

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 «Реконструкция системы электроснабжения механического цеха»

Обучающийся

А.Ю. Тютюнов
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

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

Консультант

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

Тольятти 2023

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведена разработка проекта реконструкции системы электроснабжения механического цеха.

Ключевым вопросом выпускной работы является разработка энергоэффективной системы электроснабжения механического цеха, с оптимизированными параметрами систем электроснабжения за счет правильного выбора напряжений, определения электрических нагрузок и требований к бесперебойности электроснабжения.

Целью бакалаврской работы является реконструкция системы электроснабжения механического цеха. Для этого необходимо произвести расчёты силовой и осветительной нагрузки потребителей цеха, устройств компенсации реактивной мощности с последующим пересчётом расчётной нагрузки, в результате чего повысится коэффициент мощности, уменьшится потребление полной мощности и расчётный ток, выбрать силовые трансформаторы, силовые кабели для внутрицеховой сети, вводной силовой кабель, проверить кабели по потерям напряжения, механической прочности электрических сетей, надежности срабатывания защитной аппаратуры.

Данная работа актуальна не только для предприятий механической обработки изделий, но и других аналогичных по назначению объектов.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 51 страница, дополняемую 5 таблицами, 1 рисунком, а также 6 чертежами формата А1.

Abstract

In the final qualifying work, the development of a project for the reconstruction of the power supply system of the mechanical shop was carried out.

The key issue of the final work is the development of an energy-efficient power supply system for a machine shop, with optimized parameters of power supply systems due to the correct choice of voltages, determination of electrical loads and requirements for uninterrupted power supply.

The purpose of the bachelor's work is the reconstruction of the power supply system of the mechanical shop. To do this, it is necessary to calculate the power and lighting load of shop consumers, reactive power compensation devices, followed by recalculation of the design load, as a result of which the power factor will increase, the total power consumption and the rated current will decrease, select power transformers, power cables for the shop floor network, input power cable, check cables for voltage losses, mechanical strength of electrical networks, reliability of operation of protective equipment.

This work is relevant not only for enterprises of mechanical processing of products, but also for other objects similar in purpose.

This WRC contains an explanatory note of 51 pages, supplemented by 5 tables, 1 figure, and 6 A1 format drawings.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ электрооборудования	7
1.1 Характеристика объекта проектирования.....	7
1.2 Анализ существующей схемы электроснабжения механического цеха.....	9
2 Реконструкция электрической части цеха.....	12
2.1 Расчет осветительной сети.....	12
2.2 Расчет силовых нагрузок	21
2.3 Выбор компенсирующих устройств	28
2.4 Расчет и выбор силовых трансформаторов.....	29
2.5 Расчет и выбор питающей линии	30
2.6 Расчет и выбор оборудования ТП на стороне 0,4 кВ.....	35
2.6.1 Расчет и выбор автоматических выключателей	36
2.6.2 Расчет и выбор трансформаторов тока	38
2.6.3 Расчет и выбор пускозащитной аппаратуры.....	39
2.7 Разработка электрической схемы управления для радиально-сверлильного станка	41
3 Охрана труда и техника безопасности при выполнении работ в механическом цехе	44
Заключение	47
Список используемых источников.....	48

Введение

Первое место по количеству потребляемого электричества принадлежит промышленности, которая потребляет более 60% вырабатываемой в мире электрической энергии. За счет нее вращаются электроприводы огромного количества агрегатов и станков, происходит освещение помещений, производится автоматическое управление производственными процессами и др. Существуют технологии, в которых электроэнергия является незаменимым энергоносителем.

«В связи с ускорением научно-технологического прогресса потребление электроэнергии в промышленности значительно увеличилось благодаря созданию гибких автоматизированных производств.

Энергетической программой предусмотрено создание мощных территориально-производственных комплексов (ТПК) в тех регионах, где сосредоточены крупные запасы минеральных и водных ресурсов. Такие комплексы добывают, перерабатывают, транспортируют энергоресурсы, используя в своей деятельности различные электроустановки по производству, передаче и распределению электрической и тепловой энергии» [21].

«Современная энергетика характеризуется нарастающей централизацией производства и распределения электроэнергии. Энергетические системы образуют несколько крупных энергообъединений.

Объединение региональных ОЭС в более мощную систему образовало Единую энергетическую систему (ЕЭС) Российской Федерации. ЕЭС позволило снизить необходимую генераторную мощность по сравнению с изолированно работающими электростанциями и осуществлять более оперативное управление потоками энергетических мощностей с Востока, где находится около 80% топливных и гидроресурсов, на Запад страны, так как в европейской части страны размещается 80% всех потребителей энергии. Для электрической связи

между ОЭС служат сверхдальние линии электропередач напряжением 330; 500; 750 и 1150 кВ и выше» [23].

Основной организацией, занимающейся строительством, обслуживанием и ремонтом электрических сетей на территории России является группа компаний «Россети». Под контролем данной компании находятся: 548000 подстанций и трансформаторных подстанций, 2,45 млн. км линий электропередач, суммарная трансформаторная мощность 826 ГВА.

Важную роль в поддержании работоспособности электрических сетей играют механические цеха, в которых изготавливаются и восстанавливаются разнообразные детали, применяющиеся на подстанциях и распределительных сетях. Поэтому тема выпускной квалификационной работы, направленная на повышение эффективности работы системы электроснабжения механического цеха, является актуальной.

Цель работы – разработать проект реконструкции системы электроснабжения механического цеха.

Объектом исследования является механический цех, входящий в состав филиала ремонтных подразделений ПАО «Астраханьэнерго» ООО «Астраханьэлектросетьремонт», 100% дочернего общества ОАО «Астраханьэнерго».

Предмет исследования – система электроснабжения механического цеха.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решение ряда задач: провести анализ существующей системы электроснабжения механического цеха, выполнить расчет силовых нагрузок и осветительной сети, подобрать силовое, распределительное и защитное электрооборудование, проверить его по критериям соответствия.

Решение поставленных задач позволит достичь цели работы и обеспечить надежное электроснабжение электроприемников механического цеха.

1 Анализ электрооборудования

1.1 Характеристика объекта проектирования

Механический цех (МЦ) используется для подготовки изделий из металла, входящих в состав электрических машин и электрических аппаратов, с последующим их применением в качестве запасных частей и подменного ремонтного фонда.

МЦ является одним из ремонтных отделений, основная деятельность которого направлена на ремонт электрооборудования. Основным структурным компонентом механического цеха является станочный парк, в котором применяется штатное оборудование: строгальные, фрезерные, анодно-механические, токарные станки и другое оборудование. В цехе также расположены:

- трансформаторная подстанция;
- вентиляторная;
- инструментальная кладовая;
- складские помещения различного назначения;
- помещения для бытовых нужд и пр.

В цехе могут производиться валы различного размера, фланцы, штанги, корпусные детали и т.д.

МЦ снабжается ресурсами от подстанции глубокого ввода (ПГВ). От ПГВ до цеховой ТП – 500 метров. Напряжение на ПГВ – 10 кВ. Количество рабочих смен – 2. Нагрузки цеха относятся ко 2 и 3 категориям надежности. Грунт под помещением МЦ – песок со средней температурой плюс 20°С. Каркас основы зданий смонтирован из моносекций длиной 8 и 9 метров каждый. Размеры помещения $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 9$ м. Вспомогательные помещения расположены на двух этажах с высотой потолка 4 метра каждый.

Перечень оборудования МЦ дан в таблице 1. Мощность электропотребления ($P_{эл}$) в третьем столбце таблицы 1 приведена для одного потребителя [6]. Расположение основных электроприемников показано в графической части ВКР.

Таблица 1 – Перечень электропотребителей МЦ

Наименование оборудования	Кол-во	Мощность Р, кВт	Тип электродвигателя	Частота вращения, об/мин	Примечание
Манипуляторы электрические	4	3,2	Комплект	-	Многодвигательный
Точильно-шлифовальные станки	2	2	Комплект	-	Многодвигательный
Токарные станки	4	13	4A160S2 У3	2940	Однодвигательный
Слитко-обдирочные станки	11	3	Комплект	-	Многодвигательный
Горизонтально-фрезерные станки	2	7	Комплект	-	Многодвигательный
Краны мостовые	2	36	Комплект	-	Многодвигательный
Продольно-строгальные станки	2	10	Комплект	-	Многодвигательный
Настольно-сверлильные станки	4	2,2	4A80B2У 3	2850	Однодвигательный
Анодно-механические станки	3	75	4A250S2 У3	2960	Однодвигательный
Тельфер	1	5	4A100L2 У3	2880	Однодвигательный
Токарные полуавтоматы	4	10	Комплект	-	Многодвигательный
Вентиляторы	2	4,5	4A100L2 У3	2880	Однодвигательный

1.2 Анализ существующей схемы электроснабжения механического цеха

В МЦ внутреннее электроснабжение трехфазное, переменного тока, уровнем $U = 380 \text{ В}$ с частотой $f = 50 \text{ Гц}$. «Правила устройства электроустановок соблюдаются во всем, а именно:

- потерях напряжения;
- механической прочности электрических сетей;
- надежности срабатывания защитной аппаратуры» [22].

