кВА	I _Р , А	i _{пик} , А
		P _{НОМ} , кВт	P _{сум} , кВт													
I СШ ТП																
Вальцетокарное отделение (СП-1)																
Станок вальцетокарный	1	44	44	0,17	0,65	1,17	7,5	8,8	1936							
Печь для разогрева валов	1	110	110	0,6	0,98	0,2	66,0	13,2	12100						200,9	602,7
Установка для наплавки валков	2	102	204	0,6	0,98	0,2	122,4	24,5	20808							
Станок вальцетокарный	2	12,5	25	0,14	0,6	1,33	3,5	4,7	312,5							
Заточный станок	1	1,75	1,75	0,14	0,6	1,33	0,2	0,3	3,0625							
Станок вальцетокарный	2	31,6	63,2	0,14	0,6	1,33	8,8	11,8	1997,12							
Суммарно по узлу	9		447,95	0,47	0,96	0,30	208,5	63,2	37156,68	5	1,16	241,8	69,5	251,6		
Проверка		251,2										251,2	62,8			
ИТОГО по СП-1																
Слесарный участок (СП-2)																
Пресс гидравлический	2	5,5	11	0,2	0,65	1,17	2,2	2,6	60,5							
Заточный станок	1	4	4	0,14	0,6	1,33	0,6	0,7	16							
Пылеулавливающий агрегат	1	1,5	1,5	0,14	0,6	1,33	0,2	0,3	2,25							
Станок радиально – сверлильный	2	9,8	19,6	0,14	0,6	1,33	2,7	3,6	192,08							
Геркулес	1	39,5	39,5	0,17	0,65	1,17	6,7	7,9	1560,25						92,4	462,0
Молот пневматический ковочный	1	10	10	0,24	0,65	1,17	2,4	2,8	100							
Молот пневматический ковочный	1	20	20	0,24	0,65	1,17	4,8	5,6	400							
Суммарно по узлу	9		105,6	0,19	0,64	1,20	19,6	23,5	2331,08	5	1,79	35,1	25,9	43,6		
Проверка		55,6										55,6	65,0			
ИТОГО по СП-2																

Продолжение таблицы 11

Наименование узлов СЭС и электроприемников	n	Уст мощ-ть		K _{ИИА}	cosφ	tgφ	P _С , кВт	Q _С , кВт	n•P _{НОМ} ²	n _Э	K _Р	P _Р , кВт	Q _Р , квар	S _Р , кВА	I _Р , А	i _{пик} , А
		P _{НОМ} , кВт	P _{СУМ} , кВт													
Участок плазменной резки (СП-3)																
Ножницы листовые	2	7	14	0,14	0,6	1,33	2,0	2,6	98							
Станок вальцегибочный	1	13	13	0,14	0,6	1,33	1,8	2,4	169							
Машина листогибочная	2	24	48	0,14	0,6	1,33	6,7	8,9	1152							
Станок отрезной	2	1,9	3,8	0,14	0,6	1,33	0,5	0,7	7,22							
Ножницы комбинированные	2	5,5	11	0,14	0,6	1,33	1,5	2,0	60,5							
Точильно – шлифовальный станок	1	0,75	0,75	0,14	0,6	1,33	0,1	0,1	0,5625							
Установка плазменной резки	1	19,5	19,5	0,6	0,98	0,2	11,7	2,3	380,25							
Ножницы комбинированные	1	5,5	5,5	0,14	0,6	1,33	0,8	1,0	30,25							
Станок радиально – сверлильный	1	9,8	9,8	0,14	0,6	1,33	1,4	1,8	96,04							
Суммарно по узлу	13		125,35	0,21	0,77	0,83	26,5	22,0	1993,823	8	1,45	38,5	24,3	45,5		
Проверка		54,0										54,0	54,2			
ИТОГО по СП-3												54,0	54,2	76,5	116,4	372,2
Термическое отделение (СП-4)																
Печь электротермическая	2	70	140	0,6	0,98	0,2	84,0	16,8	9800							
Установка высокочастотная	2	2,4	4,8	0,3	0,6	1,33	1,4	1,9	11,52							
Преобразователь сварочный	1	28	28	0,3	0,6	1,33	8,4	11,2	784							
Вентилятор	1	7	7	0,8	0,8	0,75	5,6	4,2	49							
Суммарно по узлу	6		179,8	0,55	0,95	0,34	99,4	34,1	10644,52	3	1,28	127,3	37,5	132,7		
Проверка		134,4										134,4	52,2			
ИТОГО по СП-4												134,4	52,2	144,2	219,3	639,7
ИТОГО по II СШ ТП	37		858,7	0,41	0,93	0,40	354,1	142,8	52126,1	14	0,85	301,0	121,4	324,5	493,6	1208,4

Продолжение таблицы 11

Наименование узлов СЭС и электроприемников	n	Уст мощ-ть		K _{иА}	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , кВт	n•P _{НОМ} ²	nЭ	K _р	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А	i _{пик} , А
		P _{НОМ} , кВт	P _{СУМ} , кВт													
Станочное отделение (СП-5)																
Токарный станок	2	40,5	81	0,17	0,65	1,17	13,8	16,1	3280,5							
Консально – фрезерный станок	3	28,5	85,5	0,14	0,6	1,33	12,0	15,9	2436,8							
Токарно – винторезный станок	1	116	116	0,17	0,65	1,17	19,7	23,1	13456,0						271,5	1357
Долбёжный станок	1	11	11	0,14	0,6	1,33	1,5	2,0	121,0							
Зубофрезерный станок	1	9,45	9,45	0,2	0,65	1,17	1,9	2,2	89,3							
Зубофрезерный станок	1	46,1	46,1	0,2	0,65	1,17	9,2	10,8	2125,2							
Зубофрезерный станок	1	10,6	10,6	0,2	0,65	1,17	2,1	2,5	112,4							
Пылеулавливающий агрегат	2	1,5	3	0,14	0,6	1,33	0,4	0,6	4,5							
Обдирочно – шлифовальный станок	2	2,8	5,6	0,2	0,65	1,17	1,1	1,3	15,7							
Универсально – заточный станок	1	7,7	7,7	0,14	0,6	1,33	1,1	1,4	59,3							
Зубодолбёжный станок	1	9,85	9,85	0,2	0,65	1,17	2,0	2,3	97,0							
Токарно – винторезный станок	1	23	23	0,14	0,6	1,33	3,2	4,3	529,0							
Токарно – винторезный станок	2	8,3	16,6	0,14	0,6	1,33	2,3	3,1	137,8							
Горизонтально – расточный станок	1	40,1	40,1	0,2	0,65	1,17	8,0	9,4	1608,0							
Горизонтально – расточный станок	1	12,55	12,55	0,2	0,65	1,17	2,5	2,9	157,5							
Токарно – винторезный станок	3	18,5	55,5	0,14	0,6	1,33	7,8	10,3	1026,8							
Токарно – винторезный станок	1	16,28	16,28	0,14	0,6	1,33	2,3	3,0	265,0							
Токарно – винторезный станок	1	23,62	23,62	0,14	0,6	1,33	3,3	4,4	557,9							
Токарно – винторезный станок	1	30,5	30,5	0,14	0,6	1,33	4,3	5,7	930,3							
Токарно – винторезный станок	1	19,9	19,9	0,14	0,6	1,33	2,8	3,7	396,0							
Вертикально – фрезерный станок	1	6,99	6,99	0,14	0,6	1,33	1,0	1,3	48,9							
Продольно – фрезерный станок	1	76,42	76,42	0,17	0,65	1,17	13,0	15,2	5840,0							

