

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электроснабжение завода по производству автомобильных
компонентов»

Студент

Д.Д. Нестеренко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2020

Аннотация

Выпускная квалификационная работа бакалавра выполнена на тему «Электроснабжение завода по производству автомобильных компонентов».

При выполнении работы были определены ожидаемые электрические нагрузки механического цеха и сборочного участка. Выбраны светильники для установки в системе внутреннего освещения и выполнен расчет мощности системы искусственного освещения. По значению суммарной нагрузки, полученной путем сложения силовых нагрузок и нагрузок от системы освещения, были выбраны мощности цеховых трансформаторных подстанций и определены необходимые мощности устройств компенсации РМ. Произведено обоснование и выбор схемы внутрицехового электроснабжения. Выполнен выбор проводников. Определены значения токов короткого замыкания, которые использовались для проверки выбранных электрических аппаратов. Произведен выбор и проверка на коммутационную способность и устойчивость к токам короткого замыкания автоматических выключателей, устанавливаемых на трансформаторных подстанциях.

Работа состоит из пояснительной записки, содержащей 54 страницы, 6 таблиц, 1 рисунок и графической части работы, выполненной на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1. Краткая характеристика производственного объекта	6
2. Расчет силовых электрических нагрузок	11
3. Расчет нагрузок системы искусственного освещения	19
4. Определения количества и номинальной мощности силовых трансформаторов, устанавливаемых на КТП	24
5. Выбор сечений проводов и кабелей	34
6. Определение значений токов короткого замыкания	39
7. Выбор и проверка автоматических выключателей, размещаемых на трансформаторных подстанциях	45
Заключение	51
Список используемых источников	52

Введение

Систему электроснабжения промпредприятия принято делить на 3 условные подсистемы:

- подсистему внешнего электроснабжения к которой относятся линии от энергосистемы до ГПП промышленного предприятия, как правило номинальное напряжение этих линий составляет от 35 до 220 кВ;

- подсистему внутризаводского электроснабжения к которой относятся ГПП или ТЭЦ предприятия, сети напряжением 6 или 10 кВ от ГПП до высоковольтных распределительных пунктов или КТП;

- подсистему внутрицехового электроснабжения к которой относятся КТП, внутрицеховые сети 0,4 кВ, низковольтные распределительные пункты и шинопроводы [1-3].

Состав и характеристики электроприемников (ЭП) подсистемы внутрицехового электроснабжения определяют структуру системы электроснабжения, режимы работы, состав мероприятий по компенсации реактивной мощности, снижению помех, создаваемых ЭП и т.п. Ниже рассмотрены основные характеристики ЭП [4].

По величине напряжения различают ЭП напряжением до и выше 1 кВ. Электроприемники напряжением до 1 кВ выпускаются на напряжения 0,22; 0,38; 0,66 кВ. Электроприемники напряжением выше 1 кВ выпускаются на напряжения 6 и 10 кВ.

По числу фаз различают однофазные и трехфазные ЭП. В электрических сетях до 1 кВ широко применяются как однофазные, так и трехфазные ЭП.

Однофазные ЭП могут выполняться на фазное или линейное напряжение.

В электрических сетях среднего класса напряжения применяются в основном трехфазные ЭП. Однофазные ЭП выпускаются и подключаются на линейное напряжение.

По роду тока приемники электроэнергии делятся на следующие группы:

- ЭП переменного тока частотой 50 Гц;
- ЭП постоянного тока, получающие питание от преобразовательных подстанций и установок;
- ЭП переменного тока частотой отличной от 50 Гц, получающие питание от индивидуальных преобразователей частоты.

По режиму работы все электроприемники подразделяются:

- на ЭП длительного режима работы;
- ЭП повторно-кратковременного режима работы;
- ЭП кратковременного режима работы.

Система электроснабжения промпредприятия должна удовлетворять ряду требований:

- создание безопасных условий для проведения работ;
- обеспечение требуемой надежности по электроснабжению электроприемников;
- обеспечение потребителей электроэнергией соответствующей ГОСТ 32144-2013;
- баланс между малыми затратами на строительство и последующую эксплуатацию СЭС ПП;
- готовность к изменению технологического процесса без необходимости коренного переустройства;
- экологичность и минимизация негативного воздействия на окружающую среду [5, 6].

Соблюдение этих требований должно обеспечиваться как на этапе проектирования системы электроснабжения, так и на этапе ее эксплуатации.

Цель работы заключается в обеспечении надежного функционирования системы электроснабжения завода по производству автомобильных компонентов.

1 Краткая характеристика производственного объекта

Предприятие является одним из поставщиков резинотехнических изделий элементов подвески на конвейеры крупнейших автопроизводителей легковых и грузовых-коммерческих автомобилей. Конструкцию и состав изделий разработали инженеры с использованием последних разработок в области современных материалов. В выпускаемую продукцию входят:

1. Сайлентблоки – важная деталь, которая помогает устранять колебания, амортизирует толчки и делает поездку комфортной. Вулканизированное соединение металла и резины передает усилия сжатия и сдвига и одновременно изолирует вибрацию и корпусный шум.

Хотя резинометаллические детали не считаются классическими "расходниками", они подвержены частому изнашиванию в связи высокой динамической нагрузкой и частому негативному воздействию факторов окружающей среды, таких как высокие температуры, противогололедные реагенты и озон;

2. Опоры стоек - чашеобразные опоры, устанавливаемые на амортизационные устройства переднеприводных автомобилей, связывают верхнюю часть амортизационной стойки с кузовом. Кроме того, нижняя её часть, является ограничителем для специальной компенсаторной пружины. Основная задача опорного подшипника — дать возможность амортизатору свободно вращаться в опоре;

3. Резинотехнические изделия (буфера и прокладки рессор);

4. Крышки заливных горловин - обеспечивают полную герметичность бака при помощи особых клапанов (выпускного и впускного) и резиновых прокладок. Эти детали обеспечивают бесперебойную работу автомобиля путем регулирования давления в системе охлаждения или в топливной системе и способствуют повышению уровня безопасности при эксплуатации технических средств;

5. Реактивные штанги- это металлическая шарнирная тяга между мостом и кузовом или между мостами задней тележки автомобиля и рамой. Назначение реактивной штанги в подвеске автомобиля обусловлено необходимостью компенсировать реактивный момент. При различных видах соединения шасси и кузова автомобиля возникает задача синхронного движения масс. И в этой задаче реактивная штанга предназначена для гашения колебаний и работает на растяжение-сжатие;

6. Штамповочные изделия и др.

Электроснабжение механического цеха производится от цеховой ТП4 с номинальными напряжениями 10/0,4 кВ, располагающейся внутри производственного корпуса. По надежности электроснабжения основная часть электроприемников относится к II категории. Работы в цеху производятся в 2 смены. Размеры цеха 60x24x15 м.

Список электроприемников механического цеха приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Список электроприемников механического цеха

№	Модель и марка ЭП	<i>n, шт</i>	<i>P_н, кВт</i>	1 фазный ЭП
1	Портальный обрабатывающий центр FRUH с верхним перемещающимся порталом (верхний гантри)	1	63	
2	Фиксированный двухстоечный обрабатывающий центр с опциональной автоматической системой КМС – 8127	2	55	
3	Токарно-карусельный станок серии TUE модель TUE-150S	3	78,5	
4	Горизонтальный обрабатывающий центр модели MH-800A	1	115	

Продолжение таблицы 1.1

№	Модель и марка ЭП	<i>n, шт</i>	<i>P_н, кВт</i>	1 фазный ЭП
5	Радиально-сверлильный станок Z3080x25	1	7,3	
6	Сверлильный станок 2С132Л с подачей СОЖ	1	2,2	Да
7	Сверлильный станок 2С132Л с подачей СОЖ	1	2,2	Да
8	Станок универсальный горизонтально-расточный 2620В	1	11	
9	2А622Ф4 горизонтально-расточной станок с ЧПУ	1	22	
10	Станок универсальный горизонтально-расточный 2620В	1	11	
11	Станок карусельно-шлифовальный одностоечный с УЦИ 3763Ф1	1	36	
12	Станок заточной универсальный 3Е642Е	1	1,9	Да
13	Станок алмазно-заточный (доводочный) GIGANT	1	3	Да
14	Станок алмазно-заточный (доводочный) GIGANT	1	3	Да
15	Обдирочно-шлифовальный станок 3М636	1	4,6	Да
16	Станок продольно-строгальный двухстоечный 7212	1	16	
17	Горизонтально-расточной станок GR130.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	4	45	
18	Координатно-расточной станок 2В440А особо высокой точности	1	20	
19	Горизонтально-расточной станок GR110.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	1	40	
20	Станок фрезерный продольный двухстоечный трехшпиндельный	1	87	