«Электроприемники запитаны от силовых распределительных пунктов, расположенных в центрах нагрузок отдельных участков цеха, с учетом экономической разводки электросетей питающих электроприемники» [26].

На отходящих линиях РП нагрузки распределены равномерно. На это указывают автоматические выключатели с равными уставками.

Для ПУЭ допустимая потеря в проводах и кабелях $\Delta U \leq 5\%$. С учетом этого оптимизирована по отдельным линиям цеха их длина. На примерной однолинейной схеме (рисунок 1) показаны распределительные (до ЭП) и подающие сети (от ТП до РП), а также до самого удаленного ЭП (М2).

Климат в цехе категории У2, шкафы РП применены для данного исполнения. Линии электропередач проложены по стенам, в каналах, в трубах. Марка проводов – ПВ, кабелей – ВВГ. Система 4-х проводная, с глухозаземленной нейтралью. Электрические сети выполнены в основном радиально.

Однолинейная схема (рисунок 1) составлена согласно чертежей расположения силовых линий цеха [7], где силовые пункты располагаются в территориальных центрах нагрузок, а также с учетом категорий надёжности электрооборудования и предусмотрены дополнительные линии для питания

резервной нагрузки при дальнейшей модернизации предприятия при расширении производственной деятельности.

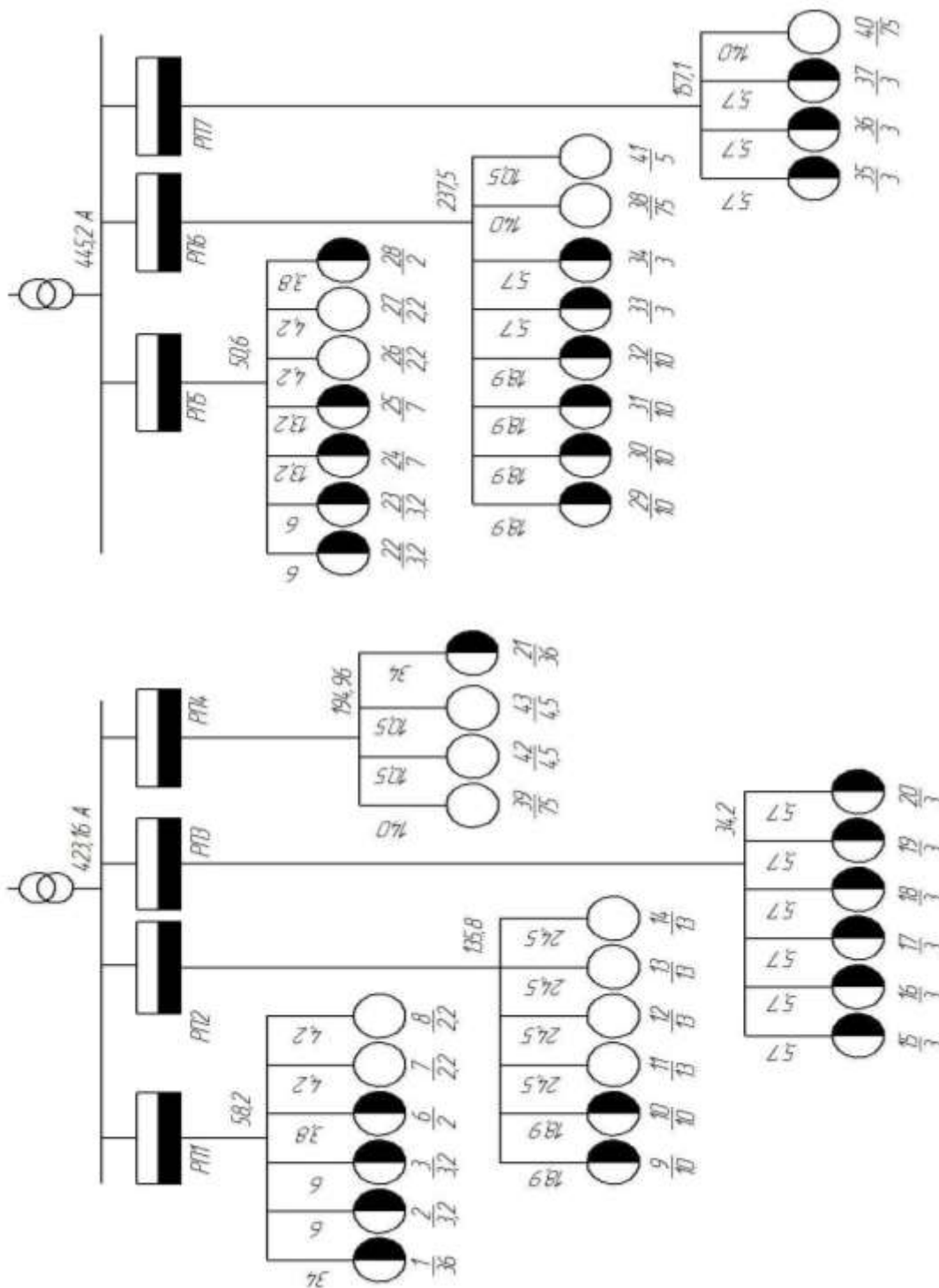


Рисунок 1 – Примерная схема электроснабжения цеха

Например, «для распределительного пункта РП-1 – это силовой ящик ПР-11-3020 с 6 отходящими автоматическими выключателями АЕ2036 с $I_{ном} = 25$ А; ВА51Г31 с $I_{ном} = 100$ А и с вводным автоматом типа ВА51Г31 с $I_{ном} = 100$ А.

Для распределительного пункта РП-2 – это силовой ящик ПР-11-3018 с 6 отходящими автоматическими выключателями типа АЕ2036 с $I_{ном} = 25$ А и с вводным автоматом типа ВА51Г33 с $I_{ном} = 160$ А» [5].

Выводы по разделу 1.

Расширение электрического хозяйства ПАО «Астраханьэнерго» (ввод новых и реконструкция действующих трансформаторных подстанций, линий электропередач, подключение новых потребителей) потребовало от ООО «Астраханьэлектросетьремонт» также расширить свои ремонтные возможности, в связи с чем произошло расширение технологической базы механического цеха, что потребовало реконструкции его системы электроснабжения.

В данном разделе была рассмотрена структура и система электроснабжения механического цеха, входящего в состав ООО «Астраханьэлектросетьремонт». Рассмотрено основное электрооборудование и описаны их электрические характеристики.

2 Реконструкция электрической части цеха

2.1 Расчет осветительной сети

«Освещение производственных помещений должно осуществляться в основном газоразрядными, люминесцентными лампами типа (ЛБ и ДРЛ.) Лампы накаливания применяются для освещения отдельных, вспомогательных помещений. Хорошими характеристиками обладают осветительные приборы типов – (ЛСП-02, РСП-05, НСП-21, НСП-11). При выборе осветительных приборов необходимо учитывать их светотехнические и экономические показатели:

- распределение светового потока в нижнюю полусферу, характеризуемой кривой силы света (КСС) и типовыми кривыми Д1 и Д2;
- конструктивно-светотехническое устройство и КПД светильника;
- исполнение с учетом воздействия окружающей среды» [1].

В данной работе выполнен расчет двумя способами:

- методом коэффициента использования светового потока;
- способом удельной мощности.

Светотехнический расчет помещения №3 «Комната отдыха» производится с применением метода коэффициента использования светового потока.

Исходные данные для расчета освещения помещения №3:

- габаритная длина 6 метров;
- габаритная ширина 8 метров;
- габаритная высота 4 метра;
- площадь пола помещения $F = 48 \text{ м}^2$;
- освещенность нормативная $E_n = 250 \text{ лк}$;
- КСС светильника Д₂;
- запас освещенности $K = 1,5$;

- неравномерность освещения $z = 1,1$;
- расстояние от лампы освещения до потолка $h_c = 1$ м;
- расстояние от плоскости рабочей зоны до пола $h_{pn} = 0,8$ м;
- коэффициенты отражения помещения $\rho_{\text{п}} = 50\%$, $\rho_{\text{ст}} = 30\%$, $\rho_{\text{рп}} = 10\%$.