Продолжение таблицы 11

Наименование узлов СЭС и электроприемников	n	Уст мощ-ть		K _{иА}	cosφ	tgφ	P _с , кВт	Q _с , кВт	n•P _{НОМ} ²	nЭ	K _р	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А	i _{пик} , А
		P _{НОМ} , кВт	P _{СУМ} , кВт													
Консально – фрезерный станок	1	6,64	6,64	0,14	0,6	1,33	0,9	1,2	44,1							
Токарно – винторезый станок	1	22	22	0,14	0,6	1,33	3,1	4,1	484,0							
Продольно фрезерный станок	1	36,7	36,7	0,14	0,6	1,33	5,1	6,8	1346,9							
Установка для наплавки валков	2	102	204	0,6	0,98	0,2	122,4	24,5	20808,0							
Электropечь шахтная	1	110	110	0,6	0,4	0,2	66,0	13,2	12100,0							
Радиально – сверлильный станок	1	9,8	9,8	0,14	0,6	1,33	1,4	1,8	96,0							
Строгальный станок	1	11	11	0,14	0,6	1,33	1,5	2,0	121,0							
Продольно фрезерный станок	1	73,1	73,1	0,17	0,65	1,17	12,4	14,5	5343,6							
Лоботокраный станок	2	37	74	0,17	0,65	1,17	12,6	14,7	2738,0							
Автомат зуборезный	1	70,1	70,1	0,2	0,65	1,17	14,0	16,4	4914,0							
Долбёжный станок	2	3,8	7,6	0,14	0,6	1,33	1,1	1,4	28,9							
Токарно – винторезный станок	1	12	12	0,14	0,6	1,33	1,7	2,2	144,0							
Токарно – винторезный станок	3	11,125	33,375	0,14	0,6	1,33	4,7	6,2	371,3							
Автомат отрезной – круглопильный	2	11,11	22,22	0,14	0,6	1,33	3,1	4,1	246,9							
Кран мостовой Q = 5т.	2	20,7	41,4	0,15	0,8	0,75	6,2	4,7	857,0							
Кран мостовой Q = 10т.	1	55	55	0,15	0,8	0,75	8,3	6,2	3025,0							
Кран мостовой Q = 15т.	1	81,5	81,5	0,15	0,8	0,75	12,2	9,2	6642,3							
Суммарно по узлу	54		1577,7	0,25	0,82	0,70	392,0	275,0	92605,6	27	1,05	411,6	275,0	495,0		
Проверка		262,4														
ИТОГО по СП-6												411,6	275,0	495,0	752,9	1806,2
ИТОГО по II СШ ТП	54		1577,7	0,25	0,82	0,70	392,0	275,0	92605,6	27	0,75	294,0	206,2	359,1	546,2	1670,3
ИТОГО по ТП	91		2436,40	0,31	0,87	0,56	746,0	417,8	144731,8	41	0,75	559,5	313,4	641,3	975,5	1952,5

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР проведен расчет системы электроосвещения производственного цеха. Для вальцетокарного, слесарного, термического и станочного отделений, участка плазменной резки и КТП используются светильники со светодиодными лампами. Для установки выбраны светильники *L-industry 230* фирмы *LEDEL*. Для использования в мужском и женском бытовых помещениях, в инструментальной кладовой, комнате мастеров и бухгалтерии применяем светильники *L-office 55*. Точечным методом рассчитано освещение в помещении КТП. К установке приняты 6 светильников типа ЛСП02 с лампами ЛБ80. Для обеспечения эвакуации персонала при ЧС необходимо предусмотреть эвакуационное освещение и светильники «Выход», поскольку возможно нахождение более 20 человек в помещении станочного отделения. Эвакуационное освещение выполняется в проходе, при прекращении питания от основных трансформаторов, аварийное освещение автоматически переключается на резервный источник (аккумуляторная батарея). Для эвакуационного освещения применяются светильников *L-industry 230* из числа рассчитанных для рабочего освещения. Данные светильники подключаются также от щита ЩО. Для работы в случае потери питания от основного источника каждый светильник снабжается встроенным аккумулятором.

Далее проведен расчет осветительной нагрузки и электротехнический расчет освещения цеха. Все светильники цеха запитаны от шкафа ЩО, который подключается к трансформаторной подстанции. Питание электроосвещения вальцетокарного, слесарного и станочного отделений выполняется трехфазным и управляется магнитными пускателями, установленными под шкафом ЩО. Электроосвещение станочного отделения выполнено пятью различными группами. Электроосвещение остальных помещений выполнено однофазным. Светильники включаются выключателями, установленными на входе в соответствующие помещения.

Рассчитаны электрические нагрузки цеха.

3 Выбор силовых трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности

«Как правило, применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции (ТП) напряжением 6-10/0,23-0,4 кВ без сборных шин на стороне ВН, что дает простейшие конструктивные решения СЭС» [27]. Так как среди потребителей сторонней нагрузки преобладают электроприемники II категории, их рекомендуется обеспечить питанием от двух независимых, взаиморезервирующих источников питания. При нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала. «Таким образом, для электроприёмников II и III категории надёжности проектируется двухтрансформаторная подстанция» [27].

«Расчетная мощность цеха складывается из расчетных силовой, осветительной и сторонней нагрузок» [27]:

$$P_{p.ц} = P_{p.c} + P_{p.o} + P_{p.стор}, \quad (31)$$

$$Q_{p.ц} = Q_{p.c} + Q_{p.o} + Q_{p.стор}. \quad (32)$$

«Расчетные активная и реактивная мощности цеха» [27]:

$$P_{p.ц.} = 559,5 + 26,9 + 0,7 = 587,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.ц.} = 313,4 + 9,1 + 0,23 = 322,7 \text{ квар.}$$

«Нагрузка трансформаторной подстанции показана в таблице 12» [27].

Таблица 12 – Нагрузка трансформаторной подстанции

Параметр	$P_p^8, \text{кВт}$	$P_p^{30}, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p^{30}, \text{кВА}$
Нагрузка	559,5	671,4	313,4	376,1
Рабочее освещение	26,9	26,9	9,1	9,1
Аварийное освещение	0,7	0,7	0,23	0,23
Итого:	587,1	704,5	322,7	387,3

$$S_n \geq \frac{P_{p.ч}}{N \cdot K_3}, \quad (33)$$

где N – «число трансформаторов» [27];

K_3 – «коэффициент загрузки трансформатора, который принимается в зависимости от категории электроприёмников, $K_3 = 0,8$ » [27];

«Мощность одного трансформатора» [27]:

$$S_n \geq \frac{587,1}{2 \cdot 0,8} = 366,9 \text{ кВА.}$$

На основании вышеприведенных расчетов и учитывая ряд факторов, включая требуемую мощность трансформации, номинальное напряжение, тип системы заземления и другие технические параметры выбираются трансформаторы ТМГ-630/10/0,4 УЗ [20].

«Предварительная проверка по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов осуществляется по соотношению» [27]:

$$K_{пер} \cdot S_{н.тр} \geq P_p^{30}, \quad (34)$$

где $K_{пер}$ - «коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме, равный 1,3» [27];

P_p^{30} - «расчетная нагрузка, определенная на интервале осреднения 30 минут» [27];

$$P_p^{30} = (1,15 - 1,2)P_p, \quad (35)$$

$$1,3 \cdot 630 \geq 819 \text{ кВт};$$

$$819 \text{ кВт} \geq 704,5 \text{ кВт}.$$

«Условие по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов выполняется» [27].

«Действительный коэффициент загрузки трансформаторов при условии полной компенсации реактивной мощности, о.е.» [27]:

$$K_3 = \frac{P_p^{30}}{N \cdot S_{н.т.}}, \quad (36)$$

$$K_3 = \frac{704,5}{2 \cdot 630} = 0,56.$$

«Состав нагрузок КТП по секциям представлен в таблице 13» [27].

Таблица 13 – Нагрузка трансформаторной подстанции по секциям

	$P_p^8, \text{кВт}$	$P_p^{30}, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$Q_p^{30}, \text{кВА}$
I Секция				
Нагрузка	301,0	361,2	121,4	145,7
Итого I секция:	301,0	361,2	121,4	145,7
II Секция				
Нагрузка	294,0	352,8	206,2	247,4
Освещение	27,6	27,6	9,3	9,3
Итого II секция:	321,6	380,4	215,5	256,7

«Компенсация реактивной мощности выполняется с помощью комплектных конденсаторных установок, устанавливаемых на каждой секции шин 0,4 кВ КТП» [27].

Компенсирующие устройства, такие как конденсаторные батареи или статические компенсаторы реактивной мощности, используются для улучшения энергоэффективности и стабильности системы путем компенсации реактивной мощности.