Продолжение таблицы 1.1

№	Модель и марка ЭП	<i>n, шт</i>	<i>P_н, кВт</i>	1 фазный ЭП
21	Токарно-карусельный станок КЗТС МОДЕЛЬ VE (1200-3200) "базовая"	1	58	
22	Радиально-сверлильный станок PROMA RV-32	2	2	Да
23	Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ2	1	115	
24	Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ3	1	130	
25	Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6112C	1	10	
26	Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	11	
27	Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	11	
28	Станок горизонтально-расточный IP1250Ф40	3	69,6	
29	Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с панелью цифровой индикации серии TPX61	3	69,6	
30	Пяти осевой расточной станок для тяжелых корпусных деталей с чистовой обработкой Schiess PVC130	1	50	
31	Фрезерно - гравировальный станок studer SFM500	1	5,5	
32	Координатно-расточной станок 2B600A особо высокой точности	1	47	
33	Координатно-расточной станок 2B700A особо высокой точности	1	58	
34	Горизонтально-расточной станок CBA-50R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	35	

Продолжение таблицы 1.1

№	Модель и марка ЭП	<i>n, шт</i>	<i>P_н, кВт</i>	1 фазный ЭП
35	Горизонтально-расточной станок CBA-110R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	80	
36	Станок продольно-строгальный двухстоечный 7A212	1	55	
37	Станок универсальный горизонтально-расточный 2620B	1	11,2	
38	Горизонтально-расточной станок CBA-52R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	36	
39	Токарно-винторезный станок по металлу SunMaster серии ERL	1	4,7	
40	Пресс гидравлический напольный TS0500-3	1	13	
41	Настольный сверлильный станок BOSCH PBD 40	1	0,67	
42	Аппарат для развальцовки труб МЭР-11М	1	6	
43	Контрольно-испытательный стенд	1	6,2	
44	Контрольно-испытательный стенд	1	2,8	Да
45	Стенд СОРОКИН 10.31 для очистки деталей	1	2	Да
46	Станок для обжима гидравлических шлангов DSG-51B	1	2,2	Да
47	Прочистная машина	1	4	Да
48	Контрольно-испыт. стенд	1	2	Да
49	Испытательный стенд Промтекс	1	1	Да
50	Импульсный магнитный излучатель И100-30	1	1,5	Да
51	Электрическая печь Harvia Compact JM25	1	2,4	Да

Вывод: дана краткая характеристика производственного объекта.

2 Расчет силовых электрических нагрузок

Для приемников повторно-кратковременного режима работы номинальная мощность приводится к длительному режиму по формулам [7-9]:

$$P_H = P_{ПВ}\sqrt{ПВ}, P_H = S_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi, \quad (2.1)$$

где $P_{ПВ}$, $S_{ПВ}$ — паспортные активная, полная мощности соответственно; ПВ — относительная продолжительность включения в долях единицы.

Для однофазных ЭП расчетная нагрузка равна условной трехфазной номинальной мощности $P_p = P_{н.у.}$. При включении однофазного ЭП на фазное напряжение $P_{н.у.}$ определяется как утроенное значение номинальной мощности ЭП

$$P_{н.у.} = 3P_H. \quad (2.2)$$

Для однофазных ЭП с повторно-кратковременным режимом работы

$$P_{н.у.} = 3P_{ПВ}\sqrt{ПВ} \text{ или } P_{н.у.} = 3S_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi. \quad (2.3)$$

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение $P_{н.у.}$ определяется как

$$P_{н.у.} = \sqrt{3}P_H. \quad (2.4)$$

Для однофазных ЭП с повторно-кратковременным режимом работы

$$P_{н.у.} = \sqrt{3}P_{ПВ}\sqrt{ПВ} \text{ или } P_{н.у.} = \sqrt{3}S_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi. \quad (2.5)$$

Распределяем однофазные электроприемники по фазам с наибольшей равномерностью мощностей:

$$P_{AB} = 13,2; P_{BC} = 13,5; P_{AC} = 13,6.$$

Находим наиболее и наименее загруженные фазы:

$$P_B = P_{\phi.НБ.} = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}, \quad (2.6)$$

$$P_B = P_{\phi.НБ.} = \frac{13,2 + 13,5}{2} = 13,35,$$

$$P_A = P_{\phi.НМ.} = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2}, \quad (2.7)$$

$$P_A = P_{\phi.НМ.} = \frac{13,6 + 13,2}{2} = 13,4.$$

Определяем неравномерность загрузки фаз мощностью однофазных ЭП:

$$H = \frac{P_{\phi.НБ.} - P_{\phi.НМ.}}{P_{\phi.НМ.}} \cdot 100\%, \quad (2.8)$$

$$H = \frac{13,4 - 13,35}{13,35} \cdot 100 = 0,14\%$$

Поскольку нагрузки распределены равномерно, что подтверждается значением неравномерности меньшим 15%, то трехфазная суммарная мощность равна

$$P_H^{(3)} = \sum P_{\phi} = 40,3 \text{ кВт.}$$

Суммарная номинальная мощность ЭП второго участка составляет:
 $P_n = 119$ кВт при эффективном числе электроприемников $n_{\text{Э}} = 8$.

Расчетная активная нагрузка в целом по участку определяется по выражению:

$$P_P = K_M P_C = K_M K_{II} P_H, \quad (2.9)$$
$$P_P = 0,91 \cdot 0,75 \cdot 119 = 81,2 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка в целом по участку определяется по выражению:

$$Q_P = 1,1 Q_C = 1,1 P_H K_{II} \text{tg} \varphi, \quad (2.10)$$
$$Q_P = 1,1 \cdot 119 \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 129,4 \text{ квар.}$$

Вывод: результаты расчетов ожидаемых электрических нагрузок по механическому цеху заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов ожидаемых электрических нагрузок по механическому цеху

№	Наименование ЭП	n	P_n	$P_{нсум}$	m	K_u	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_{э}$	K_m	P_p	Q_p	S_p	I_p
1	Портальный обрабатывающий центр FRUH с верхним перемещающимся порталом (верхний гантри)	1	63	63		0,17	0,65/ 1,17	10,7	12,5						
2	Фиксированный двухстоечный обрабатывающий центр с опциональной автоматической системой КМС – 8127	1	55	55		0,17	0,65/ 1,17	9,4	10,9						
3	Токарно-карусельный станок серии TUE модель TUE-150S	1	79	79		0,16	0,5/1,73	12,6	21,7						
4	Горизонтальный обрабатывающий центр модели MH-800A	1	115	115		0,17	0,65/ 1,17	19,6	22,9						
5	Радиально-сверлильный станок Z3080x25	1	7,3	7,3		0,14	0,5/1,73	1	1,8						
6	Станок универсальный горизонтально-расточный 2620B	1	11	11		0,16	0,5/1,73	1,8	3						
7	2A622Ф4 горизонтально-расточной станок с ЧПУ	2	22	44		0,16	0,5/1,73	7	12,2						
8	Станок универсальный горизонтально-расточный 2620B	1	11	11		0,16	0,5/1,73	5,3	9,1						
9	Станок карусельно-шлифовальный одностоечный с УЦИ 3763Ф1	1	36	36		0,16	0,5/1,73	5,8	9,9						
10	Станок продольно-строгальный двухстоечный 7212	1	16	16		0,17	0,65/ 1,17	2,72							
11	Горизонтально-расточной станок GR130.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	4	45	180		0,16	0,5/ 1,73	28,8	3,2						
12	Координатно-расточной станок 2B440A особо высокой точности	1	20	20		0,16	0,5/ 1,73	3,2	49,8						
13	Горизонтально-расточной станок GR110.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	1	40	40		0,17	0,65/ 1,17	6,8	5,5						