Определяется расчетная высота помещения:

$$H_p = H - h_c - h_{pn}, \text{ м}, \quad (1)$$

где H_p – высота расчетная помещения, м;

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

«Оптимальное расстояние между светильниками в ряду» [15]:

$$L = (1,4 \dots 1,6) \cdot H_p, \quad (2)$$

$$L = (1,4 \dots 1,6) \cdot 2,2 = 3,08 \dots 3,52 \text{ м}.$$

Выбирается значение ближе к среднему: $L = 3,2$ м.

Количество рядов m :

$$m = B/L, \quad (3)$$

$$m = \frac{8}{3,2} = 2,4.$$

Определяется «расстояние от стенки до ближайшего ряда светильников» [15]:

$$L_{cm} = (0,4 \dots 0,5) \cdot L, \quad (4)$$

где « $L_{ст}$ – расстояние от стенки до ближайшего ряда светильников, м» [15];

$$L_{ст} = (0,4...0,5) \cdot 3,2 = 1,28...1,6 \text{ м.}$$

Определяется «расстояние между рядами светильников» [15]:

$$L_B = \frac{B-2 \cdot L_{ст}}{m-1}, \quad (5)$$

где « L_B – расстояние между рядами светильников, м» [15].

$$L_B = \frac{8 - 2 \cdot 1,5}{3 - 1} = 2,5 \text{ м.}$$

«Расстояние между светильниками в ряду» [15]:

$$L_A = \frac{L^2}{L_B}, \quad (6)$$

где « L_A – расстояние между светильниками в ряду, м» [15].

$$L_A = \frac{3,2^2}{2,5} = 4,1 \text{ м.}$$

Определяется количество светильников в ряду:

$$n = \frac{A-2 \cdot L_{ст}}{L_A} + 1, \quad (7)$$

где n – количество светильников в ряду.

$$n = \frac{6-2 \cdot 1,5}{4,1} + 1 = 2 \text{ шт.}$$

Уточняется межрядное расстояние:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot L_{CT}}{n - 1}, \quad (8)$$
$$L_A = \frac{6 - 2 \cdot 1,5}{2 - 1} = 3 \text{ м.}$$

«Общее количество светильников N, шт, в помещении» [15]:

$$N = m \cdot n, \quad (9)$$
$$N = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт.}$$

Индекс помещения I:

$$I = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (10)$$
$$I = \frac{6,0 \cdot 8,0}{2,2 \cdot (6,0 + 8,0)} = 1,540.$$

По [6] принимается коэффициент использования U=0,61.

«Расчетный световой поток лампы Φ_p , Лм» [1]:

$$\Phi_p = \frac{E_H \cdot F \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot U}, \quad (11)$$
$$\Phi_p = \frac{250 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,61} = 5409 \text{ Лм.}$$

Предварительно принимается лампа ЛБ-40, освещенность 3000 лм.

«Проверка лампы по допустимому отклонению» [1]:

$$(\Phi_n - \Phi_p / \Phi_p) \cdot 100 \%, \quad (12)$$

$$(6000 - 5409)/5409 \cdot 100 \% = 11,1 \%$$

Расчетное отклонение 11,1 % в пределах нормы. Предварительный выбор лампы остается без изменения.

«Установленная мощность осветительной установки» [1]:

$$P_{уст} = N \cdot P_{св}, \quad (13)$$

$$P_{уст} = 80 \cdot 6 = 480 \text{ Вт.}$$

По результатам светотехнического проектирования (таблица 2) определяется установочная мощность освещения механического цеха $P_{уст.общ} = 24,81$ кВт. «Установленная осветительная мощность разбивается на группы, не превышающие по мощности 1,5 кВт во избежание потерь напряжения. Допустимая потеря напряжения от ТП до самого удалённого светильника не должна превышать 5%» [17]. К щитку освещения ОЩ1 подключается девять групп освещения. Мощность групп с первой по восьмую составляет 2,8 кВт. Мощность девятой группы 2,41 кВт. Для примера рассчитывается первая группа освещения мощностью 2,8 кВт.

Расчётный ток группы:

$$I_{гр.1} = \frac{1,1 \cdot P_{гр.1}}{U \cdot \cos\varphi}, \quad (14)$$

где « $I_{гр1}$ – ток расчетный первой группы, А;

$P_{гр1}$ – мощность первой группы, Вт;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, равный 0,9» [16].

$$I_{гр.1} = \frac{1,1 \cdot 2800}{220 \cdot 0,9} = 15,56 \text{ А.}$$

Таблица 2 – Результат расчета системы освещения

Характеристика помещения									Норма освещенности, лк	Коэффициент запаса	Светильник		Лампа		Установленная мощность, Вт	Удельная мощность, Вт/м ²
№ помещения	Наименование помещения	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь, м ²	Коэффициент отражения					Тип	Число	Тип	Мощность, Вт		
						Потолок	Стен	Пола								
1	Станочное отделение 1	48	12	9	576	50	30	10	200	1,5	РСП05 400	2 8	ДРЛ- 400	400	11200	9
2	Помещение мастера	6	4	4	24	70	50	30	300	1,5	ЛСП02 (2×65)	3	ЛБ-65	65	390	26,1
3	Комната отдыха	8	6	4	48	70	50	30	300	1,5	ЛСП02 (2×65)	6	ЛБ-40	40	480	21
4	ТП	8	6	4	48	50	30	10	75	1,5	ЛСП02 (2×65)	4	ЛБ-40	40	320	5,46
5	Вентиляторная	6	4	4	24	50	30	10	75	1,5	ЛСП02 (2×65)	1	ЛБ-40	40	80	6,375
6	Склад заготовок	12	6	4	72	50	30	10	75	1,5	ЛСП02 (2×65)	2	ЛБ-40	40	160	4,275
7	Инструментальная	6	4	4	24	50	30	10	200	1,5	ЛСП02 (2×65)	2	ЛБ-40	40	160	17
8	Бытовка	8	6	4	48	70	50	30	200	1,5	ЛСП02 (2×65)	4	ЛБ-40	40	320	14
9	Станочное отделение 2	48	12	9	576	50	30	10	200	1,5	РСП05 400	2 8	ДРЛ- 400	400	11200	9
10	Уличное освещение	-	-	-	-	-	-	-	-	-	НСП-11	5	Б215- 225	100	500	-
-	Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24810	-

«Момент нагрузки группы» [1]:

$$M_{зр1} = P_{зр1} \cdot L_{зр1}, \quad (15)$$

где « $M_{зр1}$ – момент нагрузки первой группы, кВт·м;

$L_{зр1}$ – приведенная длина первой группы, м» [1];

$$M_{зр1} = 2,8 \cdot 18,17 = 50,98 \text{ кВт·м.}$$

«Приведённая длина в каждой группе по плану разводки осветительной сети» [1]:

$$L_{зр1} = L' + L_A(n - 1)/2, \quad (16)$$

где « L' – длина участка линии от осветительного щитка до первого светильника, м» [1].

$$L_{зр1} = 8 + 3,43 \cdot (7 - 1)/2 = 18,17 \text{ м.}$$

«Проверяется выбранное сечение на потерю напряжения в группе» [1]:

$$\Delta U_{гр.1} = \frac{M_{гр.1}}{C \cdot F}, \quad (17)$$

где « $\Delta U_{гр.1}$ – потеря напряжения первой группы, %;

C – коэффициент, учитывающий материал проводника, равный 35;

F – сечение проводника, равное 2,5 мм²» [1];

$$\Delta U_{гр.1} = \frac{50,98}{35 \cdot 2,5} = 0,61\%.$$

Дальнейшие расчёты выполняются по формулам (15, 16, 17) и сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Выбор проводников по допустимой потере напряжения

№ группы	$P_{гр},$ кВт	$I_{гр},$ А	Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	$L_{гр},$ м	$M_{гр},$ кВт·м	$\Delta U_{гр},$ %
1	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	18,17	50,98	0,61
2	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	25,31	67,97	0,78
3	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	18,17	50,98	0,61
4	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	25,31	67,97	0,78
5	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	18,17	50,98	0,61
6	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	25,31	67,97	0,78
7	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	16,11	45,11	0,51
8	2,8	16,02	ВВГ	3×2,5	16,22	44,98	0,52
9	2,41	14,42	ВВГ	3×2,5	17,11	44,22	0,48

Выбор вводного кабеля от ТП до ОЩ1.