В данном разделе проводится анализ потребности в компенсации реактивной мощности, основываясь на характеристиках потребителей и генераторов в системе. Это включает оценку типов и объемов нагрузок, факторов мощности и мощностей генераторов.

Далее, проводятся расчеты, чтобы определить оптимальные параметры компенсирующих устройств, включая емкость или реактивность, необходимую для компенсации реактивной мощности.

«Требуемая мощность конденсаторной установки определяется двумя условиями:

- пропускной способностью трансформаторов КТП;
- обеспечением заданного коэффициента мощности на шинах КТП для баланса реактивной мощности в целом по предприятию» [27].

«Требуемая мощность компенсирующих устройств для одной секции шин по первому условию» [28]:

$$Q_{\text{контр}} = Q_p - Q_1, \quad (37)$$

где Q_1 – «расчётная реактивная мощность цеха, которую можно передать через трансформатор с учётом требуемого коэффициента загрузки, квар» [28]:

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_n)^2 - (P_p^{30})^2}, \quad (38)$$

«Первая секция шин» [28]:

$$Q_1 = \sqrt{(0,8 \cdot 630)^2 - (361,2)^2} = 351,5 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{кutr1}} = 121,4 - 351,5 = -230,1 \text{ квар.}$$

«Требуемая мощность конденсаторных батарей по второму условию, квар» [28],

$$Q_{\text{кutr2}} = Q_p - Q_{\text{э}}, \quad (39)$$

где $Q_{\text{э}}$ – «часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной трансформаторной подстанцией, квар» [28]:

$$Q_{\text{э}} = P_p^{30} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{э}}, \quad (40)$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{э}}$ – «коэффициент мощности на шинах КТП, о.е., при котором потребление реактивной мощности не выходит за пределы экономических значений» [28].

«Согласно требованиям по компенсации реактивной мощности, которые предъявляет энергетическая служба филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС», значение коэффициента мощности на шинах данной КТП должно быть равным 0,3» [28].

$$Q_{\text{э}} = 0,3 \cdot 361,2 = 108,4 \text{ кВА},$$

$$Q_{\text{кutr2}} = 121,4 - 108,4 = 13,0 \text{ кВА}.$$

«Из двух значений требуемой мощности выбирается большее» [28].

«На шинах 0,4 кВ устанавливается конденсаторная установка КРМ-0,38-100-25-УЗ мощностью $Q_{\text{ку}} = 25$ квар» [21].

Для второй секции шин:

$$Q_2 = \sqrt{(0,8 \cdot 630)^2 - (380,4)^2} = 330,6 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{контр1}} = 215,5 - 330,6 = -115,1 \text{ квар},$$

$$Q_3 = 0,3 \cdot 380,4 = 114,1 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{контр2}} = 215,5 - 114,1 = 101,4 \text{ квар}.$$

«Таким образом, на шинах 0,4 кВ устанавливается конденсаторная установка КРМ-0,38-200-25-У3 мощностью $Q_{\text{кв}} = 125$ квар» [21].

«Действительный коэффициент загрузки трансформаторов» [23]:

$$K_3 = S'_p / S_{\text{шт}}, \quad (41)$$

где S'_p – «расчётная полная мощность с учетом компенсации, кВА» [23]

$$S'_p = \sqrt{(P_p^{30})^2 + (Q_p - Q_{\text{кв}})^2}, \quad (42)$$

Для первой СШ:

$$S'_p = \sqrt{361,2^2 + (145,7 - 25)^2} = 380,8 \text{ кВА},$$

$$K_3 = \frac{380,8}{630} = 0,60.$$

Для второй СШ:

$$S'_p = \sqrt{380,4^2 + (256,7 - 125)^2} = 402,6 \text{ кВА};$$

$$K_3 = \frac{402,6}{630} = 0,64.$$

Суммарная мощность КТП:

$$S'_p = \sqrt{741,6^2 + (402,4 - 150)^2} = 783,4 \text{ кВА.}$$

«Проверка по допустимой перегрузке трансформаторов КТП после компенсации реактивной мощности» [23]:

$$1,3 \cdot S_{ит} \geq S'_p, \quad (43)$$

$$1,3 \cdot 630 = 819 \text{ кВА} > 783,4 \text{ кВА.}$$

«Условие по допустимой перегрузке трансформаторов выполнено» [23].

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР для электроприёмников II и III категории надёжности принята к установке двухтрансформаторная подстанция 2КТП-630/10 с масляными трансформаторами ТМГ-630/10. На первой секции шин 0,4 кВ ТП устанавливается конденсаторная установка КРМ-0,38-100-25-УЗ мощностью $Q_{ку} = 25$ квар. На второй секции шин 0,4 кВ ТП устанавливается конденсаторная установка КРМ-0,38-200-25-УЗ мощностью $Q_{ку} = 125$ квар.

4 Расчет внешнего электроснабжения

«Выбор кабелей напряжением выше 1 кВ производится по следующим условиям:

- по экономической плотности тока;
- по нагреву рабочим током;
- по термической стойкости при протекании тока КЗ;
- по допустимому отклонению напряжения» [2].

«Сечения питающих линий напряжением выше 1 кВ должны выбираться по экономической плотности тока в нормальном режиме» [2].

«Экономически целесообразное сечение определяется из соотношения» [2]:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{р.норм}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (44)$$

где $I_{\text{р.норм}}$ – расчетный ток в нормальном режиме, А;

$j_{\text{ЭК}}$ – «нормированное значение экономической плотности тока, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, $j_{\text{ЭК}} = 1,7 \text{ А/мм}^2$ » [10].

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{25,5}{1,7} = 15,0 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПвП – 3×16, с длительно допустимым током $I_{\text{д.д.}} = 95 \text{ А}$.

«Принятое экономически целесообразное сечение кабеля проверяется по нагреву рабочим током в послеаварийном режиме (например, после отключения одной из параллельных линий) по условию» [2]:

$$I_{\text{д.д.}} \cdot K_{\text{П1}} \cdot K_{\text{П2}} \geq I_{\text{р.мах}}, \quad (45)$$

где $I_{\text{д.д.}}$ – допустимый длительный ток кабеля, А;

$K_{П1}$ – поправочный температурный коэффициент, $K_{П1} = 1,0$;

$K_{П2}$ – поправочный коэффициент на число кабелей, лежащих в одной траншее, для двух кабелей при расстоянии в свету 100 мм $K_{П2} = 0,9$.

$$95 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 85,5 \text{ A} \geq I_{p.max} = 51,0 \text{ A} - \text{верно,}$$

а значит выбранный кабель проходит проверку по нагреву рабочим током в послеаварийном режиме.

«Потерю напряжения в линиях напряжением до 35 кВ определяют по формуле» [2]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos\varphi + x_{уд} \cdot \sin\varphi), \quad (46)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

l – длина питающей кабельной линии, $l = 1,0$ км;

$r_{уд}$ – активное удельное сопротивление линии, $r_{уд} = 1,95$ Ом/км;

$x_{уд}$ – индуктивное удельное сопротивление линии, $x_{уд} = 0,093$ Ом/км;

$\cos\varphi$, $\sin\varphi$ – коэффициенты мощности соответствуют $\operatorname{tg}\varphi$ в конце линии, $\cos\varphi = 0,93$, $\sin\varphi = 0,36$.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 51,0 \cdot 1,0 \cdot (1,95 \cdot 0,93 + 0,093 \cdot 0,36) = 163,0 \text{ В.}$$

Потери напряжения в процентах составляют [2]:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (47)$$

$$\Delta U\% = \frac{163}{10000} \cdot 100\% = 1,63\% < 5\%.$$

Согласно исходным данным, ток КЗ на сборных шинах 10 кВ ПС 110/10

кВ «Городская-2» равен 12,2 кА.