Продолжение таблицы 2.1

№	Наименование ЭП	n	P_n	$P_{нсум}$	m	K_u	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_э$	K_m	P_p	Q_p	S_p	I_p
14	Станок фрезерный продольный двухстоечный трехшпиндельный	1	87	87		0,17	0,65/ 1,17	14,8	7,9						
15	Токарно-карусельный станок КЗТС МОДЕЛЬ VE (1200-3200) "базовая"	1	58	58		0,16	0,5/ 1,73	9,3	17,3						
16	Продольно-шлифовальный станок HESKERT, SZ2	1	115	115		0,17	0,65/ 1,17	19,6	16						
17	Продольно-шлифовальный станок HESKERT, SZ3	1	130	130		0,17	0,65/ 1,17	22,1	25,8						
18	Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6112C	1	10	10		0,16	0,5/ 1,73	1,6	2,8						
19	Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	11	11		0,16	0,5/ 1,73	1,8	3						
20	Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	11	11		0,16	0,5/ 1,73	1,8	3						
21	Станок горизонтально-расточный IP1250Ф40	3	70	210		0,17	0,65/ 1,1	35,6	41,7						
22	Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с панелью цифровой индикации серии TPX61	3	70	210		0,17	0,65/ 1,17	35,6	41,7						
23	Пяти осевой расточной станок для тяжелых корпусных деталей с чистовой обработкой Schiess PBC130	1	50	50		0,16	0,5/1,73	8	13,8						
24	Фрезерно - гравировальный станок studer SFM500	1	5,5	5,5		0,16	0,5/ 1,73	0,9	1,5						
25	Координатно-расточной станок 2B600A особо высокой точности	1	47	47		0,16	0,5/ 1,73	7,5	12,9						

Продолжение таблицы 2.1

№	Наименование ЭП	n	P_n	$P_{н\text{сум}}$	m	K_u	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_{э}$	K_m	P_p	Q_p	S_p	I_p
26	Координатно-расточной станок 2В700А особо высокой точности	1	58	58		0,17	0,65/ 1,17	9,9	11,5						
27	Горизонтально-расточной станок СВА-50R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	35	35		0,16	0,5/ 1,73	5,6	9,7						
28	Горизонтально-расточной станок СВА- 110R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	80	80		0,17	0,65/ 1,17	13,6	15,9						
29	Станок продольно-строгальный двухстоечный 7А212	1	55	55		0,17	0,65/ 1,17	9,4	10,9						
30	Станок универсальный горизонтально- расточный 2620В	1	11	11		0,16	0,5/ 1,73	1,8	3,1						
31	Горизонтально-расточной станок СВА-52R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	36	36		0,16	0,5/ 1,73	5,8	10						
32	Токарно-винторезный станок по металлу SunMaster серии ERL	1	4,7	4,7		0,16	0,5/ 1,73	0,8	1,3						
33	Пресс гидравлический напольный TS0500-3	1	13	13		0,16	0,5/ 1,73	2,1	3,6						
34	Аппарат для развальцовки труб МЭР-11М	1	6	6		0,16	0,5/ 1,73	1	1,7						
35	Контрольно-испытательный стенд	1	6,2	6,2		0,16	0,5/ 1,73	1	1,7						
36	Сверлильный станок 2С132Л с подачей СОЖ	1	2,2	40		0,16	0,6/ 1,33	6,5	8,6						
	Сверлильный станок 2С132Л с подачей СОЖ	1	2,2												
	Станок заточной универсальный 3Е642Е	1	1,9												
	Станок алмазно-заточный (доводочный) GIGANT	1	3												

Продолжение таблицы 2.1

№	Наименование ЭП	n	P_n	$P_{н\text{сум}}$	m	K_u	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_{э}$	K_m	P_p	Q_p	S_p	I_p
	Станок алмазно-заточный (доводочный) GIGANT	2	3												
	Обдирочно-шлифовальный станок 3М636	1	4,6												
	Радиально-сверлильный станок ПРОМА RV-32	1	2												
	Настольный сверлильный станок JET JDP- 10	1	0,7												
	Контрольно-испытательный стенд	1	2,8												
	Стенд СОРОКИН 10.31 для очистки деталей	1	2												
	Станок для обжима гидравлических шлангов DSG-51B	1	2,2												
	Прочистная машина	1	4												
	Контрольно-испытательный стенд	1	2												
	Испытательный стенд Промтекс	1	1												
	Импульсный магнитный излучатель И100- 30	1	1,5												
	Электрическая печь Narvia Compact JM25	1	2,4												
37	Машина контактной сварки с радиальным ходом плеча FUBAG RSV 50ПВ с блоком 38950	6	40	240		0,2	0,4/ 2,29	48	110						
38	Машина контактной сварки с радиальным ходом плеча FUBAG RSV 50ПВ с блоком 38630	1	40	40		0,2	0,4/ 2,29	8	18,3						

Продолжение таблицы 2.1

№	Наименование ЭП	n	P_n	$P_{нсум}$	m	K_u	$\cos\varphi$ / $\tan\varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_{э}$	K_m	P_p	Q_p	S_p	I_p
	Всего по механическому цеху	69	130/1	2268	>3	0,17	-/1,49	386	579	18	0,8	308	579	656	996
	Освещение											99	60		
	Участок сборочный											81	129		
	Итого о цеху											489	767	910	1382

3 Расчет нагрузок системы искусственного освещения

Современное освещение характеризует следующие основные критерии [10, 11]:

- видимость;
- электро-, взрыво- и пожаробезопасность;
- энергосбережение;
- эстетичность;
- экономичность и др.

Видимость обеспечивается выполнением норм освещения, определённых нормативными документами:

- СП52.13300.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23-05-95*);
- Отраслевыми документами;
- Различными санитарными правилами и нормами (СанПИН).

По СП52.13300.2011 для внутреннего освещения устанавливаются следующие показатели:

- Для промышленных предприятий: освещённость в точках её минимального значения; сочетание показателей ослеплённости и коэффициента пульсации освещённости; индекс цветопередачи, диапазон цветовых температур;
- Для общественных и административных зданий: освещённость в точках её минимального значения; цилиндрическая освещённость; объединённый показатель UGR; коэффициент пульсации освещённости; индекс цветопередачи; диапазон цветовых температур;
- Для улиц и дорог: средняя освещённость дорожного покрытия; средняя яркость дорожного покрытия; равномерность распределения яркости и освещённость дорожного покрытия.

Электро-, взрыво- и пожаробезопасность систем освещения

обеспечивается правильным выбором системы заземления сети освещения, светотехнического и электрического оборудования.

Энергосбережение в системах освещения обеспечивается применением:

- Энергосберегающих источников света;
- Светильников с высоким к.п.д. с рекомендуемым светораспределением;
- Современных ЭПРА с малым уровнем потерь;
- Управляемых систем освещения.

В настоящее время до 80 % установок освещения старые и малоэффективные. При этом ежегодно замене подвергается лишь 3% установок уличного освещения, 2% офисного освещения [12, 13].

Эстетичность означает, что освещение должно не только выполнять свои прямые функции, но и украшать освещаемый объект.

Экономичность. Выбор системы освещения по критерию минимальных затрат допустим только при строгом выполнении основных требований к системам освещения и часто определяется возможностями заказчика.

Поскольку полная высота производственного корпуса равна 15 м, то выбираем для размещения на производстве светильники с лампами номинальной мощности 400 Вт.

Расчет внутреннего освещения производим по методу коэффициента использования светового потока. Определяем площадь механического цеха по формуле:

$$S = a \cdot b, \quad (3.1)$$

$$S = 138 \cdot 60 = 8280 \text{ м}^2.$$

Найдем значение индекса помещения:

$$\phi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)}, \quad (3.2)$$

$$\phi = \frac{8280}{(15 - 1) \cdot (138 + 60)} = 2,9.$$

В зависимости от материала и цвета стен, потолка и пола находим по справочным данным коэффициенты отражения. Для данного помещения принимаем коэффициенты отражения равными 50% / 30% / 10%, что соответствует производственному помещению со средним загрязнением при проведении трехгодичного технического обслуживания светильников.

Для установки в выбранном светильнике принимаем металлогалогенные лампы фирмы Osram со световым потоком одной лампы равным 32500 лм.