Расчетная мощность линии [30]:

$$P_p = P_{уст} \cdot K_c, \quad (18)$$

где « P_p – расчетная мощность освещения, кВт;

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

K_c – коэффициент спроса, равный 0,8» [15].

$$P_p = 24,81 \cdot 0,8 = 19,848 \text{ кВт.}$$

Параметры на вводе:

$$I_p = \frac{1,25 \cdot P_p}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (19)$$

где « I_p – ток на вводе, А;

U – напряжение ввода, равное 380 В;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, равный 0,8» [15].

$$I_p = \frac{1.25 \cdot 19.848}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.8} = 47,17 \text{ A.}$$

Расчетное падение напряжения ввода:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot L}{C \cdot F}, \quad (20)$$

где « ΔU – потеря напряжения ввода, %;

C – коэффициент, учитывающий материал проводника. Принимаем по [18] $C=72$;

F – сечение проводника, равное 4 мм²;

L – расстояние от ТП до ОЩ1, равное 35 м» [18]

$$\Delta U = \frac{19.848 \cdot 35}{72 \cdot 4} = 2,41\%.$$

По таблицам ПУЭ принимается кабель ВВГ (силовой кабель, с медной жилой, изоляцией из ПВХ, оболочкой из ПВХ пониженной горючести) сечением (5×10) мм².

«Нагрев длительным расчетным током. Сила длительно-допустимого тока для проводов и кабелей» [14]:

$$I_{дон} > I_p, \quad (21)$$

$$61 \text{ A} > 47,17 \text{ A.}$$

Проверка выполнена. Аппарат защиты соответствует условиям выбора.

Общее падение напряжения от ТП до лампы освещения с максимально длинной электрической линией, составляет $\Delta U = 2,41 + 0,5 = 2,91$ %. Падение напряжения находится в допустимых пределах.

2.2 Расчет силовых нагрузок

Расчет нагрузок выполняется для распределительного устройства РП-1.

Определяются электроприемники в группе с минимальной потребляемой мощностью и с максимальной потребляемой мощностью: $P_{н\ min} = 2000$ Вт; $P_{н\ max} = 36000$ Вт.

«Установленная мощность электроприемников по группам» [20]:

$$P_{уст.n} = n \cdot P_{э}, \quad (22)$$

где « $P_{уст.n}$ – установленная мощность;

n – количество электроприемников;

$P_{э}$ – мощность электроприемника» [20].

$$P_{уст1} = 36 \cdot 1 = 36,01 \text{ кВт};$$

$$P_{уст2} = 3,2 \cdot 2 = 6,404 \text{ кВт};$$

$$P_{уст3} = 2 \cdot 1 = 2,08 \text{ кВт};$$

$$P_{уст4} = 2,2 \cdot 2 = 4,409 \text{ кВт};$$

Коэффициенты использования для соответствующих электроприемников:

$$K_{u1} = 0,1, K_{u2} = 0,1, K_{u3} = 0,1, K_{u4} = 0,14.$$

Далее определяется суммарная мощность всех электроприемников:

$$\Sigma P_{уст} = P_{уст1} + P_{уст2}, \quad (23)$$

$$\Sigma P_{уст} = 36,01 + 6,404 + 2,08 + 4,409 = 48,903 \text{ кВт.}$$

Вычисляется модуль энергетической сборки [9]:

$$m = P_{нmax}/P_{нmin}, \quad (24)$$

$$m = 36/2 = 18.$$

«Активные и реактивные среднесменные нагрузки» [20]:

$$P_{см.п} = K_u \cdot P_{уст}, \quad (25)$$

где « $P_{см.п}$ – активная среднесменная мощность;

K_u – коэффициент использования» [20].

$$P_{см1} = 36,01 \cdot 0,1 = 3,507 \text{ кВт;}$$

$$P_{см2} = 9,2 \cdot 0,1 = 1,065 \text{ кВт;}$$

$$P_{см3} = 2,08 \cdot 0,1 = 0,201 \text{ кВт;}$$

$$P_{см4} = 0,14 \cdot 4,409 = 0,616 \text{ кВт.}$$

«Суммарная активная среднесменная мощность» [20]:

$$\Sigma P_{см} = P_{см1} + P_{см2}, \quad (26)$$

$$\Sigma P_{см} = 3,6 + 0,64 + 0,2 + 0,616 = 5,056 \text{ кВт.}$$

Средний коэффициент сменности:

$$K_{u.см} = \Sigma P_{см}/\Sigma P_{уст}, \quad (27)$$

$$K_{u.см} = 5,056/48,8 = 0,1.$$

где « $K_{u.см}$ – средний коэффициент сменности» [20].

«Эффективное число электроприемников» [20]:

$$n_э = 2 \cdot \Sigma P_{уст} / P_{н.мах}, \quad (28)$$

$$n_э = 2 \cdot 48,8 / 36 = 2,71.$$

где « $n_э$ – эффективное число электроприемников» [20].

«Сменная реактивная мощность» [20]:

$$Q_{см.п} = tg\varphi \cdot P_{см}, \quad (29)$$

где « $Q_{см.п}$ – реактивная среднесменная мощность;

$tg\varphi$ – средневзвешенный тангенс угла действительного» [20].

$$Q_{см1} = 1,73 \cdot 3,6 = 6,23 \text{ кВАр};$$

$$Q_{см2} = 1,73 \cdot 0,64 = 1,11 \text{ кВАр};$$

$$Q_{см3} = 1,73 \cdot 0,2 = 0,35 \text{ кВАр};$$

$$Q_{см4} = 1,73 \cdot 0,616 = 1,11 \text{ кВАр}.$$

Суммарная реактивная мощность:

$$\Sigma Q_{см} = Q_{см1} + Q_{см2}, \quad (30)$$

$$\Sigma Q_{см} = 6,23 + 1,11 + 0,35 + 1,11 = 8,8 \text{ кВАр}.$$

Расчетные активная и реактивная мощности:

$$P_{мах} = \Sigma P_{см} \cdot K_{мах}, \quad (31)$$

$$P_{мах} = 5,056 \cdot 3,43 = 16,887 \text{ кВт},$$

где « $P_{мах}$ – максимальная активная мощность;

$K_{мах} = 3,43$, (по таблице: зависимость $K_M = F(n_э, K_H)$)» [28]).

$$Q_{max} = \Sigma Q_{см} \cdot K_{maxI}, \quad (32)$$

$$Q_{max} = 8,8 \cdot 1,1 = 9,707 \text{ кВАр.}$$

где « Q_{max} – максимальная реактивная мощность;

$K_{maxI} = 1,1$ » [28].

Полная мощность равна:

$$S_{max} = \sqrt{Q_{max}^2 + P_{max}^2}, \quad (33)$$

$$S_{max} = \sqrt{9.707^2 + 16.887^2} = 20.103 \text{ кВАр.}$$

Средневзвешенный $\cos\varphi$ рассчитывается по формуле:

$$\cos\varphi = P_{max}/S_{max}, \quad (34)$$

$$\cos\varphi = 16,887/20,103 = 0,89.$$

Расчетный пиковый ток:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (35)$$

где « I_{max} – расчетный максимальный ток;

U – напряжение» [28].

$$I_{max} = \frac{19.35}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 29.45 \text{ A.}$$

Электрические нагрузки оставшихся электроприемников рассчитываются по формулам (27...40) и заносятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок

Наименование потребителей	Количество Эл.приемников	Установленная мощность при ПВ = 100%, кВт		$\frac{\cos \varphi}{\text{tg } \varphi}$	Коэффициент нагрузки K_n	Средняя нагрузка		n_3	K_M	Максимальная нагрузка			Расчетный ток А
		Эл.приемников (min, max), кВт	Общая рабочих			P_{CM} кВт	Q_{CM} кВар			P_{max} кВт	Q_{max} кВт	S_{max} кВт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Краны мостовые	1	$36 \cdot \sqrt{0,25}$	18	0,5/1,73	0,1	1,8	3,11	-	-	-	-	-	-
Манипуляторы электрические	2	3,2	6,4	0,16/1,73	0,1	0,64	1,11	-	-	-	-	-	-
Точильно-шлифовальные станки	1	2	2	0,16/1,73	0,1	0,2	0,35	-	-	-	-	-	-
Настольно-сверлильные станки	2	2,2	4,4	0,16/1,73	0,4	1,76	3,04	-	-	-	-	-	-
Распределительный пункт РП1	6	2-18	30,8	0,86/1,69	0,14	4,4	7,61	4	3,22	14,17	8,37	16,46	24,94
Токарные полуавтоматы	2	10	20	0,5/1,73	0,14	2,8	4,84	-	-	-	-	-	-
Токарные станки	4	13	52	0,5/1,73	0,14	7,28	12,59	-	-	-	-	-	-
Распределительный пункт РП2	6	10-13	72	0,72/1,03	0,14	10,08	17,44	11	1,96	19,76	19,18	27,54	41,72