Проверка выбранного кабеля на термическую стойкость [3]:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (48)$$

где C – «коэффициент, $C = 92 \frac{A \cdot c^{0,5}}{мм^2}$ » [3]

B_K – тепловой импульс,

$$B_K = I_{по}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (49)$$

где $I_{по}$ – ток КЗ на шинах 10 кВ ПС 110/10 кВ «Городская-2», согласно исходным данным,

T_a – «время протекания аperiodической составляющей тока короткого замыкания» [3];

$t_{откл}$ – время отключения тока КЗ, $t_{откл} = 0,8$ с;

$$B_K = 12,2^2 \cdot (0,8 + 0,05) = 126,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} = 126,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с};$$

$$q_{min} = \frac{\sqrt{126,5 \cdot 10^6}}{92} = 122,3 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель АПвП-10-3×150 [22].

Выбор и проверка аппаратов и токоведущих частей комплектной трансформаторной подстанции проводится в следующем порядке:

«Выключатели нагрузки на вводе в ТП» [29].

Выключатели нагрузки на вводе в ТП (трансформаторной подстанции) напряжением 10 кВ представляют собой электромеханические устройства, используемые для открытия и закрытия электрической цепи на вводе подстанции.

Эти выключатели обеспечивают контроль и управление электрической мощностью, поступающей на ввод трансформаторной подстанции, а также

обеспечивают защиту от перегрузок и коротких замыканий. Они могут быть использованы для разделения электрических цепей, обслуживания и ремонта оборудования, а также для обеспечения безопасности персонала при проведении работ.

«Выключатели нагрузки не предназначены для отключения токов КЗ, поэтому их выбирают» [29]:

– «по напряжению установки» [29]

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (50)$$

– по длительному току [29]

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (51)$$

где $I_{\text{норм}}$ – ток на стороне 10 кВ ТП в нормальном режиме [29];

$$I_{\text{норм}} \leq \frac{0,7 \cdot S_{\text{н.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (52)$$

$$I_{\text{норм}} \leq \frac{0,7 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 25,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (53)$$

где I_{max} – ток на стороне 10 кВ ТП в максимальном режиме [29];

$$I_{\text{max}} \leq \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (54)$$

$$I_{\text{max}} \leq \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 51,0 \text{ А};$$

– «по электродинамической стойкости» [29]

$$i_y \leq i_{\text{дин}}, \quad (55)$$

где $i_{\text{дин}}$ – «ток электродинамической стойкости, кА (принимается по каталогу)» [29];

– «по термической стойкости» [29]

$$B_K \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}, \quad (56)$$

где $I_{\text{тер}}$ – «ток термической стойкости, кА» [29];

$t_{\text{тер}}$ – «время протекания тока термической стойкости, с» [29].

«Для установки на вводе в ТП применяем выключатель нагрузки ВНРП-10/400 УЗ. Расчетные и каталожные данные выключателя нагрузки приведены в таблице 14» [14].

Таблица 14 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ВНРП-10/400 УЗ
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{уст}}=10$ кВ	$U_{\text{ном}}=10$ кВ
$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}}=51,0$ А	$I_{\text{ном}}=400$ А

«Предохранители напряжением 10 кВ» [16].

Выбор предохранителей основывается на соответствии техническим требованиям, надежности работы, эксплуатационным особенностям и соотношению стоимости и эффективности:

– «по напряжению установки» [16]

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (57)$$

– «по длительному току» [16]

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (58)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (59)$$

– «по отключающей способности» [16]

$$I_{\text{кз}}^{(3)} \leq I_{\text{откл.ном.}} \quad (60)$$

где $I_{\text{откл.ном}}$ – номинальный ток отключения, кА [16].

«Для установки на вводе в ТП в сочетании с выключателем нагрузки применяем предохранитель ПКТ103-10-63/40. Расчетные и каталожные данные высоковольтного предохранителя приведены в таблице 15» [13].

Таблица 15 – Выбор предохранителя на вводе в ТП

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ПКТ103-10-63/40
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}}=51,0 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=63 \text{ А}$

Выводы по разделу.

В четвертом разделе ВКР выполнен расчет внешнего электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС». Трансформаторная подстанция проектируемого цеха подключается от подстанции энергосистемы кабельной линией, выполненной кабелем АПвП-10-3х150. Выбрана коммутационная аппаратура на вводе 10 кВ ТП.

5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет тока КЗ на стороне 0,4 кВ цеховой трансформаторной подстанции является важным этапом проектирования и эксплуатации электрической сети, который позволяет обеспечить безопасность и надежность работы оборудования.

«Основная причина аварийных режимов в электрических установках – это трехфазные, двухфазные, двухфазные на землю и однофазные КЗ» [6].

«Расчеты аварийных режимов при проектировании электроустановки нужны для выбора аппаратуры подстанции и проверки токоведущих частей на их термическую и электродинамическую стойкость, и, кроме того, для расчета релейной защиты и заземляющих устройств» [6].

«Все элементы сети необходимо представить схемами замещения. На данных схемах приводим активные и индуктивные сопротивления элементов, по которым могут протекать токи КЗ» [6].

Составляем схему замещения (рисунок 8). На схеме отмечаем точки КЗ. После этого преобразуем схему к упрощённому варианту. Рассчитываем токи в этих точках.

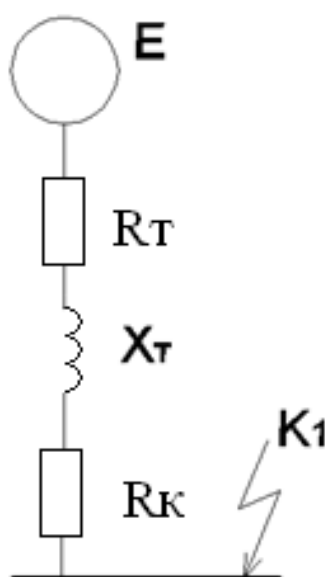


Рисунок 8 – Схема замещения сети

«Суммарное сопротивление в точке К1. Сопротивление энергосистемы до силового трансформатора принимается равным нулю, вследствие его малости относительно сопротивления трансформатора ТП и элементов сети 0,4 кВ. В сети напряжением ниже 1000 В следует учитывать и индуктивные и активные сопротивления» [6].

«Полное сопротивление трансформатора ТП» [4]:

$$z_T = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}}, \quad (61)$$

$$z_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{630} = 87,30;$$

«активное сопротивление трансформатора» [4]:

$$r_T = \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}^2}, \quad (62)$$

$$r_T = 5,6 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{630^2} = 14,10;$$

«индуктивное сопротивление трансформатора» [4]:

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}, \quad (63)$$

$$x_T = \sqrt{87,3^2 - 14,1^2} = 86,15.$$

«Согласно [4] для РУ ЦТП переходное сопротивление контактов равно $r_K=0,015$ Ом. Данное сопротивление переводим в относительные единицы» [4]:

$$r_{K*} = \frac{r_K}{r_B} = r_K \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad (64)$$

$$r_{K*} = 0,015 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 93,75.$$

«Суммарное активное сопротивление» [4]:

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{K*}; \quad (65)$$

$$r_{\Sigma} = 14,10 + 93,75 = 107,85;$$

«суммарное индуктивное сопротивление» [4]:

$$x_{\Sigma} = x_T = 86,15; \quad (66)$$

«полное сопротивление» [4]:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{x_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma}^2}, \quad (67)$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{86,15^2 + 107,85^2} = 138,0.$$

«Мощность КЗ в точке короткого замыкания К1» [4]:

$$S_{K31} = S_B / z_{\Sigma}, \quad (68)$$

$$S_{K31} = 1000 / 138,0 = 7,2 \text{ МВА.}$$

«Ток КЗ определяем по выражению» [4]:

$$I_{K1} = \frac{S_{K31}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (69)$$

$$I_{K1} = \frac{7,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 10,5 \text{ кА.}$$

«Ударный ток в точке К1» [4]:

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot k_{уд}; \quad (70)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент, $k_{уд} = 1,6$ » [4]

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot 10,5 \cdot 1,6 = 23,7 \text{ кА.}$$

Так как номинальный ток отключения выбранных автоматических выключателей составляет $I_{откл.ном} = 35 \text{ кА}$, что больше тока КЗ на сборных шинах 0,4 кВ подстанции $I_{K1} = 10,5 \text{ кА}$. А значит, все выбранные автоматические выключатели проходят проверку по электродинамической стойкости.