Определим требуемое число светильников в системе освещения:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_z}{\eta \cdot n \cdot \Phi_l}, \quad (3.3)$$

$$N = \frac{300 \cdot 8280 \cdot 1,5}{0,58 \cdot 1 \cdot 32500} = 197 \text{ шт.}$$

Суммарная нагрузка системы освещения механического цеха составит:

$$P_{\text{oy1}} = P_{\text{нол}} \cdot n \cdot N, \quad (3.4)$$

$$P_{\text{oy1}} = 400 \cdot 1 \cdot 197 = 78,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{oy1}} = P_{\text{oy}} \cdot \text{tg} \phi, \quad (3.5)$$

$$Q_{\text{oy1}} = 78800 \cdot 0.6 = 47,280 \text{ квар.}$$

Определим площадь сборочного участка:

$$S = a \cdot b, \quad (3.6)$$

$$S = 60 \cdot 24 = 1440 \text{ м}^2.$$

Найдем значение индекса помещения:

$$\phi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)}, \quad (3.7)$$

$$\phi = \frac{1440}{(15 - 1) \cdot (60 + 24)} = 1,2.$$

В зависимости от материала и цвета стен, потолка и пола находим по справочным данным коэффициенты отражения. Для данного помещения принимаем коэффициенты отражения равными 50% / 30% / 10%, что соответствует производственному помещению со средним загрязнением при проведении трехгодичного технического обслуживания светильников.

Для установки в выбранном светильнике принимаем металлогалогенные лампы фирмы Osram со световым потоком одной лампы равным 32500 лм.

Определим требуемое число светильников в системе освещения:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_z}{\eta \cdot n \cdot \Phi_l}, \quad (3.8)$$

$$N = \frac{300 \cdot 1440 \cdot 1,5}{0,39 \cdot 1 \cdot 32500} = 51 \text{ шт.}$$

Суммарная нагрузка системы освещения сборочного участка составит:

$$P_{\text{oy1}} = P_{\text{нол}} \cdot n \cdot N, \quad (3.9)$$

$$P_{\text{oy2}} = 400 \cdot 1 \cdot 51 = 20,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{oy1} = P_{oy} \cdot tg\phi, \quad (3.10)$$

$$Q_{oy2} = 20400 \cdot 0.6 = 12,240 \text{ квар.}$$

Общая мощность, потребляемая системой внутреннего освещения производственного корпуса:

$$\sum P_{oy} = P_{oy1} + P_{oy2}, \quad (3.11)$$

$$\sum P_{oy} = 78,8 + 20,4 = 99,2 \text{ кВт,}$$

$$\sum Q_{oy} = Q_{oy1} + Q_{oy2}, \quad (3.12)$$

$$\sum Q_{oy} = 47,28 + 12,24 = 59,52 \text{ квар.}$$

Итоговые данные вносятся в таблицу 2.1 в строку «Освещение» и складываются с силовой нагрузкой.

Вывод: определены нагрузки системы искусственного освещения.

4 Определения количества и номинальной мощности силовых трансформаторов, устанавливаемых на КТП

Определяющим при выборе номинальной мощности трансформаторов является условие выбора по допустимой аварийной перегрузке [14, 15].

Значение номинальной мощности $S_{н.т}$ для подстанций с числом трансформаторов два и более определяется по выражению

$$S_{н.т} \geq \frac{S_{p.a}}{k_{д.пер}(n-1)} \quad (4.1)$$

где $S_{p.a}$ - расчетная мощность послеаварийного режима на стороне ВН подстанции; $k_{д.пер}$ - допустимое значение коэффициент аварийной перегрузки в долях номинальной мощности (тока); n - число трансформаторов.

Для однострансформаторной подстанции со связями по вторичному напряжению

$$S_{н.т} \geq \frac{S_{p.a}}{k_{д.пер}} \quad (4.2)$$

где $S_{p.a}$ - расчетная мощность на стороне ВН трансформатора с учетом мощности, передаваемой другой подстанции по связям вторичного напряжения.

Для однострансформаторных подстанций без связей по вторичному напряжению номинальная мощность трансформатора выбирается по нагрузке нормального режима работы:

$$S_{н.т} \geq S_p \quad (4.3)$$

где S_p - расчетная мощность нормального режима работы па стороне ВН трансформатора.

По шкале номинальных мощностей трансформаторов принимается ближайшее большее стандартное значение номинальной мощности.

В таблицу 4.1 сводим конечные данные по нагрузкам, питаемым от подстанции.

Таблица 4.1 – Нагрузки механического цеха и участка сборочного, питаемые от подстанции

Нагрузка	P_c , кВт	Q_c , квар	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Силовая нагрузка механического цеха	386	578	308	578	656
Нагрузка освещения механического цеха	99	59	99	59	115
Участок сборочный	119	129	81	129	139
Итого по ТП	604	767	489	767	910

Номинальная мощность СТ определяем из выражения:

$$S_{HT} > \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 N_T}, \quad (4.4)$$

$$S_{HT} > \frac{604}{0,7 \cdot 2} = 431 \text{ кВА},$$

Коэффициент загрузки трансформаторов принимаем равным 0,7.

По шкале мощностей выбираем большее значение 630 кВА.

Рассмотрим вариант установки на КТП трансформаторов мощностью 630 кВА.

По сайту производителя находим паспортные данные и стоимость трансформаторов: $\Delta P_{XX} = 1.05 \text{ кВт}$; $\Delta P_{K3} = 7.6 \text{ квар}$; $i_{XX} = 2\%$; $u_{K3} = 5.5\%$,
 $K_T = 294 \text{ тыс. руб.}$

Потери активной и реактивной мощности в СТ КТП:

$$\Delta P_{mp} = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{K3}), \quad (4.5)$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (1.05 + 0.7^2 \cdot 7.6) = 9.55 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{mp} = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (4.6)$$

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot (2 + 0.7^2 \cdot 5.5) \cdot \frac{630}{100} = 59.16 \text{ квар}.$$

Определим значение расчетной нагрузки цеху с учетом определенных выше потерь мощности в СТ КТП:

$$P_P = P_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (4.7)$$

$$P_P = 604 + 2 \cdot 9.55 = 623.1 \text{ кВт},$$

$$Q_P = Q_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (4.8)$$

$$Q_P = 767 + 2 \cdot 59.16 = 885.3 \text{ квар},$$

$$Q_{\min} = 0,7 \cdot Q_P, \quad (4.9)$$

$$Q_{\min} = 0,7 \cdot 885,3 = 619,7 \text{ квар}.$$

1. Найдем входные реактивные мощности:

$$a) \quad Q'_{\text{с1}} = Q_P - 0,7 Q_{c0}, \quad (4.10)$$

$$Q'_{\text{с1}} = 885,3 - 0,7 \cdot 0 = 885,3 \text{ квар};$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha P_P, \quad (4.11)$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = 0.28 \cdot 623.1 = 174.5 \text{ квар.}$$

Принимаем меньшее из определенных выше значений 174.5 квар.

$$\text{б) } Q_{\varepsilon 2, \varepsilon} = Q_{\min} - Q_{\kappa \partial} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\varepsilon 1}), \quad (4.12)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \varepsilon} = 619.7 - (885.3 - 174.5) = -91.1 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (4.13)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 619.7 + 0 = 619.7 \text{ квар};$$

$$Q_{\kappa} = 0.$$

Из-за повышения напряжения в часы минимума нагрузки принимаем большее значение $Q_{\varepsilon 2} = Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 619.7$ квар.

2. Определяем суммарную мощность компенсирующих установок, необходимых для установки:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\varepsilon 1}, \quad (4.14)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot 885.3 - 174.5 = 843.6 \text{ квар.}$$

Из них нерегулируемая мощность составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (4.15)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 619.7 - 619.7 = 0.$$

То есть вся мощность устройств компенсации должна иметь возможность изменения в течении суток.

3. Найдем величину реактивной мощности для передачи из сети напряжением 10кВ в сеть напряжением 0,4кВ, которую не нужно компенсировать:

$$Q_{эH} = Q_{э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (4.16)$$

$$Q_{эH} = 174.5 - (885.3 - 767) = 56.2 \text{квар}.$$

4. «Значение реактивной мощности, которую целесообразно передать через силовые в сеть 0,4 кВ» [16]:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (4.17)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 630)^2 - 604^2} = 642.7 \text{квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (4.18)$$

$$Q_{KVH} = 767 - 642.7 = 124.3 \text{квар},$$

$$Q_{KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (4.19)$$

$$Q_{KVB} = 843.6 - 124.3 = 719.4 < 800 \text{квар}.$$

Размещение конденсаторных установок в сети 10 кВ является нецелесообразным.

По найденным значениям принимаем к установке на КТП 2 трансформатора ТМГ-630/10 с двумя конденсаторными установками АУКРМ 0,4 мощность по 75 квар.

5. «Время максимальных потерь» [16]:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_P, \quad (4.20)$$

$$\tau = \left(0.124 + \frac{4800}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3195.8 \text{ ч.}$$

6. Стоимость потерь электрической энергии в СТ КТП за год.