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Слитко-обдирочные станки	6	3	18	0,65/1,17	0,17	3,06	3,58	-	-	-	-	-	-
Распределительный пункт РПЗ	6	3	18	0,81/1,36	0,17	3,06	3,58	12	1,75	5,36	3,94	6,65	10,07
Анодно-механические станки	1	75	75	0,65/1,17	0,17	12,75	14,92	-	-	-	-	-	-
Вентиляторы	2	4,5	9	0,8/0,75	0,6	5,4	4,05	-	-	-	-	-	-
Краны мостовые	1	$36 \cdot \sqrt{0,25}$	18	0,5/1,73	0,1	1,8	3,11	-	-	-	-	-	-
Распределительный пункт РП4	4	4,5-75	102	0,91/2,17	0,2	19,95	22,08	3	2,64	52,67	24,29	58	87,88
Итого по силовому шкафу СШ1	22	2-75	222,8	0,85/0,61	0,17	37,49	50,71	-	-	91,95	55,78	108,64	164,61
Манипуляторы электрические	2	3,2	6,4	0,16/1,73	0,1	0,64	1,11	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-фрезерные станки	2	7	14	0,65/1,17	0,17	2,38	2,78	-	-	-	-	-	-
Настольно-сверлильные станки	2	2,2	4,4	0,5/1,73	0,14	0,62	1,07	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Точильно-шлифовальные станки	1	2	2	0,16/1,73	0,1	0,2	0,35	-	-	-	-	-	-
РП5	7	2-7	26,8	0,84/0,66	0,14	3,84	5,3	8	2,31	8,86	5,83	10,61	16,07
Токарные полуавтоматы	2	10	20	0,5/1,73	0,14	2,8	4,84	-	-	-	-	-	-
Слиткообдирочные станки	2	3	6	0,65/1,17	0,17	1,02	1,19	-	-	-	-	-	-
Анодно-механические станки	1	75	75	0,65/1,17	0,17	12,75	14,92	-	-	-	-	-	-
Тельфер	1	5	5	0,5/1,73	0,1	0,5	0,87	-	-	-	-	-	-
Продольно строгальные станки	2	10	20	0,65/1,17	0,17	3,4	3,98	-	-	-	-	-	-
РП6	8	3-75	126	0,89/0,53	0,16	20,47	25,8	4	2,64	54,04	28,38	61,04	92,48
Слиткообдирочные станки	3	3	9	0,65/1,17	0,17	1,53	1,79	-	-	-	-	-	-
Анодно-механические станки	1	75	75	0,65/1,17	0,17	12,75	14,92	-	-	-	-	-	-
РП7	4	3-75	84	0,89/0,49	0,17	14,28	16,71	2	2,64	37,7	18,38	41,94	63,55
Итого СШ2	19	2-75	236,8	0,89/0,52	0,16	38,59	47,81	-	-	100,6	52,59	113,59	172,1

2.3 Выбор компенсирующих устройств

Для механического цеха компенсация реактивной мощности производится групповым способом, т.е. конденсаторная установка соединена с вводной шиной. К отпайкам шины подключены силовые распределители цеха.

Расчетный $\cos\varphi = 0,85$ группы №1 и расчетный $\cos\varphi = 0,88$ группы шин №2 «не соответствует оптимальному коэффициенту мощности, задаваемому для потребителей электроснабжающей организации: 0,95-0,97» [31]. Поэтому в работе приведён расчет компенсирующего устройства, уменьшающего выработку реактивной энергии.

КУ I секции шин:

$$Q_{к.у} = P_{max} (tg\varphi - tg\varphi_{opt}), \quad (36)$$

где « $Q_{к.у}$ – мощность компенсирующего устройства;

$tg\varphi$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности;

$\cos\varphi = 0,85$ » [28]

$$Q_{к.у} = 91,95(0,619-0,25) = 33,929 \text{ кВар.}$$

Выбирается: УК-0,38-36-2У3, мощностью $Q_{ккУ} = 36$ кВар.

Определяем скорректированную полную мощность:

$$S'_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + (Q_{max} - Q_{к.у})^2}, \quad (37)$$
$$S'_{max} = \sqrt{91,95^2 + (55,78 - 33,929)^2} = 94,21 \text{ кВА.}$$

Корректируется сила тока:

$$I'_{max} = \frac{S'_{max}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (38)$$

$$I'_{max} = \frac{94.21}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 143.39 \text{ A.}$$

Корректируется $\cos\varphi$:

$$\cos'\varphi = \frac{P_{max}}{S'_{max}}, \quad (39)$$

$$\cos'\varphi = \frac{91.95}{94.21} = 0,97.$$

2.4 Расчет и выбор силовых трансформаторов

«Число и мощность трансформаторов силовой подстанции выбираются по расчетной мощности объекта с учетом перегрузочной способности трансформаторов и требований по обеспечению необходимой степени надежности электроснабжения потребителя» [33].

МЦ принадлежит ко 2 категории надежности получения электроэнергии – для электроснабжения используются две независимые линии питания.

Суммарная мощность подключенных электроприемников:

$$\Sigma S_{max.с\text{комн}} = S_{сш-1.с\text{комн}} + S_{сш-2.с\text{комн}}, \quad (40)$$

$$\Sigma S_{max.с\text{комн}} = 94,21 + 101,28 = 195,49 \text{ кВА.}$$

Мощность трансформатора:

$$S_{mp} = S_{max} / (n \cdot \beta), \quad (41)$$

где « $S_{тр}$ – мощность трансформатора;

$n = 2$ – количество трансформаторов;

$\beta = 0,7$ – коэффициент загрузки трансформаторов» [27].

$$S_{mp} = 195,49 / (2 \cdot 0,7) = 139,63 \text{ кВА.}$$

Выбирается: тип – ТМ с $S_{ном.тр} = 160$ кВА (таблица 5).

«Выбранный трансформатор проверяется на аварийный режим работы» [27]:

$$\beta = S_{max} / S_{mp}, \quad (42)$$

$$\beta = 195,49 / 160 = 1,22,$$

$$1,22 < 1,4.$$

Таблица 5 – Технические данные трансформатора ТМ-160/10

Тип	ВН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{x.x}$, кВт	$\Delta P_{к.ном}$, кВт	$U_{к.з}$, %	I_{xx} , %
ТМ-160/10	10	0,4	510	2650	4,5	2,6

2.5 Расчет и выбор питающей линии

Электроснабжение предприятий осуществляется от понизительной подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора. Мощность энергосистемы составляет 400 МВА, а $U_n = 110/35/10$ кВ.

«Выбор сечения жил кабеля питающей линии выполняется по экономической плотности тока. Способ прокладки в земле, в траншее, марка проводника – кабель ААШВ.

Нагрузка линии – расчетная нагрузка, принимаемая с учетом потерь в трансформаторе» [29].

Активные потери:

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \kappa_3^2, \quad (43)$$

где « $\Delta P_{тр}$ – активная потеря трансформатора;

ΔP_{xx} – потери холостого хода трансформатора, уровень А;

$\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания» [29].

$$\Delta P_{mp} = 950 + 5900 \cdot 0,66^2 = 3,54 \text{ кВт.}$$

Коэффициент запаса:

$$\kappa_3 = S_{m1}/S_{н.тр}, \quad (44)$$

где « $S_{т1}$ – максимальная нагрузка по графику;

$S_{н.тр}$ – мощность энергосистемы трансформатора» [29].

$$\kappa_3 = 265/400 = 0,66.$$

Реактивные потери:

$$\Delta Q_{mp} = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot \kappa_3^2, \quad (45)$$

где « $\Delta Q_{тр}$ – реактивная потеря трансформатора;

ΔQ_{xx} – реактивные потери в трансформаторе при холостом ходе;

$Q_{кз}$ – реактивные потери при коротком замыкании» [29].

$$\Delta Q_{mp} = 8,4 + 18 \cdot 0,66^2 = 16,2 \text{ кВАр.}$$

Реактивные потери холостого хода:

$$\Delta Q_{xx} = (I_{xx} \cdot S_{н.тр}) / 100, \quad (46)$$

где I_{xx} – ток холостого хода трансформатора.

$$\Delta Q_{xx} = (2,1 \cdot 400) / 100 = 8,4 \text{ кВАр.}$$

Реактивные потери короткого замыкания:

$$\Delta Q_{кз} = (U_{кк} \cdot S_{н.тр}) / 100, \quad (47)$$

$$\Delta Q_{кз} = (4,5 \cdot 400) / 100 = 18 \text{ кВАр.}$$

Определяются расчетные нагрузки с учетом потерь в трансформаторе.