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР рассчитаны токи КЗ на СШ 0,4 кВ ТП цеха. Данный ток КЗ необходим для выбора автоматических выключателей цеха.

6 Расчет и выбор электрооборудования

6.1 Выбор кабелей цеха

«Распределительная сеть цеха выполнена кабелем марки ВВГнг, проложенным в трубах. Режим работы нейтрали распределительной сети глухозаземленная. Питающая сеть выполнена кабелем марки ВВГнг, проложенным на лотках. Режим работы нейтрали питающей сети глухозаземленная» [8]. Питающие и распределительные сети выполнены по радиальным схемам. От сборных шин ТП по радиальным линиям подключены силовые пункты, от которых по радиальным схемам подключены все электроприемники.

«Сечение кабеля выбирается по длительно допустимому току по условию нагрева» [8].

$$I_p \leq I_{д.д.}, \quad (71)$$

где $I_{д.д.}$ – «длительно допустимый ток кабеля» [8];

I_p – «расчетный ток линии» [8];

$$I_p \leq \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}. \quad (72)$$

так для вальцетокарного станка

$$I_p \leq \frac{44}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 103,0 \text{ А.}$$

Например, для питания вальцетокарного станка (ЭП-1) $I_p = 103,0 \text{ А}$ выбираем кабель ВВГнг – 5х25 с допустимым током $I_{д.д.} = 106 \text{ А}$. Так как

средняя температура окружающей среды на предприятии не измеряется, то будем считать, что она равна нормируемой, и таким образом, $I_{д.д.} = 106 \text{ А}$.

«Выбранные по допустимому длительному току сечения проводников внутрицеховых электрических сетей должны быть проверены на потерю напряжения» [8].

«Потери напряжения во внутрицеховой распределительной сети можно рассчитать методом момента нагрузки по мощности» [8]:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (73)$$

где P – «активная мощность светильников линии, кВт» [8];

l – «длина линии, м» [8];

C – «коэффициент, для трехфазных сетей $C = 77 \text{ кВт} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$ » [8];

F – «сечение кабеля, мм^2 » [8].

Для вальцетокарного станка

$$\Delta U = \frac{44 \cdot 20}{77 \cdot 25} = 0,46 \% < 5\%.$$

Аналогично выбираются и проверяются остальные кабели. «После выбора коммутационных аппаратов выбранные кабели необходимо проверить по отстройке от выбранных аппаратов защиты» [8]. Результаты расчета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Выбор кабельных линий

Узел питания	№ по плану	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	Марка	Кол-во, число жил и сечение	$I_{\text{д.д.}}$, А	Длина, м	ΔU , %
КТП	СП1	241,8	382,0	ВВГнг	5x240	430	20	0,46
СП1	1	44	103,0	ВВГнг	5x25	106	15	0,31
	2	110	170,7	ВВГнг	5x70	210	10	0,28

Продолжение таблицы 16

Узел питания	№ по плану	$P_{ном}$, кВт	$I_{ном}$, А	Марка	Кол-во, число жил и сечение	$I_{д.д}$, А	Длина, м	ΔU , %
СП1	3	102	158,3	ВВГнг	5x50	161	18	0,71
	4	12,5	31,7	ВВГнг	5x4	35	19	0,17
	5	1,75	4,4	ВВГнг	5x2,5	27	26	0,67
	6	31,6	80,1	ВВГнг	5x16	83	12	0,16
КТП	СП2	35,1	65,9	ВВГнг	5x16	83	29	0,84
СП2	7	5,5	12,9	ВВГнг	5x2,5	27	26	0,73
	8	4	10,1	ВВГнг	5x2,5	27	16	0,33
	9	1,5	3,8	ВВГнг	5x2,5	27	21	0,17
	10	9,8	24,8	ВВГнг	5x2,5	27	13	0,66
	11	39,5	92,4	ВВГнг	5x25	106	19	0,39
	12	10	23,4	ВВГнг	5x2,5	27	16	0,83
	13	20	46,8	ВВГнг	5x10	64	18	0,47
КТП	СП3	38,5	68,4	ВВГнг	5x16	83	61	1,92
СП3	14	7	17,7	ВВГнг	5x2,5	27	28	1,00
	15	13	33,0	ВВГнг	5x4	35	13	0,57
	16	24	60,8	ВВГнг	5x10	64	27	0,83
	17	1,9	4,8	ВВГнг	5x2,5	27	10	0,10
	18	5,5	13,9	ВВГнг	5x2,5	27	12	0,35
	19	0,75	1,9	ВВГнг	5x2,5	27	17	0,06
	20	19,5	30,3	ВВГнг	5x4	35	26	1,65
	21	5,5	13,9	ВВГнг	5x2,5	27	14	0,41
	22	9,8	24,8	ВВГнг	5x2,5	27	30	1,51
КТП	СП4	127,3	201,8	ВВГнг	5x70	210	74	1,75
СП4	23	70	108,7	ВВГнг	5x35	129	31	0,81
	24	2,4	6,1	ВВГнг	5x2,5	27	16	0,20
	25	28	71,0	ВВГнг	5x16	83	18	0,40
	26	7	13,3	ВВГнг	5x2,5	27	12	0,45
КТП	СП5	411,6	760,5	ВВГнг	2x(5x240)	860	36	0,40
СП5	27	40,5	94,8	ВВГнг	5x25	106	58	1,22
	28	28,5	72,3	ВВГнг	5x16	83	43	0,99
	29	116	271,5	ВВГнг	5x120	290	20	0,26
	30	11	27,9	ВВГнг	5x4	35	22	0,79
	31	9,45	22,1	ВВГнг	5x2,5	27	38	1,87
	32	46,1	107,9	ВВГнг	5x35	129	24	0,41
	33	10,6	24,8	ВВГнг	5x2,5	27	18	0,99
	34	1,5	3,8	ВВГнг	5x2,5	27	34	0,26
	35	2,8	6,6	ВВГнг	5x2,5	27	34	0,49
	36	7,7	19,5	ВВГнг	5x2,5	27	29	1,17
	37	9,85	23,1	ВВГнг	5x2,5	27	35	1,81
	38	23	58,3	ВВГнг	5x6	42	32	1,61
	39	8,3	21,0	ВВГнг	5x2,5	27	20	0,87
	40	40,1	93,8	ВВГнг	5x25	106	38	0,79
41	12,55	29,4	ВВГнг	5x4	35	26	1,06	

Продолжение таблицы 16

Узел питания	№ по плану	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	Марка	Кол-во, число жил и сечение	$I_{\text{д.д}}$, А	Длина, м	ΔU , %
СП5	42	18,5	46,9	ВВГнг	5x10	64	52	1,25
	43	16,28	41,3	ВВГнг	5x6	42	38	1,34
	44	23,62	59,9	ВВГнг	5x10	64	20	0,61
	45	30,5	77,3	ВВГнг	5x16	83	23	0,57
	46	19,9	50,5	ВВГнг	5x10	64	31	0,80
	47	6,99	17,7	ВВГнг	5x2,5	27	37	1,34
	48	76,42	178,8	ВВГнг	5x70	210	21	0,30
	49	6,64	16,8	ВВГнг	5x2,5	27	29	1,00
	50	22	55,8	ВВГнг	5x10	64	31	0,89
	51	36,7	93,0	ВВГнг	5x25	106	25	0,48
	52	102	158,3	ВВГнг	5x50	161	15	0,40
	53	110	418,3	ВВГнг	5x240	430	43	0,26
	54	9,8	24,8	ВВГнг	5x2,5	27	34	1,72
	55	11	27,9	ВВГнг	5x4	35	31	1,09
	56	73,1	171,1	ВВГнг	5x70	210	32	0,43
	57	37	86,6	ВВГнг	5x25	106	21	0,41
	58	70,1	164,0	ВВГнг	5x70	210	23	0,29
	59	3,8	9,6	ВВГнг	5x2,5	27	49	0,96
	61	12	30,4	ВВГнг	5x4	35	43	1,68
	62	11,125	28,2	ВВГнг	5x4	35	39	1,42
63	11,11	28,2	ВВГнг	5x4	35	36	1,31	
64	20,7	39,4	ВВГнг	5x6	42	60	2,71	
65	55	104,6	ВВГнг	5x25	106	48	0,95	
66	81,5	155,0	ВВГнг	5x50	161	73	1,54	

Электроприемник, до которого потери напряжения максимальные – это электроприемник 64 - кран мостовой $Q = 5$ т. Потери до него от СП-6 составляют $\Delta U_{\text{СП6-64}} = 2,71$ %. Тогда потери от КТП до данного электроприемника составляют

$$\Delta U_{\text{КТП-64}} = \Delta U_{\text{КТП-СП6}} + \Delta U_{\text{СП6-64}}; \quad (74)$$

$$\Delta U_{\text{КТП-64}} = 0,40 + 2,71 = 3,11 \% < 5 \%,$$

а значит, потери напряжения до данного электроприемника удовлетворяют требованиям.