Определим значение удельной стоимости потерь ХХ в СТ:

$$C_{XX} = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot T_P, \quad (4.21)$$

$$C_{XX} = \left(\frac{439.2 \cdot 12}{4800} + 1.2 \right) \cdot 8760 = 20.13 \text{ тыс.руб/кВт.}$$

Определим значение удельной стоимости активных нагрузочных потерь в СТ:

$$C_{K3} = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot \tau, \quad (4.22)$$

$$C_{K3} = \left(\frac{439.2 \cdot 12}{4800} + 1.2 \right) \cdot 3195.8 = 7.344 \text{ тыс.руб/кВт,}$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_{XX} \cdot \Delta P_{XX} + C_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}, \quad (4.23)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 20.13 \cdot 1.05 + 7.344 \cdot 0.7^2 \cdot 7.6 = 48.486 \text{ тыс.руб.}$$

7. Приведенные затраты на КТП составят:

$$Z_{КТП} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV} \cdot N_{KV}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T, \quad (4.24)$$

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot ((294 \cdot 2) + (38.2 \cdot 2)) + (48.486 \cdot 2) = 245.133 \text{ тыс.руб.}$$

Рассмотрим вариант установки на КТП трансформаторов мощностью 1000 кВА.

По сайту производителя находим паспортные данные и стоимость трансформаторов: $\Delta P_{XX} = 1.55 \text{ кВт}$; $\Delta P_{K3} = 10.2 \text{ квар}$; $i_{XX} = 2\%$; $u_{K3} = 5.5\%$,
 $K_T = 421 \text{ тыс. руб}$.

Потери активной и реактивной мощности в СТ КТП:

$$\Delta P_{mp} = N_T \cdot (P_{XX} + K_3^2 \cdot P_{K3}) \quad (4.25)$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (1.55 + 0.7^2 \cdot 10.2) = 13.1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{mp} = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (4.26)$$

$$\cdot \Delta Q_{mp} = 2 \cdot (2 + 0.7^2 \cdot 5.5) \frac{1000}{100} = 93.9 \text{ квар}.$$

Определим значение расчетной нагрузки цеху с учетом определенных выше потерь мощности в СТ КТП:

$$P_P = P_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (4.27)$$

$$P_P = 604 + 2 \cdot 13.1 = 630.2 \text{ кВт},$$

$$Q_P = Q_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (4.28)$$

$$Q_P = 767 + 2 \cdot 93.9 = 954.8 \text{ квар},$$

$$Q_{\min} = 0,7 \cdot Q_P, \quad (4.29)$$

$$Q_{\min} = 0.7 \cdot 954.8 = 668.4 \text{ квар}.$$

8. Найдем входные реактивные мощности:

$$a) \quad Q'_{\text{эл}} = Q_P - 0,7 Q_{c0}, \quad (4.30)$$

$$Q'_{\text{эл}} = 954.8 - 0.7 \cdot 0 = 954.8 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{эл}} = \alpha P_P, \quad (4.31)$$

$$Q''_{\text{эл}} = 0.28 \cdot 630.2 = 176.5 \text{ квар}.$$

Принимаем меньшее из определенных выше значений 176.5 квар.

$$\text{б) } Q_{\varepsilon 2, \text{в}} = Q_{\min} - Q_{\kappa \partial} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\varepsilon 1}), \quad (4.32)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{в}} = 668.4 - (954.8 - 176.5) = -110 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (4.33)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 668.4 + 0 = 668.4 \text{ квар};$$

$$Q_{\kappa} = 0.$$

Из-за повышения напряжения в часы минимума нагрузки принимаем большее значение $Q_{\varepsilon 2} = Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 668.4$ квар.

9 Определяем суммарную мощность компенсирующих установок, необходимых для установки:

$$Q_{\kappa \text{у max}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (4.34)$$

$$Q_{\kappa \text{у max}} = 1,15 \cdot 954.8 - 176.5 = 921.6 \text{ квар}.$$

Из них нерегулируемая мощность составит:

$$Q_{\kappa \text{у min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (4.35)$$

$$Q_{\kappa \text{у min}} = 668.4 - 668.4 = 0.$$

То есть вся мощность устройств компенсации должна иметь возможность изменения в течении суток.

10. Найдем величину реактивной мощности для передачи из сети напряжением 10кВ в сеть напряжением 0,4кВ, которую не нужно компенсировать:

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (4.36)$$

$$Q_{эH} = 176.5 - (954.8 - 767) = -11.3 \text{ квар}.$$

11. «Значение реактивной мощности, которую целесообразно передать через силовые в сеть 0,4 кВ» [16]:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (4.37)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 1000)^2 - 604^2} = 1263 \text{ квар},$$

$$Q_{КУН} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (4.38)$$

$$Q_{КУН} = 767 - 1263 = -496 \text{ квар},$$

$$Q_{КУВ} = Q_{КУ \max} - Q_{КУН}, \quad (4.39)$$

$$Q_{КУВ} = 921.6 - 0 = 921.6 \text{ квар}.$$

Размещение конденсаторных установок в сети 0,4 кВ является нецелесообразным.

По найденным значениям принимаем к установке на КТП 2 трансформатора ТМГ-1000/10.

12. Стоимость потерь электрической энергии в СТ КТП за год:

$$C \cdot \Delta P_T = C_{XX} \cdot \Delta P_{XX} + C_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}, \quad (4.40)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 20.13 \cdot 1.55 + 7.344 \cdot 0.7^2 \cdot 10.2 = 67.907 \text{ тыс.руб.}$$

13. Приведенные затраты на КТП составят:

$$Z_{КТП} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{КУ} \cdot N_{КУ}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T, \quad (4.41)$$

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot 421 \cdot 2 + 67.907 \cdot 2 = 323.58 \text{ тыс.руб.}$$

Исходя из минимальных значений приведенных затрат принимаем для электроснабжения механического цеха предприятия КТП с установкой на ней двух трансформаторов ТМГ-630/10 с двумя конденсаторными установками АУКРМ 0,4 мощность по 75 квар.

Вывод: трансформаторную подстанцию выбираем комплектной – производства Самарского завода «Электрощит» типа 2КТП-ВЦ-АТ-630/6(10)/0,4-УЗ.

5 Выбор сечений проводов и кабелей

Подключение электроприемника 2А622Ф4 горизонтально-расточной станок с ЧПУ с номинальной мощностью $P_{H1} = 22$ кВт, и коэффициентом мощности $\cos\varphi_{H1} = 0,5$ к комплектному шинопроводу выполняется четырьмя одножильными изолированными проводами типа ПВ, проложенными в ПВХ трубе.

Значение расчетного тока электроприемника находим из выражения [17, 18]:

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (5.6)$$
$$I_p = i_H = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5 \cdot 0,825} = 81 \text{ A.}$$

Согласно справочным таблицам принимаем поправочный коэффициент на температуру окружающей среды - 0,94.

Значение тока с учетом поправочного коэффициента на температуры среды:

$$I_{дон} \geq \frac{81}{0,94} = 86,1 \text{ A.}$$

По данным о длительно допустимых токах для проводов принимаем сечение провода ПВ 4(1x25).

Для остальных электроприемников механического цеха выбор проводов и кабелей производим аналогично, а результаты расчетов заносим в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты выбора проводов и кабелей к электроприемникам механического цеха

Наименование ЭП	I_p, A	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Портальный обрабатывающий центр FRUN с верхним перемещающимся порталом (верхний гантри)	178	210	70
Фиксированный двухстоечный обрабатывающий центр с опциональной автоматической системой КМС – 8127	155	170	50
Токарно-карусельный станок серии TUE модель TUE-150S	289	290	120
Сверлильный станок 2С132Л с подачей СОЖ	8,6	15	1
Станок универсальный горизонтально-расточный 2620В	40	42	6
Радиально-сверлильный станок Z3080x25	28,6	35	4
Сверлильный станок 2С132Л с подачей СОЖ	8,6	15	1
Станок универсальный горизонтально-расточный 2620В	40	42	6
Станок карусельно-шлифовальный одностоечный с УЦИ 3763Ф1	132	170	50
Станок заточной универсальный 3Е642Е	7,4	15	1
Станок алмазно-заточный (доводочный) GIGANT	9	15	1
2А622Ф4 горизонтально-расточной станок с ЧПУ	86,1	100	25
Станок алмазно-заточный (доводочный) GIGANT	9	15	1