Расчетная активная мощность:

$$P_p = P_m + \Delta P_{тр}, \quad (48)$$

$$P_p = 213,5 + 3,52 = 217 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность:

$$Q_p = (Q_m - Q_{кв}) + \Delta Q_{тр}, \quad (49)$$

$$Q_p = (154,7 - 144) + 16,2 = 26,9 \text{ кВАр.}$$

Расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (50)$$

$$S_p = \sqrt{217^2 + 26,9^2} = 218,7 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток:

$$I_p = S_p / \sqrt{3} \cdot U_n, \quad (51)$$
$$I_p = 218,7 / \sqrt{3} \cdot 10 = 12,6 \text{ А.}$$

Расчетный $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = P_p / S_p, \quad (52)$$
$$\cos \varphi = 217 / 218,7 = 0,99.$$

Расчетное сечение проводника:

$$F = I_p / J_{\text{эк}}, \quad (53)$$
$$F = 12,6 / 1,4 = 9 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель ААШВ с сечением 3×16 , $I_{\text{доп}} = 75 \text{ А}$.

Расчетный ток нагрузки меньше длительно-допустимого тока кабеля, поэтому выбранный кабель удовлетворяет данному условию проверки. Проверяется выбранное сечение на перегрузку:

$$I_{\text{дл.ав}} > I_{\text{ав}}, \quad (54)$$

где $I_{\text{ав}}$ – рабочий ток автоматического выключателя, А

$I_{\text{дл.ав}}$ – сила тока, длительно протекающего через автоматический выключатель.

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}}, \quad (55)$$
$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot 12,6 = 25,2 \text{ А.}$$

Для нахождения длительно-допустимого тока:

$$I_{дл.ав} = I_{дон} \cdot K_{п1} \cdot K_{п2} \cdot K_{п3}, \quad (56)$$

где « $K_{п1}$ – поправочный коэффициент на количество рядом лежащих кабелей, который равен 0,9;

$K_{п2}$ – коэффициент учитывающий температуру окружающей среды, который равен 1;

$K_{п3}$ – коэффициент, учитывающий нагрузку кабеля в аварийном режиме, который равен 1,3» [24].

$$I_{дл.ав} = 75 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1,3 = 87,75 \text{ А.}$$

Далее производится проверка на способность противостоять токам короткого замыкания.

«После составления расчетной схемы, определяются сопротивления на всех участках от силовых трансформаторов главной понизительной подстанции до секционных шин, кабелей потребительской трансформаторной подстанции методом относительных единиц. Найти конечную температуру нагрева током короткого замыкания трудно, поэтому термическая стойкость определяется для минимально допустимого сечения по условию нагрева током короткого замыкания» [25]:

$$B_k = I_k^2(t + T_o), \quad (57)$$

$$B_k = 1090000^2 (0,1 + 0,01) = 116699 \text{ А} \cdot \text{с}^2.$$

Предельный размер провода:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}, \quad (58)$$

$$S_{min} = \frac{\sqrt{116699}}{85} = 4 \text{ мм}^2.$$

Проверяется проводник на падение напряжения:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (\cos\varphi \cdot R_o + \sin\varphi \cdot X_o), \quad (59)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 12.6 \cdot 0.05 \cdot (0.99 \cdot 1.16 + 1.14 \cdot 0.95) = 36.65 \text{ В}.$$

Падение напряжения в процентах:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_H \cdot 100\%}, \quad (60)$$

$$\Delta U\% = \frac{36.65}{10000 \cdot 100\%} = 0.37\%.$$

Допустимая потеря напряжения должна удовлетворять условию:

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U, \quad (61)$$

$$5\% \geq 0,37\%.$$

Условие соблюдается.

2.6 Расчет и выбор оборудования ТП на стороне 0,4 кВ

«Основным условием при проектировании оборудования трансформаторной подстанции являются примерно одинаковые величины нагрузок по первой и второй секциям цеховой трансформаторной подстанции. Расчетные токи на отходящих фидерах цеховой подстанции являются

определяющей величиной при выборе сечения шинпроводов, токопроводников и автоматов» [19].

2.6.1 Расчет и выбор автоматических выключателей

Условие выбора автоматических выключателей на линиях по номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{уст}, \quad (62)$$

где $U_{ном}$ – номинальный ток автоматического выключателя;

$U_{уст}$ – номинальный ток установленного в линии электроприемника.

$$500В \geq 380 В,$$

Условие выбора автоматических выключателей на линиях по номинальному току:

$$I_{ном} \geq I_{дл} \quad (63)$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток автоматического выключателя;

$I_{дл}$ – длительно-допустимый ток через автоматический выключатель:

$$I_{дл} = \frac{I_{1с} + I_{2с}}{2} \cdot 1.4, \quad (64)$$

$$I_{дл} = \frac{164.61 + 172.1}{2} \cdot 1.4 = 235.69 \text{ A},$$

$$400 \text{ A} \geq 235,69 \text{ A}.$$

Для форсированного режима ток удваивается:

$$I_{дл.ф} = 2 \cdot I_{дл}, \quad (65)$$

$$I_{дл.ф} = 2 \cdot 235,69 = 471,38 \text{ A}.$$

Условие выбора по форсированному току:

$$I_{mp} \geq I_{дл.ф}, \quad (66)$$
$$500 \text{ A} \geq 471,38 \text{ A}.$$

Принимаются автоматические выключатели марки ВА-51-39, $I_{эмп} = 5000$ А, $I_{ном} = 630$ А, $t_{сраб} = 0,6$ с, $I_{ном.р} = 500$ А, $I_{max} = 1260$ А.

Далее производится расчет и выбор секционного автоматического выключателя. Напряжение должно удовлетворять условию (62):

$$500 \text{ В} \geq 380 \text{ В}.$$

Длительный ток секционного автомата:

$$I_{дл} = \frac{I_{1с} + I_{2с}}{2}, \quad (67)$$
$$I_{дл} = \frac{164,61 + 172,1}{2} = 168,35 \text{ A}.$$

Номинальный ток секционного выключателя должен удовлетворять условию (63):

$$400 \text{ A} \geq 168,35 \text{ A}.$$

В форсированном режиме:

$$I_{дл.ф} = 2 \cdot 168,35 = 336,71 \text{ A}.$$

Проверка по форсированному току производится по условию (66):

$$400 \text{ A} \geq 336,71 \text{ A}.$$

Принимаются автоматические выключатели марки ВА-51-37: $I_{\text{ном}} = 400 \text{ A}$, $I_{\text{эмр}} = 4000 \text{ A}$, $t_{\text{сраб}} = 0,6 \text{ с}$, $I_{\text{ном.р}} = 400 \text{ A}$, $I_{\text{max}} = 800 \text{ A}$.

2.6.2 Расчет и выбор трансформаторов тока

«Для установок до 1 кВ используют катушечные трансформаторы тока типа ТКЛ. Выбор ТТ производится по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению: $U_{\text{номТТ}} \geq U_{\text{ному}}$;
- по току и мощности нагрузки продолжительного режима;
- в первичной цепи $I_{\text{ном1ТТ}} \geq I_{\text{па}}$;
- во вторичной цепи $S_{\text{ном1ТТ}} \geq S_{\text{рас}}$ » [10].

Допустимая нагрузка вторичной обмотки $S_{\text{номТТ}}$ определяется по формуле:

$$S_{\text{номТТ}} = (I_{\text{ном2ТТ}})^2 \cdot Z_{\text{ТТ}}, \quad (68)$$

где « $I_{\text{ном2ТТ}}$ – номинальный ток вторичной обмотки, обычно равный 5 А;

$Z_{\text{ТТ}}$ – полное допустимое сопротивление внешней цепи, равная сумме сопротивлений последовательно включенных обмоток приборов, реле, соединительных проводов и контактов» [8].

В РП-1 к трансформатору тока подключен амперметр Э-335 с потребляемой мощностью собственной измерительной системы 0,5 ВА. Тогда полная мощность подключенной нагрузки:

$$S_{\text{номТТ}} = (5)^2 \cdot 0,5 = 12,5 \text{ ВА}.$$

Согласно паспортным данным ТТ типа ТКЛ его полная допустимая нагрузка $S_{2\text{ном.ТКЛ}} = 75 \text{ ВА}$. Условие выполняется. Для других ТТ выбор производится аналогично.

2.6.3 Расчет и выбор пускозащитной аппаратуры

«Пускатели выбирают по следующим условиям:

- сила номинального тока пускателя должна быть равна или несколько больше силы номинального тока электродвигателя: $I_{ном.п.} \geq I_{ном.д.}$;
- напряжение втягивающей катушки должно быть равным напряжению сети: $U_{кат} \geq U_c$;
- пускатель должен обеспечивать нормальные условия коммутации;
- исполнение и степень защиты пускателя должны соответствовать условиям окружающей среды;
- схема соединения пускателя должна соответствовать требованиям схемы электроуправления электродвигателем» [2].

При работе в условиях применения АС-3:

$$I_{ном.п.} \geq I_{пуск.д.}/6, \quad (69)$$

где $I_{пуск.д.}$ – сила пускового тока электродвигателя, А.