Так как потери напряжения до остальных электроприемников меньше, чем потери до электроприемника 64 - крана мостового $Q = 5$ т, то потери напряжения всей внутрицеховой сети электроснабжения удовлетворяют требованиям.

6.2 Выбор автоматических выключателей и проверка выбранных кабелей

«Автоматические выключатели напряжением до 1 кВ выбираются по следующим условиям» [25]:

– «по номинальному напряжению» [25]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст.}}; \quad (75)$$

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст.}} = 0,38 \text{ кВ};$$

– «по номинальному току теплового расцепителя» [25]:

$$I_{\text{т.р.}} \geq k_{\text{расц.}} \cdot I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (76)$$

где $k_{\text{расц.}}$ – «коэффициент теплового расцепителя, для нерегулируемого теплового расцепителя $k_{\text{расц.}} = 1,15$, для группы электроприемников $k_{\text{расц.}} = 1,1$ » [25];

для вальцетокарного станка:

$$I_{\text{т.р.}} \geq 1,15 \cdot 103,0 = 108,5 \text{ А};$$

– «по номинальному току электромагнитного расцепителя» [25];

– «для одиночного электроприемника» [25]:

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пуск}}; \quad (77)$$

где $I_{\text{пуск}}$ – «пусковой ток» [25],

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_{\text{ном}}; \quad (78)$$

– «для группы электроприемников» [25]

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}; \quad (79)$$

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot 103,0 = 515,0 \text{ А};$$

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,2 \cdot 515,0 = 618,0 \text{ А}.$$

– «по номинальному току автоматического выключателя» [25]

$$I_{\text{ном.АВ.}} \geq I_{\text{р}}; \quad (80)$$

где $I_{\text{р}}$ – «расчетный ток, А» [25].

«Расчетный ток определяется в зависимости от числа электроприемников, получающих питание по линии» [25].

– «для одиночного электроприемника» [25]

$$I_{\text{р.}} = I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (81)$$

– «для группы электроприемников» [25]:

$$I_{\text{р.}} = \sum I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (82)$$

$$I_p = 103,0 \text{ А.}$$

«Принимаем к установке автоматический выключатель типа ВА51-33 $I_{ном.ав} = 160 \text{ А}$, $I_{тр.} = 125 \text{ А}$ [15]. Аналогично выбираются остальные автоматические выключатели» [15]. Результаты расчетов даны в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты выбора автоматических выключателей

Узел питания	Электроприемник					Автоматический выключатель				
	№ по плану	$P_{ном,}$ кВт	$I_{ном,}$ А	$I_{пуск,}$ А	$k_{расц}$	Тип	$I_{ном.ав,}$ А	$I_{тр,}$ А	$I_{у.э.р.,}$ А	
Вводной АВ КТП 0,4 кВ		630 кВА	1274,6		1,1	ВА51-43	1600	1600	19200	
КТП	СП-1	241,8	382,0	1287,9	1,1	ВА51-39	630	500	6000	
СП1	1	44	103,0	515	1,15	ВА51-33	160	125	1500	
	2	110	170,7	854		ВА51-35	250	200	2400	
	3	102	158,3	792		ВА51-35	250	200	2400	
	4	12,5	31,7	158					40	480
	5	1,75	4,4	22					10	120
	6	31,6	80,1	401					100	1200
КТП	СП-2	35,1	65,9	602,3	1,1	ВА51-31	100	80	960	
СП2	7	5,5	12,9	64	16			192		
	8	4	10,1	51	16			192		
	9	1,5	3,8	19	10			120		
	10	9,8	24,8	124	31,5			378		
	11	39,5	92,4	462	ВА51-33			160	125	1500
	12	10	23,4	117				31,5	378	
КТП	СП-3	38,5	68,4	465,7	1,1	ВА51-31	100	63	756	
СП-3	14	7	17,7	89	100			960		
	15	13	33,0	165	25			300		
	16	24	60,8	304	40			480		
	17	1,9	4,8	24	80			960		
СП3	18	5,5	13,9	70	10			120		
	19	0,75	1,9	10	16			192		
	20	19,5	30,3	151	10			120		
	21	5,5	13,9	70	40			480		
	22	9,8	24,8	124	16			192		
КТП	СП-4	127,3	201,8	647,2	1,1	ВА51-35	250	250	3000	
СП-4	23	70	108,7	543	1,15	ВА51-33	160	125	1500	
СП-4	24	2,4	6,1	30	1,15	ВА51-31	100	10	120	

Продолжение таблицы 17

Узел	Электроприемник					Автоматический выключатель			
------	-----------------	--	--	--	--	----------------------------	--	--	--

питания	№ по плану	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	$k_{\text{расц}}$	Тип	$I_{\text{ном.ав}}$, А	$I_{\text{тр}}$, А	$I_{\text{у.э.р.}}$, А
СП-4	25	28	71,0	355	1,15	ВА51-31	100	100	1200
	26	7	13,3	67	1,15	ВА51-31	100	16	192
КТП	СП-5	411,6	760,5	5015,8	1,1	ВА51-41	1000	1000	12000
СП-5	27	40,5	94,8	474	1,15	ВА51-33	160	125	1500
	28	28,5	72,3	361		ВА51-31	100	100	1200
	29	116	271,5	1357		ВА51-37	400	315	3780
	30	11	27,9	139		ВА51-31	100	40	480
	31	9,45	22,1	111		ВА51-31	100	31,5	378
	32	46,1	107,9	539		ВА51-33	160	125	1500
	33	10,6	24,8	124		ВА51-31	100	31,5	378
	34	1,5	3,8	19				10	120
	35	2,8	6,6	33				10	120
	36	7,7	19,5	98				25	300
	37	9,85	23,1	115				31,5	378
	38	23	58,3	292				80	960
	39	8,3	21,0	105				25	300
	40	40,1	93,8	469				ВА51-33	160
	41	12,55	29,4	147		ВА51-31	100	40	480
	42	18,5	46,9	235				63	756
	43	16,28	41,3	206				50	600
	44	23,62	59,9	299				80	960
	45	30,5	77,3	387				100	1200
	46	19,9	50,5	252				63	756
	47	6,99	17,7	89				25	300
	48	76,42	178,8	894				ВА51-35	250
	49	6,64	16,8	84		ВА51-31	100	20	240
	50	22	55,8	279		ВА51-31	100	80	960
	51	36,7	93,0	465		ВА51-33	160	125	1500
	52	102	158,3	792		ВА51-35	250	200	2400
	53	110	418,3	2092		ВА51-39	630	500	6000
	54	9,8	24,8	124		ВА51-31	100	31,5	378
	55	11	27,9	139		ВА51-31	100	40	480
	56	73,1	171,1	855		ВА51-35	250	200	2400
	57	37	86,6	433		ВА51-31	100	100	1200
	58	70,1	164,0	820		ВА51-35	250	200	2400
59	3,8	9,6	48	ВА51-31	100	16	192		
61	12	30,4	152			40	480		
62	11,125	28,2	141			40	480		
63	11,11	28,2	141			40	480		
64	20,7	39,4	197			50	600		
65	55	104,6	523			ВА51-33	160	125	1500
66	81,5	155,0	775	ВА51-35	250	200	2400		

«После выбора автоматического выключателя необходимо проверить выбранные ранее кабельные линии по условию отстройки от выбранного