Продолжение таблицы 5.1

Наименование ЭП	I_p, A	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Горизонтально-расточной станок GR130.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	176	210	70
Обдирочно-шлифовальный станок 3М636	18	22	2
Станок продольно-строгальный двухстоечный 7212	45	51	8
Координатно-расточной станок 2В440А особо высокой точности	78,3	80	16
Станок фрезерный продольный двухстоечный трехшпиндельный	246	255	95
Горизонтально-расточной станок GR110.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	113	125	35
Токарно-карусельный станок КЗТС МОДЕЛЬ VE (1200-3200) "базовая"	213	255	95
Радиально-сверлильный станок ПРОМА RV-32	7,8	15	1
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ2	325	330	150
Горизонтальный расточно-фрезерный станок ТХ6113С	40	42	6
Горизонтальный расточно-фрезерный станок ТХ6112С	36	39	5
Станок горизонтально-расточный ИР1250Ф40	272,7	290	120
Горизонтальный расточно-фрезерный станок ТХ6113С	40	42	6

Продолжение таблицы 5.1

Наименование ЭП	<i>I_p, А</i>	<i>I_{дл.доп}, А</i>	<i>F, мм²</i>
Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с панелью цифровой индикации серии TRX61	272,7	290	120
Фрезерно - гравировальный станок studer SFM500	20	22	2
Горизонтальный обрабатывающий центр модели МН-800А	313	330	150
Пяти осевой расточной станок для тяжелых корпусных деталей с чистовой обработкой Schiess PBC130	184	210	70
Пресс гидравлический напольный TS0500-3	47	51	8
Координатно-расточной станок 2В600А особо высокой точности	184	210	70
Горизонтально-расточной станок СВА-110R с системой ЧПУ Siemens 840D	227,2	255	95
Горизонтально-расточной станок СВА-50R с системой ЧПУ Siemens 840D	137	170	50
Аппарат для развальцовки труб МЭР-11М	23,5	25	2,5
Станок продольно-строгальный двухстоечный 7А212	215	255	95
Станок универсальный горизонтально-расточный 2620В	43,8	51	8

Продолжение таблицы 5.1

Наименование ЭП	I_p, A	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Горизонтально-расточной станок СВА-52R с системой ЧПУ Siemens 840D	141	170	50
Токарно-винторезный станок по металлу SunMaster серии ERL	18,4	22	2
Контрольно-испытательный стенд	7,8	15	1
Настольный сверлильный станок JET JDP-10	2,6	15	1
Испытательный стенд Промтекс	7,8	15	1
Контрольно-испытательный стенд	24,2	25	2,5
Стенд СОРОКИН 10.31 для очистки деталей	10,9	15	1
Импульсный магнитный излучатель И100-30	5,8	15	1
Станок для обжима гидравлических шлангов DSG-51B	8,6	15	1
Прочистная машина	15,6	16	1,2
Машина контактной сварки с радиальным ходом плеча FUBAG RSV 50PB с блоком 38950	184	210	70
Контрольно-испытательный стенд	3,9	15	1
Электрическая печь Harvia Compact JM25	9,4	15	1

Вывод: произведен выбор сечений проводов и кабелей.

6 Определение значений токов короткого замыкания

При необходимости определения токов КЗ на шинах подстанции или в других точках сети до 1 кВ необходимо дополнительно учитывать:

- индуктивные и активные сопротивления коротких участков шин, трансформаторов тока, токовых катушек автоматических выключателей;
- активные сопротивления контактов коммутационных аппаратов.

Более точные расчеты выполняются с учетом:

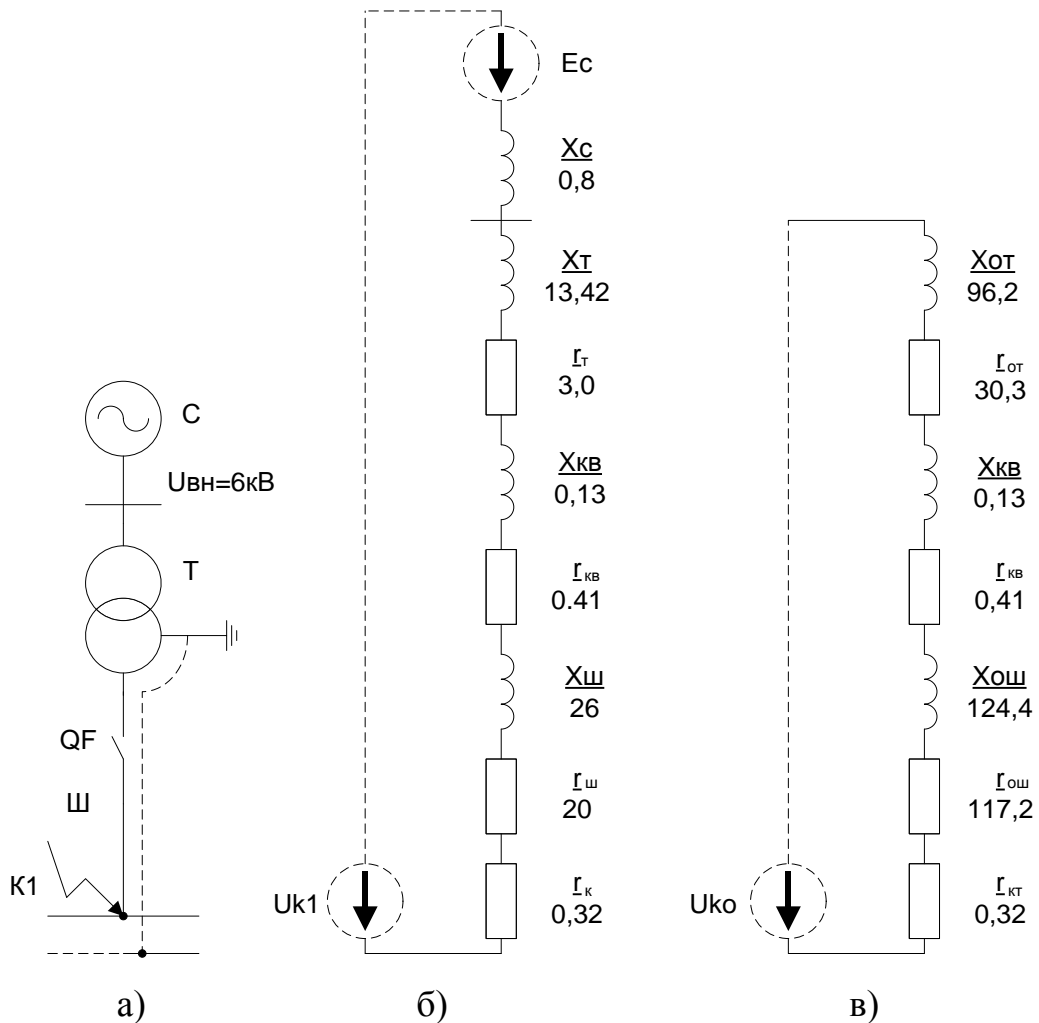
- контактных соединений проводников (шин, кабелей);
- сопротивления электрической дуги в месте короткого замыкания;
- изменения активного сопротивления проводников вследствие их нагрева при КЗ;
- активного сопротивления электродвигателей;
- влияния комплексной нагрузки на ток КЗ.

Источники питания внешней сети (энергосистема, генераторы) эквивалентизируются и представляются одним эквивалентным источником питания. ЭДС и периодическая составляющая тока КЗ считаются неизменными. Автономные источники питания на схеме замещения представляются самостоятельной ветвью, в которой ЭДС и периодическая составляющая тока КЗ определяются с учетом их изменений во времени. Влияние асинхронных двигателей напряжением до 1 кВ учитывается, если их суммарный номинальный ток превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей [19, 20].

Расчет может производиться в именованных или относительных единицах, хотя нормативные документы рекомендуют использование именованных единиц. При выполнении расчетов в установках до и выше 1 кВ в именованных единицах величина ступени базисного напряжения выбирается произвольно. Для уменьшения числа вычислительных операций

при ручном счете за базисное напряжение рекомендуется выбирать напряжение ступени с большим количеством точек КЗ. Если расчет токов КЗ производится только в сети до 1 кВ, за базисное принимается среднее номинальное напряжение сети до 1 кВ (0,4 или 0,69 кВ).

На рисунке 6.1 изображена расчетная схема и ее схема замещения.