Для примера производится выбор магнитного пускателя (МП) к мотору вентилятора. Выбираем МП для электродвигателя: 4А100L2У3, $P_{ном} = 5,5$ кВт, $I_{ном.д.} = 10,5$ А, $K_i = 7,5$.

«Двигатель установлен в пыльном помещении, условия пуска легкие.

Так как электродвигатель установлен в пыльном помещении, а условия пуска легкие, выбираем пускатель со степенью защиты IP44, рассчитанный на режим работы в категории применения АС3» [13]. Рабочий ток пускателя 25 А, что больше рабочего тока электродвигателя. Далее производится проверка по условию коммутации:

$$I_{пуск} = K_i \cdot I_{ном.д.}, \quad (70)$$

где $K_i = 7,5$ – кратность пускового тока;

$I_{ном.д}=10,5\text{А}$ – длительный рабочий ток электродвигателя.

$$I_{пуск} = 7,5 \cdot 10,5 = 78,8 \text{ А},$$

$$I_{ном.п.} = 78,8 / 6 = 13,13 \text{ А}.$$

Условие проверки МП по номинальному пусковому току:

$$I_{ном.п.} \geq I_{ном.д} , \tag{71}$$
$$25 \text{ А} \geq 13,13 \text{ А}.$$

Условие соблюдается. «Далее выбирается тепловое трёхполюсное реле РТЛ 101604 с пределами регулирования силы тока несрабатывания 9,5...14 А» [32].

Проверка производится:

– по напряжению установки: $U_{уст} \geq U_n$,

– по роду тока и его значению: $I_p \geq I_n$;

– по коммутационной способности $I_{п.о}(I_{п.о1}) \leq I_{откл}$;

Для примера производится расчет для двигателя М42. Кратность токов:

$$K = I_{ном.д} / I_{ном.п.}, \tag{72}$$
$$K = 10,5 / 12 = 0,88.$$

Проверка пусковых моментов. Максимальный пусковой ток:

$$I_{тик} = I_{пуск} = K_i \cdot I_{ном}, \tag{73}$$
$$I_{тик} = 7,5 \cdot 10,5 = 78,75 \text{ А}.$$

Средний расчетный пусковой ток:

$$I_{ср.р} = 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (74)$$

$$I_{ср.р} = 1,25 \cdot 78,75 = 98,4 \text{ А.}$$

Предельный ток:

$$I_{ср.к} = K_{сраб} \cdot I_{ном.р}, \quad (75)$$

где $K_{сраб}$ – кратность силы тока срабатывания.

$$I_{ср.к} = 12 \cdot 12 = 144 \text{ А.}$$

Предельный ток больше среднего расчетного тока, поэтому данное условие соблюдается. Так как «ток расцепителя больше пускового тока, то автоматический выключатель при пуске не сработает и ложных срабатываний не будет» [11]

2.7 Разработка электрической схемы управления для радиально-сверлильного станка

У станка несколько электродвигателей, мощностью 3, 1,1 и 0,55 кВт соответственно.

«Частота вращения шпинделя регулируется механическим путем с помощью коробки скоростей в диапазоне от 30 до 1500 об/мин (12 скоростей). Привод подачи выполнен от главного двигателя М1 через коробку подач. Скорость подачи регулируется от 0,05 до 2,2 мм/об, наибольшее усиление подачи $F_{П,маx}=20000$ Н. Траверса может поворачиваться вокруг оси колонны на 360^0 и вертикально перемещаться по колонне на 680 мм со скоростью 1,4 м/мин. Зажим траверсы колонне производится автоматически. Все органы управления

станком сосредоточены на сверлильной головке, что обеспечивает значительное сокращение вспомогательного времени при работе на станке» [3].

Рассмотрим электропривод и систему управления координатно-сверлильного станка серии 2А55, предназначенного для формирования отверстий размером до 50 мм сверлами из твердосплавной стали.

Все электроприемники, кроме электронасоса, расположены на проводной половинке станины. Напряжение сети 380 В.

Напряжение подводится через главный автоматический выключатель QW1 на кольцевую шину ХА и затем через скользящий токосъемник в силовой ящик, установленный на линии.

«Перед началом работы следует произвести зажим колонны и шпиндельной головки, что осуществляется нажатием кнопки «Зажим». Получает питание контактор КМ3 и главными контактами включает двигатели М3 и М4, которые приводят в действие гидравлические зажимные устройства. Одновременно через вспомогательный контакт контактора КМ3 включается реле КV подготавливающее питание цепей управления через свой контакт после прекращения воздействия на кнопку «Зажим» и отключения контактора КМ3. Для отжима колонны и шпиндельной головки при их перемещения нажимается кнопка «Отжим», при этом теряет питание реле КV, что делает невозможным работу на станке при отжатых колонне и шпиндельной головке» [3].

Изменение частоты вращения двигателями шпинделя М1 и перемещения механизма М2 производится с помощью крестового тумблера SA3. Его рукоятка имеет несколько возможных степеней свободы: «Влево», «Вправо», «Вверх» и «Вниз», замыкая в каждом положении соответственно В; П; В и Н. Так, при перемещении рукоятки «Влево» включается пускатель КМШВ и вал электродвигателя вращается в реверсивную сторону. Если переключатель переместить в противоположную сторону, то отключается пускатель КМШВ,

включается пускатель КМШП и вал электродвигателя главного движения будет вращаться по часовой стрелке.

В работе произведен выбор коммутационных аппаратов для схемы управления электродвигателями, выбран реверсивный контактор ПМЛ-161102.

«Реле управления, защиты автоматики предназначены для организации управления, контроля, автоматизации процессами, реализуемыми электротехническими установками, а также защиты электрооборудования и электрических цепей от коротких замыканий, неполнофазных режимов и т.д» [4].

На основе данного расчета для электродвигателей М1, М2, М3, М4, М5 выбрано реле типа РТЛ -101404.

Выводы по разделу 2.

Выбранное электрооборудование для системы электроснабжения механического цеха полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям, соответствуют протекающим токам, обеспечивает бесперебойное электроснабжение.

3 Охрана труда и техника безопасности при выполнении работ в механическом цехе

Нестандартные ситуации в механических подразделениях возникают по нескольким возможным причинам. Главными из них считаются:

- нарушение электропроводки;
- повреждения механизмов, инструмента или технологических приспособлений и оснастки;
- повреждение систем безопасности открытых (особенно движущихся) частей станка;
- неполное оповещение работающего персонала сотрудниками отделов, отвечающих за технику безопасности и охрану труда;
- неполное знание персоналом основ техники безопасности и охраны труда, а также нарушение рабочей дисциплины сотрудниками цеха.

«При работе на станке с отдельным электродвигателем причиной несчастного случая может быть неисправность проводки. Электрический ток, проходя через тело человека, может привести к ожогам и даже смерти. Прикосновение к незащищенным или плохо изолированным проводам электродвигателя или к его пусковой электроаппаратуре смертельно, так как они находятся под напряжением 220 В и выше. Смертельные случаи возможны и при меньшем напряжении (до 40-50 В).

Вследствие повреждения или плохого качества изоляции станок, электродвигатель и электроаппаратура могут оказаться под электрическим напряжением. Вполне безопасны лишь те металлические части, которые заземлены. Поэтому согласно правилам техники безопасности станки должны быть обязательно заземлены.

При обнаружении неисправности электродвигателя или осветительной аппаратуры, а также при повреждении изоляции электропроводов необходимо немедленно сообщить об этом мастеру и дежурному электромонтеру.

Часто несчастные случаи при работе на токарных станках происходят от неправильного и невнимательного обращения токаря с обрабатываемой деталью или вращающимися частями станка - валами, шкивами, ремнями, зубчатыми колесами и др. Несчастные случаи при токарных работах возможны также от порезов стружкой» [12].

При устранении нестандартных ситуаций при работе на токарных станках необходимо строго выполнять требования по технике безопасности:

- «применять предохранительные и ограждающие устройства у станков; следить за их исправным состоянием и никогда при работе не снимать со станка;
- не работать на станке без применения защитных от стружки приспособлений;
- применять безопасные приемы работы» [12].

Хорошая видимость в рабочих зонах цехов оказывает сильное влияние на аварийность в работе. Также причиной несчастных случаев становится недостаточное освещение. Освещение должно выполняться равномерным, без бликов, без пульсаций и мерцаний, достаточного уровня.

«Загрязненный воздух в цехе может явиться причиной заболеваний. В цехах применяют искусственную вентиляцию, при помощи которой удаляют загрязненный воздух и подают чистый. Применяют также естественную вентиляцию (проветривание помещения через фонари или окна)» [12].