аппарата защиты по условию» [25]:

$$I_{д.д.} \geq I_{т.р.}; \quad (83)$$

для вальцетокарного станка выбран кабель ВВГнг-5х25 с длительным допустимым током $I_{д.д.} = 106$ А, тогда

$$I_{д.д.} = 106 \text{ А} \geq I_{т.р.} = 125 \text{ А} - \text{неверно,}$$

а значит необходимо увеличить сечение выбранного кабеля до ВВГнг-5х35 с длительным допустимым током $I_{д.д.} = 129$ А, тогда

$$I_{д.д.} = 129 \text{ А} \geq I_{т.р.} = 125 \text{ А} - \text{верно.}$$

Увеличенные сечения кабелей приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Увеличенные сечения кабелей

Узел питания	Электроприемник					Увеличенный кабель			
	№ по плану	$P_{ном},$ кВт	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А	$k_{расц}$	Марка	Кол-во, число жил и сечение	$I_{д.д.},$ А	$\Delta U,$ м
КТП	СП-1	241,8	382,0	1287,9	1,1	ВВГнг	2х(5х120)	580	0,16
СП1	1	44	103,0	515	1,15	ВВГнг	5х35	129	0,33
	3	102	158,3	792	1,15	ВВГнг	5х70	210	0,20
	4	12,5	31,7	158	1,15	ВВГнг	5х6	42	0,48
	6	31,6	80,1	401	1,15	ВВГнг	5х25	106	0,43
СП2	10	9,8	24,8	124	1,15	ВВГнг	5х4	35	0,41
	11	39,5	92,4	462	1,15	ВВГнг	5х35	129	0,28
	12	10	23,4	117	1,15	ВВГнг	5х4	35	0,52
КТП	СП-3	38,5	68,4	465,7	1,1	ВВГнг	5х25	106	1,23
СП-3	15	13	33,0	165	1,15	ВВГнг	5х6	42	0,38
	16	24	60,8	304	1,15	ВВГнг	5х16	80	0,52
	20	19,5	30,3	151	1,15	ВВГнг	5х6	42	1,10
	22	9,8	24,8	124	1,15	ВВГнг	5х4	35	0,94

Продолжение таблицы 18

Узел питания	Электроприемник					Увеличенный кабель			
	№ по плану	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	$k_{\text{расц}}$	Марка	Кол-во, число жил и сечение	$I_{\text{д.л.}}$, А	ΔU , м
КТП	СП-4	127,3	201,8	647,2	1,1	ВВГнгГ	5x120	290	1,02
СП-4	25	28	71,0	355	1,15	ВВГнгГ	5x25	106	0,26
КТП	СП-5	411,6	760,5	5015,8	1,1	ВВГнгГ	3x(5x240)	1290	0,27
СП-5	27	40,5	94,8	474	1,15	ВВГнгГ	5x35	129	0,87
	28	28,5	72,3	361	1,15	ВВГнгГ	5x25	106	0,64
	29	116	271,5	1357	1,15	ВВГнгГ	5x150	330	0,20
	30	11	27,9	139	1,15	ВВГнгГ	5x6	42	0,52
	31	9,45	22,1	111	1,15	ВВГнгГ	5x4	35	1,17
	33	10,6	24,8	124	1,15	ВВГнгГ	5x4	35	0,62
	37	9,85	23,1	115	1,15	ВВГнгГ	5x4	35	1,13
	38	23	58,3	292	1,15	ВВГнгГ	5x10	83	0,97
	40	40,1	93,8	469	1,15	ВВГнгГ	5x35	129	0,57
	41	12,55	29,4	147	1,15	ВВГнгГ	5x6	42	0,71
	43	16,28	41,3	206	1,15	ВВГнгГ	5x10	64	0,80
	44	23,62	59,9	299	1,15	ВВГнгГ	5x16	83	0,38
	45	30,5	77,3	387	1,15	ВВГнгГ	5x25	106	0,36
	48	76,42	178,8	894	1,15	ВВГнгГ	5x120	290	0,17
	50	22	55,8	279	1,15	ВВГнгГ	5x16	83	0,55
	51	36,7	93,0	465	1,15	ВВГнгГ	5x35	129	0,34
	52	102	158,3	792	1,15	ВВГнгГ	5x70	210	0,28
	53	110	418,3	2092	1,15	ВВГнгГ	2x(5x120)	580	0,26
	54	9,8	24,8	124	1,15	ВВГнгГ	5x4	35	1,08
	55	11	27,9	139	1,15	ВВГнгГ	5x6	42	0,73
61	12	30,4	152	1,15	ВВГнгГ	5x6	42	1,12	
62	11,125	28,2	141	1,15	ВВГнгГ	5x6	42	0,94	
63	11,11	28,2	141	1,15	ВВГнгГ	5x6	42	0,87	
64	20,7	39,4	197	1,15	ВВГнгГ	5x10	64	1,62	
65	55	104,6	523	1,15	ВВГнгГ	5x35	129	0,98	
66	81,5	155,0	775	1,15	ВВГнгГ	5x70	210	1,10	

Выводы по разделу.

В шестом разделе ВКР проведен расчет и выбор оборудования ремонтного цеха. Выбраны автоматические выключатели в цехе, а также кабельные линии цеха.

7 Расчет заземления

«На трансформаторной подстанции для обеспечения нормальной работы электроустановок, а также для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала выполняется заземление, которое включает в себя наружный контур заземления и заземляющие проводники, прокладываемые внутри помещения и по территории ТП. Заземление ТП выполняет функции рабочего заземления, необходимого по условиям эксплуатации, и защитного заземления, которое обеспечивает защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Для обеспечения данных функций все металлоконструкции и металлические части электрооборудования соединяют с заземлением» [24].

«Заземляющие устройства и защитные проводники должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 50571.5.54-2013» [5]. «Все соединения выполняются сваркой. Общее сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом для КТП» [10].

«Тип системы заземления – *TN-C-S*» [10].

«Заземление фланцев проходных изоляторов, опорных металлических конструкций и корпусов аппаратов, жалюзийных решеток выполняется по месту полосовой сталью прямоугольного сечения 4×25 мм.

Заземление металлических рам дверей и ворот осуществляется приваркой их к внутреннему контуру заземления полосовой сталью прямоугольного сечения 4×25 мм.

Грунт – песок, $\rho = 1,5 \cdot 10^4$ Ом/см, принимаем $R_3 = 4$ Ом» [10].

«Контур заземления размещаем в ряд с расстоянием между заземлителями равно 5,75 м и вертикальными заземлителями длиной 5 м» [24].

«В качестве вертикальных заземлителей принимаем стержни из круглой стали диаметром 16 мм, а горизонтального – полосовую сталь 40×4 мм²» [24].

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя зависит от нескольких факторов, включая геологические условия, размеры заземлителя и

его глубину в земле. «Сопротивление одиночного вертикального заземлителя равно» [24]:

$$R_0 = \frac{0,16\rho}{l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right); \quad (84)$$

$$R_0 = \frac{0,16 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{500} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 500}{1,2} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 250 + 500}{4 \cdot 250 - 500} \right) = 32,8 \text{ Ом.}$$

«Принимается количество стержней 8 шт.» [24].

«Сопротивление всех вертикальных заземлителей равно» [24]:

$$R_B = \frac{R_0}{n \cdot \eta_c}; \quad (85)$$

где $\eta_c = 0,73$

$$R_B = \frac{32,8}{8 \cdot 0,73} = 5,6 \text{ Ом.}$$

«Длина горизонтального заземлителя» [24]

$$L = 5,325 \cdot 8 + 2 \cdot 5 = 36,6 \text{ м,}$$

«принимаем глубину прокладки $h = 70$ см, ширину заземлителя $b = 4$ см» [24].