а - расчетная схема участка сети; б – схема замещения по прямой последовательности;

в – схема замещения по нулевой последовательности

Рисунок 6.1 – Расчетная схема и схема замещения

Исходные данные для расчета токов КЗ:

Параметры внешней системы: $S_k = 200 \text{ MVA}$, $U_{cp.вн} = 10 \text{ кВ}$.

Силовой трансформатор КТП:

$$S_u = 630 \text{ кВА}; U_{BH} = 10,5 \text{ кВ}; U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}; P_k = 7,6 \text{ кВт}; u_k = 5,5\%.$$

Вводной автоматический выключатель типа ВА 56-39 QF:

$$r_{кв} = 0,41 \text{ мОм}; x_{кв} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Комплектный шинопровод ШРА 4:

$$r_{ш} = 0,1 \text{ мОм/м}; x_{ш} = 0,13 \text{ мОм/м}; r_{шн} = 0,162 \text{ мОм/м};$$

$$x_{шн} = 0,164 \text{ мОм/м}; l = 200 \text{ м}.$$

Для болтовых соединений принимаем сопротивление контактов равным: $r_k = 0,004 \text{ мОм}; n = 80$.

Определим сопротивления элементов схемы замещения.

Для прямой последовательности.

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{CT.HH}^2}{S_k} \cdot 10^{-3}, \quad (6.1)$$

$$x_c = \frac{400^2}{200} \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ мОм}.$$

Значение активного и индуктивного сопротивлений СТ найдем по формуле:

$$r_\tau = \frac{P_k \cdot U_{HH}^2}{S_H^2} \cdot 10^6, \quad (6.2)$$

$$r_\tau = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3 \text{ мОм}.$$

$$x_\tau = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_k}{S_H} \right)^2} \cdot \frac{U_{HH \text{ ном}}^2}{S_{TH}} \cdot 10^4, \quad (6.3)$$

$$x_\tau = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,4 \text{ мОм}.$$

Сопротивление шинпровода:

$$r_{ш} = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ мОм}; x_{ш} = 0,13 \cdot 200 = 26 \text{ мОм}.$$

Сопротивление контактных соединений:

$$r_k = 0,004 \cdot 80 = 0,32 \text{ мОм}.$$

Сопротивление дуги определяем из справочника: $r_0 = 21 \text{ мОм}$.

Для нулевой последовательности:

$$r_{om} = 30,3 \text{ мОм}; x_{om} = 96,2 \text{ мОм};$$
$$r_{nn} = 0,162 \cdot 200 = 32,4 \text{ мОм}; x_{nn} = 0,164 \cdot 200 = 32,8 \text{ мОм}.$$

Найдем ток трехфазного КЗ:

$$r_{1\Sigma} = r_m + r_{ш} + r_{кв} + r_k, \quad (6.4)$$

$$r_{1\Sigma} = 3 + 20 + 0,41 + 0,32 = 23,73 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_m + x_{ш} + x_{кв}, \quad (6.5)$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,42 + 26 + 0,13 = 40,35 \text{ мОм};$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_0, \quad (6.6)$$

$$r_{1\Sigma}' = 23,73 + 21 = 44,73 \text{ мОм};$$

$$I_{ПО max} = \frac{U_{СТ НН}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}'^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (6.7)$$

$$I_{ПО max} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{44,73^2 + 40,35^2}} = 4,9 \text{ кА};$$

$$I_{ПО min} = \frac{U_{СТ НН}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}'^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (6.8)$$

$$I_{\text{ПО min}} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{44,73^2 + 40,35^2}} = 3,8 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд. max}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО max}} \cdot K_{\text{y}\delta}, \quad (6.9)$$

$$i_{\text{уд. max}} = \sqrt{2} \cdot 4,94 \cdot 1,4 = 9,8 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд. min}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО min}} \cdot K_{\text{y}\delta}, \quad (6.10)$$

$$i_{\text{уд. min}} = \sqrt{2} \cdot 3,83 \cdot 1,3 = 7 \text{ кА};$$

Находим значение ударного тока короткого замыкания:

$$i_{\text{ao max}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО max}}, \quad (6.11)$$

$$i_{\text{ao max}} = \sqrt{2} \cdot 4,9 = 7 \text{ кА};$$

$$i_{\text{ao min}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО min}}, \quad (6.12)$$

$$i_{\text{ao min}} = \sqrt{2} \cdot 3,8 = 5,4 \text{ кА};$$

Ток однофазного КЗ:

$$r_{o\Sigma} = r_{om} + r_{ou} + r_{кв} + r_{\kappa}, \quad (6.13)$$

$$r_{o\Sigma} = 30,3 + 20 + 3 \cdot 32,4 + 0,41 + 0,32 = 148,23 \text{ мОм};$$

$$r_{ou} = r_{1u} + 3 \cdot r_{\text{нн}}$$

$$x_{o\Sigma} = x_{om} + x_{ou} + x_{кв}, \quad (6.14)$$

$$x_{o\Sigma} = 96,2 + 26 + 3 \cdot 32,8 + 0,13 = 220,73 \text{ мОм};$$

$$r_{o\Sigma}^* = r_{o\Sigma} + r_{\delta}, \quad (6.15)$$

$$r_{o\Sigma}^* = 148,23 + 34 = 182,23 \text{ мОм};$$

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{CT HH}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{o\Sigma}^*)^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (6.16)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 23,73 + 148,23)^2 + (2 \cdot 40,35 + 220,73)^2}} = 1,9 \text{ кА.}$$

Ток однофазного КЗ при дуговом замыкании:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СТ НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma}' + r_{o\Sigma}')^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{o\Sigma}')^2}}, \quad (6.17)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 44,73 + 182,23)^2 + (2 \cdot 40,35 + 220,73)^2}} = 1,7 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{U_{\text{СТ НН}}}{2\sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (6.18)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{400}{2\sqrt{23,73^2 + 40,35^2}} = 4,3 \text{ кА;}$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{U_{\text{СТ НН}}}{2\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_{\delta} / 2)^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (6.19)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{400}{2\sqrt{(23,73 + 21 / 2)^2 + 40,35^2}} = 3,8 \text{ кА.}$$

Вывод: результаты расчетов токов КЗ сводим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Итоги расчетов токов короткого замыкания

Короткое замыкание	<i>I_{кзтах}</i> , кА			<i>I_{кзтпн}</i> , кА		
	<i>I_{ПО}</i>	<i>i_{ао}</i>	<i>i_{уδ}</i>	<i>I_{ПО}</i>	<i>i_{ао}</i>	<i>i_{уδ}</i>
К ⁽³⁾	4,9	7	9,8	3,8	5,4	7
К ⁽¹⁾	1,9	-	-	1,7	-	-
К ⁽²⁾	4,3	-	-	3,8	-	-

7 Выбор и проверка автоматических выключателей, размещаемых на трансформаторных подстанциях

1. Автоматические выключатели выбираются по условиям нормального режима работы [21]:

- по номинальному напряжению

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{нс}}; \quad (7.1)$$

- по номинальному току

$$I_{\text{нр}} \geq I_{\text{ра}}. \quad (7.2)$$

2. Выбор выключателя по наибольшей отключающей способности:

$$I_{\text{отк}} \geq I_{\text{КЗ}}^3, \quad (7.3)$$

где $I_{\text{КЗ}}^3$ – периодическая составляющая трехфазного тока КЗ.

3. Выбор исполнения расцепителей максимального тока. Если в соответствии с ПУЭ требуется защита от перегрузки и эта защита не обеспечивается другими устройствами, то автоматические выключатели должны иметь расцепители максимального тока с обратно зависимой от тока характеристикой.

Устройства защиты должны отключать любой ток перегрузки опасный для изоляции, зажимов и т.д.

Защита от токов КЗ может быть обеспечена расцепителем, имеющим зависимую от тока характеристику. Устройства защиты должны отключать любой протекающий по проводникам ток КЗ раньше, чем возникнут опасные тепловые и механические воздействия на проводники и их соединения.

4. Любой аппарат защиты необходимо отстроить от токов перегрузки, свойственных нормальной эксплуатации (пусковых токов, токов самозапуска и т.д.). Для решения задачи необходимо выполнить два условия:

- характеристики электроприемника или групп ЭП и защитного аппарата не должны пересекаться. Это условие может выполняться для
- большого количества выключателей с разными номинальными токами;
- из всех допустимых вариантов необходимо выбрать выключатель с минимально возможным номинальным током и током срабатывания расцепителя.