«Порядок и чистота на рабочем месте имеют важное значение для безопасной работы. На рабочем месте, не загроможденном заготовками, деталями, приспособлениями и инструментами, где все находится на своем месте, токарь в нужный момент быстро сможет предотвратить аварию. Пол

должен быть чистым и сухим, чтобы рабочий не мог поскользнуться, упасть и ушибиться или попасть рукой или одеждой в движущуюся часть станка.

Причиной несчастных случаев может быть попадание незавязанных обшлагов рукавов, концов тесемок от спецодежды, незавязанных концов косынки во вращающиеся детали станка. Опрятность в одежде - необходимое условие работы. Токарь должен быть одет так, чтобы его одежда не могла быть захвачена движущимися частями станка.

Рабочий костюм надо плотно и полностью застегивать.

Одной из причин несчастных случаев является попадание стружки в глаза. При обработке чугуна, бронзы, латуни и других металлов со стружкой надлома, особенно при больших скоростях, можно засорить глаза. Не только ранение глаза, но даже мелкое его повреждение - царапина или укол - могут вызвать заболевание глаз, ухудшение зрения и даже слепоту.

Для защиты глаз рекомендуется применять очки» [12].

Выводы по разделу 3.

Выполнение требований по технике безопасности и охране труда позволяет избежать возникновения несчастных случаев на производстве и сохранить здоровье работающих. В механическом цехе источников повышенной опасности являются подвижные части работающих металлообрабатывающих станков. Также возможно поражение электрическим током.

Заключение

В представленной выпускной квалификационной работе было спроектировано электроснабжения механического цеха. Механический цех является одним из ремонтных отделений, основная деятельность которого направлена на ремонт электрооборудования. Основным структурным компонентом механического цеха является станочный парк, в котором применяется штатное оборудование: строгальные, фрезерные, анодно-механические, токарные станки и другое оборудование. В работе был произведен расчет электрических нагрузок цеха.

В соответствии с категориями надежности для питания электропотребителей рассчитана цеховая трансформаторная подстанция с двумя трансформаторами ТМ-160/10/0,4. Загрузка трансформаторов оставляет менее 70% от номинальной мощности. Для компенсации реактивной мощности применена конденсаторная установка УК-0,38-36-2У3, мощностью $Q_{ккУ} = 36$ кВар. Скорректированный коэффициент мощности составил $\cos\varphi=0,97$. Определены марки и сечения силовых кабельных линий:

- от ГПП до ТП МЦ кабель ААШВ с сечением 3×16 $I_{доп} = 75$ А;
- от ТП МЦ до распределительных пунктов выбран кабель ВВГ соответствующего нагрузке сечения.

Для защиты установленного в цехе электрооборудования в РП применены автоматические выключатели серии ВА-51-39, ВА-51-37 и ВА-51-35. Выбранные аппараты проверены на электродинамическую стойкость.

В третьем разделе рассмотрены основы безопасного использования электрооборудования механического цеха.

Список используемых источников

1. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология. - М.: Колос, 2018. 343 с.
2. Власов М.Н, Воронков М.А. Построение систем РЗиА и АИИСКУЭ на базе оптических трансформаторов тока и напряжения с цифровым интерфейсом // Релейщик. 2018. №1.
3. Власов М.Н, Сердцев А.А. Высоковольтные оптические преобразователи для систем измерения и анализа качества электрической энергии // ЭнергоРынок. 2020. №10.
4. Власов М.Н, Сердцев А.А. Оптические трансформаторы: Первый опыт // Энергоэксперт. 2019. №1.
5. Гайсаров Р.В. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Челябинск: ЧГТУ, 2022. 214 с.
6. ГОСТ 2.105 – 95 «ЕСКД. Общие требования к текстовым документам» URL: <https://www.swrit.ru/doc/eskd/2.105-95.pdf> (дата обращения: 10.04.2023 г)
7. ГОСТ 21.613-2014 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования» URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293767/4293767642.htm> (дата обращения: 12.04.2023 г)
8. ГОСТ 21128 – 8 «Системы электроснабжения сети, источники преобразования и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения свыше 1000 В» URL: https://www.elec.ru/library/gosts_e02/gost_21128-83/ (дата обращения: 14.04.2023 г)
9. ГОСТ Р 52735–2007 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1

кВ». Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837777.pdf> (дата обращения: 16.04.2023 г)

10. ГОСТ Р 52725–2007 «Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ» URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293839/4293839352.htm> (дата обращения: 17.04.2023 г)

11. Гуртовцев А.Е. Оптические трансформаторы и преобразователи тока. Принципы работы, устройство, характеристики // Новости Электротехники. 2019. №5.

12. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Техническая информация от компании ООО «Энерган» (г. Санкт-Петербург) URL: <https://www.ege-energan.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F/dugogasyashhie-katushki-petersona-6-35-kvt/> (дата обращения: 20.04.2023 г)

13. Злобина И.Г., Казакова Е.Ю., Шестакова Л.А. Электрические станции и подстанции: учебное пособие к выполнению курсового проекта. Чебоксары: ЧГУ, 2018. 361 с.

14. Иванов А.В., Колчин Т.В. Методическое пособие по расчету систем оперативного тока, собственных нужд, заземляющих устройств и молниезащиты подстанций 35 кВ и выше. Нижний Новгород: НГТУ, 2020. 287 с.

15. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник. 2-е изд. Минск: Техноперспектива, 2019. 271с.

16. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Москва: Мастерство, 2019. 320 с.

17. Костин В.Н. Электропитающие системы и электрические сети : учебно-методический комплекс. Санкт-Петербург: СППО, 2020. 410 с

18. Кушкова Е.И. Расчет заземляющих устройств в установках с эффективно-заземленной нейтралью : методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Киров: ВятГТУ, 2020. 198 с.

19. Ленков Ю.А., Хожин Г.Х. Выбор коммутационных аппаратов и токоведущих частей распределительных устройств электрических станций и подстанций : учебное пособие. URL: https://www.studmed.ru/lenkov-yua-hozhin-gh-vybor-kommutacionnyh-apparatov-i-tokoveduschih-chastey-raspredelitelnyh-ustroystv-elektricheskikh-stanciy-i-podstanciy_327ca42ad35.html (дата обращения: 20.04.2023 г)

20. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций : справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 2021.

21. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» от приказа ОАО «ФСК ЕЭС» от 04.08.2010 г. №110 п. 8. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092834> (дата обращения: 22.04.2023 г)

22. Правила устройства электроустановок ПУЭ – 7. URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 05.05.2023 г)

23. Презентация компании «ПроЛайн» – «Применение оптических высоковольтных измерительных трансформаторов на сетевых объектах 110–750 кВ». URL: http://www.cigre.ru/research_commitets/ik_rus/b4_rus/events/17may/09.%D0%9F% D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B2.pdf (дата обращения: 10.05.2023 г)

24. Руководство по эксплуатации: Шкаф микропроцессорной защиты и автоматики трансформатора 110–220 кВ типа «Бреслер ШТ». URL: <http://naladka.by/documents/PZA/%C2%F1%E5%20%F2%E8%EF%FB%20%F8%EA%E0%F4%EE%E2%20%C1%F0%E5%F1%EB%E5%F0.pdf> (дата обращения: 11.05.2023 г)

25. Руководство пользователю компании АBB – Кабельные системы с изоляцией из сшитого полиэтилена. URL: <https://library.e.abb.com/public/b1321ac559db401ab26cc3f99d0120c3/Manual-Giude-SafeRing&SafePlus%2012-24%20kV-2012.pdf> (дата обращения: 20.05.2023 г)
26. Синенко Л.С. Учебное пособие к практическим занятиям. Красноярск: ИПУ СФУ, 2019. 146 с.
27. Синягин Н.Н. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. URL: https://www.studmed.ru/sinyagin-nn-afanasev-aa-novikov-sa-sistema-planovo-predupreditelnogo-remonta-oborudovaniya-i-setey_422661ca840.html (дата обращения: 04.05.2023 г)
28. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения URL: <https://ru.djvu.online/file/zOtsUc8Y0yEft> (дата обращения: 22.04.2023 г)
29. Electric Power Substations Engineering (Electric Engineering Handbook). Third Edition. Edited by John D. McDonald. CRC Press, May 16, 2018. 536 pages
30. GRID 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 years, United States Department of Energy, Office of Electric Transmission and Distribution, 2020. 389 pages
31. A. Apostolov and M. Janssen. IEC 61850 impact on substation design, paper number 0633, IEEE PES, 2018. 698 pages
32. Electric Power Generation, Transmission, and Distribution, Third Edition Edited by Leonard L. Grigsby. CRC Press, 2018. 489 pages
33. Electric Power Transformer Engineering, Third Edition Edited by James H. Harlow. CRC Press, 2019. 657 pages.