«Сопротивление горизонтального заземлителя равно» [24]:

$$R_{г.з.} = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{h \cdot b}; \quad (86)$$

$$R_{г.з.} = \frac{0,16 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{5260} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5260^2}{70 \cdot 4} = 5,56 \text{ Ом.}$$

«Действительное сопротивление горизонтального заземлителя равно» [24]:

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma.з.}}{\eta_c}; \quad (87)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{5,56}{0,76} = 7,6 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление всего заземляющего устройства» [24]:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}}; \quad (88)$$

$$R_3 = \frac{5,6 \cdot 7,6}{5,6 + 7,6} = 3,2 < 4 \text{ Ом.}$$

«Из этого следует, что число вертикальных стержней выбрано верно» [24]. Проведенный расчет системы заземления КТП подтверждают, что она соответствует требованиям ПУЭ [10] и обеспечивает безопасность труда работников. Однако, необходимо подчеркнуть, что поддержание безопасности труда должно быть постоянным приоритетом, и периодическая проверка и обслуживание заземления КТП должны проводиться для обеспечения его надлежащей работы и безопасности.

Выводы по разделу.

В седьмом разделе ВКР проведен расчет заземления КТП цеха. Рассчитанный заземлитель удовлетворяет требованиям ПУЭ и обеспечивает безопасность труда работников.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы электроснабжения ремонтного цеха филиала АО «Связьтранснефть» - «Средневожское ПТУС».

Рассмотрены теоретические аспекты проектирования СЭС производственных цехов, дано краткое описание технологического процесса цеха. Приведена характеристика условий среды и надежности питания для всех отделений цеха. Представлен план производственного цеха и ведомость электрооборудования, которое планируется установить в данном цехе.

Также проведен расчет системы электроосвещения производственного цеха. Для вальцетокарного, слесарного, термического и станочного отделений, участка плазменной резки и КТП используются светильники со светодиодными лампами. Для установки выбраны светильники L-industry 230 фирмы LEDEL. Для использования в мужском и женском бытовых помещениях, в инструментальной кладовой, комнате мастеров и бухгалтерии применяем светильники L-office 55. Точечным методом рассчитано освещение в помещении КТП. К установке приняты 6 светильников типа ЛСП02 с лампами ЛБ80. Для обеспечения эвакуации персонала при ЧС необходимо предусмотреть эвакуационное освещение и светильники «Выход», поскольку возможно нахождение более 20 человек в помещении станочного отделения. Эвакуационное освещение выполняется в проходе, при прекращении питания от основных трансформаторов, аварийное освещение автоматически переключается на резервный источник (аккумуляторная батарея). Для эвакуационного освещения применяются светильников L-industry 230 из числа рассчитанных для рабочего освещения. Данные светильники подключаются также от щита ЩО. Для работы в случае потери питания от основного источника каждый светильник снабжается встроенным аккумулятором.

Далее проведен расчет осветительной нагрузки и электротехнический расчет освещения цеха. Все светильники цеха запитаны от шкафа ЩО,

который подключается к трансформаторной подстанции. Питание электроосвещения вальцетокарного, слесарного и станочного отделений выполняется трехфазным и управляется магнитными пускателями, установленными под шкафом ЩО. Электроосвещение станочного отделения выполнено пятью различными группами. Электроосвещение остальных помещений выполнено однофазным. Светильники включаются выключателями, установленными на входе в соответствующие помещения. Кабели прокладываются в металлорукаве. Для всех групп осветительной нагрузки цеха выбраны кабельные линии.

Рассчитаны электрические нагрузки силовых электроприемников.

Для электроприёмников II и III категории надёжности принята к установке двухтрансформаторная подстанция 2КТП-630/10 с масляными трансформаторами ТМГ-630/10. На первой секции шин 0,4 кВ ТП устанавливается конденсаторная установка КРМ-0,38-100-25-УЗ мощностью $Q_{ку} = 25$ квар. На второй секции шин 0,4 кВ ТП устанавливается конденсаторная установка КРМ-0,38-200-25-УЗ мощностью $Q_{ку} = 125$ квар.

Рассмотрена компоновка комплектной трансформаторной подстанции. Выбраны и проверены коммутационные аппараты на вводе 10 кВ ТП, а именно выключатели нагрузки ВНРп-10/400 УЗ и высоковольтные предохранители ПКТ103-10-63/40.

Выбрана питающая линия 10 кВ до цеха АПвП-10-3x150. Питающие и распределительные сети выполнены по радиальным схемам. От сборных шин ТП по радиальным линиям подключены силовые пункты, от которых по радиальным схемам подключены все электроприемники.

Для защиты кабельных линий и силового электрооборудования цеха выбраны автоматические выключатели ВА51 различных номиналов.

Рассчитан контур заземления для цеховой трансформаторной подстанции.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Беляков В. А. Проектирование и эксплуатация электроснабжения промышленных предприятий. М.: Издательство СПбГУ. 2017. 360 с.
2. Бородин А. А., Гаврилов А. С. Энергообеспечение промышленных предприятий. М. : Энергоатомиздат. 2015. 304 с.
3. Горбунов И. В. Расчет и проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 2012. 420 с.
4. ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ». // Консультант плюс: справочно-правовая система.
5. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов» // Консультант плюс: справочно-правовая система.
6. Колосок А. А. Электроснабжение предприятий. М. : Юрайт, 2013. 192 с.
7. Кравченко Ю. А., Садовский А. А. Основы электрического освещения. М. : Энергия. 2010. 320 с.
8. Маркин В. И., Копосов В. М. Электроснабжение. Основы проектирования. М. : Энергия. 2016. 672 с.
9. Общие сведения о предприятии АО «Связьтранснефть» - Средневожское ПТУС». Режим доступа: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiArs27-6b9AhVrnpUCHeVvCo8QFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fsvyaz.transneft.ru%2Fabout%2Ffilials%2Fsvptus&usg=AOvVaw2BseZPL5M4qTRVjC3YHcR>
А (Дата обращения 10.02.2023 г.)
10. Правила устройства электроустановок. СПб.: Издательство ДЕАН, 2012. 928 с.

11. Проектирование систем электрического освещения/ Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. кол.авт. Белорусский национальный технический университет. Минск: БНТУ. 2008. 132 с.

12. Руководящий технический материал. Указание по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92. М. : ВНИПИ Тяжпромэлектропроект. 1992.

13. Сайт завода «Контактор». Режим доступа: <http://www.kontaktor.ru> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

14. Сайт Вологодского Электромеханического завода. Режим доступа: <http://www.vemz.net> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

15. Сайт Курского Электроаппаратного завода. Режим доступа: <https://keaz.ru/> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

16. Степанов В. М., Косырихин А. С. Системы электроснабжения промышленных предприятий. ТулГУ, Ин-т высокоточных систем им. В. П. Грязева, Каф. «Электроэнергетика» .— Тула : Изд-во ТулГУ. 2013. 368 с.

17. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» // Консультант плюс: справочно-правовая система.

18. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* // Консультант плюс: справочно-правовая система.

19. Технические характеристики светодиодных светильников, производства компании «Ледел» и их стоимость. Режим доступа: <http://www.ledel.ru> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

20. Технические характеристики силовых трансформаторов, производства электротехнического завода имени В.И. Козлова. Режим доступа: <http://metz.by> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

21. Технические характеристики компенсирующих устройств. Режим доступа: <http://slavenergo.ru> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

22. Технические характеристики и стоимость кабелей, производства

«Камкабель». Режим доступа: <http://www.kamkabel.ru> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

23. Шлейников В.Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия. Оренбург: ОГУ. 2012. 115 с

24. Степанов В. М., Косырихин В.С. Электроэнергетические системы и электрические сети. ТулГУ, Ин-т высокоточ. систем им. В. П. Грязева.— Тула : Изд-во ТулГУ. 2013. 229 с.

25. Saccomanno F. Electric Power Systems: Analysis and Control. New York.: Springer. 2019. 608 p.

26. Meier A. Electric Power Systems: A Conceptual Introduction. Hoboken. : Wiley. 2018. 736 p.

27. J. Glover D., Sarma M. S., Overbye T. J. Power System Analysis and Design. Boston. : Cengage Learning. 2017. 928 p.

28. Sivanagaraju S., Bhuvanewari G., Kothari D. P. Power System Operation and Control Boca Raton. : CRC Press. 2016. 462 p.

29. Short T. A. Electric Power Distribution Handbook. Boca Raton. : CRC Press. 2014. 928 p.