Реальная характеристика срабатывания представлена двумя кривыми – нижней и верхней границей срабатывания. Область между кривыми 2 и 3 определяет возможные параметры срабатывания относительно паспортных значений. Для автоматических выключателей разброс по току срабатывания может составлять от ± 10 до ± 35 % от паспортного значения. Производители приводят либо нижнюю и верхнюю границы срабатывания, либо задают токовую погрешность срабатывания.

Минимальное значение $I_{нр}$ из всех удовлетворяющих первому условию вариантов можно определить путем подбора вариантов защитных характеристик, что достаточно трудоемко.

Для выбранного по пунктам 1–3 автомата определяют ток уставки расцепителя с независимой от тока характеристикой:

$$K_{рн} I_y > K_n I_{пуск} \quad (7.4)$$

где I_y – паспортное значение токов уставки; $I_{пуск}$ – пусковой ток двигателя; $K_{рн}$ – коэффициент разброса защитной характеристики, определяемый для нижней границы. При погрешности срабатывания расцепителя ± 10 %, значение $K_{рн}$ составит 0,9; K_n – коэффициент надежности,

учитывающий погрешность в определение пускового тока, возможность увеличения напряжения на 5 % сверх номинального напряжения двигателя и другие факторы. Коэффициент k_n принимается равным 1,1 – 1,5.

5. Проверка по допустимому времени отключения. В соответствие с ПУЭ 7-го издания (пункт 1.7.79) нормируется время отключения защитного аппарата. В системе TN время отключения не должно превышать значения, указанных в таблице 7.1. Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых сетях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной инструмент класса защиты 1. В цепях питающие распределительные, групповые, этажные и другие щитки, допускается время отключения увеличивать до 5 с.

Таблица 7.1 - Наибольшее время отключения защитного отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение, В	Допустимое отключение, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Условие проверки по допустимому времени отключения записывается в виде

$$t_{cp} > t_{доп}, \quad (7.5)$$

где t_{cp} – время срабатывания расцепителя; $t_{доп}$ – допустимое время отключения в соответствии с ПУЭ.

Ток однофазного короткого замыкания должен быть достаточным для отключения выключателя.

6. Проверка на термическую и электродинамическую стойкость. В ПУЭ 7-го издания рекомендуется проверять коммутационные аппараты на термическую и электродинамическую стойкость.

7. Проверка соответствий допустимого тока проводников и параметров защитных аппаратов. Токи перегрузки и КЗ не должны к нагреву проводников сверх допустимых для них температур. В соответствие с ГОСТ 50571.5–94 характеристика срабатывающая РМТ должна отвечать двум условиям:

$$I_{\text{ра}} \leq I_{\text{нр}} \leq I_{\text{доп}} \quad (7.6)$$

$$I_2 \leq 1,45I_{\text{доп}} \quad (7.7)$$

где $I_{\text{ра}}$ – расчетный ток цепи послеаварийного режима работы; $I_{\text{нр}}$ – номинальный ток расцепителя; $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток кабеля; I_2 – ток, обеспечивающий надежное срабатывания устройств защиты, применяется равным току срабатывания при заданном времени срабатывания.

За время протекания тока КЗ в любой точке цепи температура проводников не должна превысить предельно допустимую [11].

Допустимое время протекания тока КЗ может быть определено по формуле:

$$\sqrt{t} = K \frac{S}{I} \quad (7.8)$$

где t – продолжительность, с; S – сечение, мм²; I – действующее значение тока КЗ, А; K – коэффициент, зависящий от материала жил и изоляции проводников.

8. Проверка на селективность. В соответствие с ПУЭ защита в низковольтных сетях должна быть селективной.

Для обеспечения защиты вводов низкого напряжения на трансформаторной подстанции устанавливаются автоматические выключатели типа ВА55 с полупроводниковыми максимальными расцепителями, а для обеспечения защиты отходящих линий применяем автоматы ВА51, снабженные комбинированными расцепителями.

Выбираем и проверяем автомат для защиты линии от КТП до ШМА 4/2:

1. Условие обеспечения защиты от токов коротких замыканий и перегрузки:

$$I_{нв} \geq I_p, \quad (7.9)$$

$$630 \text{ A} \geq 471 \text{ A},$$

$$I_{н.расц} \geq I_p, \quad (7.10)$$

$$500 \text{ A} \geq 471 \text{ A},$$

где $I_{н.расц}$ – значение номинального тока расцепителя АВ, А,

$$I_{ср.р} \geq k_n \cdot I_{кр}, \quad (7.11)$$

2. Проверка на согласованность выбранного сечения кабельной линии и уставки автоматического выключателя:

$$I_{дон} \geq k_z \cdot I_z, \quad (7.12)$$

$$501.06 \text{ A} \geq 1 \cdot 500 = 500 \text{ A},$$

где $I_{дон}$ – длительно допустимое значение тока кабельной линии, А; k_3 – кратность допустимого тока кабеля к току АВ, принимаемая 1 для ВА51 и 1,25 для ВА55, о.е.; $I_3 = I_n$ - расцепитель для ВА51; $I_3 = I_{co}$ - для ВА55.

Для защиты выбираем выключатель типа ВА51-39.

Выбор АВ, устанавливаемого на вводе НН КТП производим по значению тока трансформатора КТП при отключенном втором трансформаторе.

Значение номинального тока СТ с учетом его перегрузки в послеаварийном режиме работы, А,

$$I_T^{n/ав} = \frac{1,3 \cdot S_n}{\sqrt{3}U_n}, \quad (7.13)$$

$$I_T^{n/ав} = \frac{1,3 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1244 \text{ А.}$$

Для защиты выбираем выключатель типа ВА55-41 с номинальным током расцепителя $I_{н.расц} = 1600 \text{ А}$.

Для выбора секционного автомата на КТП используется значение номинального тока СТ, А,

$$I_{Т.ном} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 958 \text{ А.} \quad (7.6)$$

Вывод: для защиты выбираем выключатель типа ВА53-41 с номинальным током расцепителя $I_{н.расц} = 1000 \text{ А}$.

Заключение

В работе были определены ожидаемые электрические нагрузки механического цеха и сборочного участка. Суммарная расчетная нагрузка составила 1382 кВА. Выбраны светильники для установки в системе внутреннего освещения и выполнен расчет мощности системы искусственного освещения. Для установки в выбранном светильнике принимаем металлогалогенные лампы фирмы Osram со световым потоком одной лампы равным 32500 лм. По значению суммарной нагрузки, полученной путем сложения силовых нагрузок и нагрузок от системы освещения, были выбраны мощности цеховых трансформаторных подстанций и определены необходимые мощности устройств компенсации РМ. Исходя из минимальных значений приведенных затрат принимаем для электроснабжения механического цеха предприятия КТП с установкой на ней двух трансформаторов ТМГ-630/10 с двумя конденсаторными установками АУКРМ 0,4 мощность по 75 квар. Трансформаторную подстанцию выбираем комплектной – производства Самарского завода «Электрощит» типа 2КТП-ВЦ-АТ-630/6(10)/0,4-У3. Выполнен выбор проводников для питания отдельных электроприемников. Определены значения токов короткого замыкания, которые использовались для проверки выбранных электрических аппаратов. Произведен выбор и проверка на коммутационную способность и устойчивость к токам короткого замыкания автоматических выключателей, устанавливаемых на трансформаторной подстанции. На вводе НН КТП выбираем выключатель типа ВА55-41 с номинальным током расцепителя $I_{н.расц}=1600\text{А}$, а для защиты отходящих линий выбираем выключатель типа ВА51-39.

Список используемых источников

1. Данилов М.И. Романенко И.Г. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 16.04.2020).
2. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 17.04.2020).
3. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
4. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
5. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс]: учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. 416 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003805> (дата обращения 23.04.2020).
6. Seok H., Chen C. An intelligent wind power plant coalition formation model achieving balanced market penetration growth and profit increase // Renewable Energy. 2019. № 138, pp. 1134-1142.
7. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358-90 от 1 августа 1993 г.
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL:

https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 06.04.2020).

9. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf (дата обращения: 05.04.2020)

10. Meier A. von. Electric power systems: a conceptual introduction. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 328 p.

11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.

12. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.

13. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.

14. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.

15. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.

16. Alatawneh N. Effects of cable insulations' physical and geometrical parameters on sheath transients and insulation losses // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №11, pp. 95-106.

17. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.

18. Мельников М.А. Внутризаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.

19. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.
20. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.
21. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие. Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.