

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция системы электроснабжения механического цеха
машиностроительного завода»

Студент

К.Н. Чемезов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.Н. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Данная выпускная квалификационная работа раскрывает вопросы реконструкции системы электроснабжения механического цеха, входящего в состав машиностроительного завода. В работе спроектирована система электроснабжения ремонтно-механического цеха. Были произведены расчеты нагрузок силового оборудования цеха, а также и рассчитано освещение. По определенным значениям расчетной мощности была выбрана и принята к установке цеховая трансформаторная подстанция, состоящая из 2 трансформаторов, и коммутационно-защитное оборудование.

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 57 листов, 6 таблиц и 3 рисунка. Графическая часть работы представлена 6 листами формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Реконструкция систем электроснабжения	6
1.1 Практические принципы проектирования промышленных систем электроснабжения	6
1.2 Электроснабжение промышленных предприятий и краткая характеристика производственного участка	8
1.3 Обоснование выбора тока, напряжения, обоснование выбора схемы распределительной сети	10
2 Расчет электрических нагрузок	12
2.1 Расчет нагрузок электроприемников	12
2.2 Расчет силовой нагрузки распределительного шинпровода ШРА1	16
2.3 Расчет силовой нагрузки магистрального шинпровода ШМА 1 ..	18
3 Расчет освещения	25
3.1 Расчет осветительной нагрузки	25
3.2 Электрический расчет осветительной нагрузки	27
4 Компенсация реактивной мощности	30
5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов	31
6 Обоснование электрической схемы подстанции	36
7 Определение токов короткого замыкания	37
8 Выбор электрических аппаратов и проводников	44
9 Выбор высоковольтного кабеля	49
10 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока	51
Заключение	54
Список используемых источников	56

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует объективная потребность в реконструкции системы электроснабжения для многих существующих на данный момент объектов экономики, которые потребляют электроэнергию. Эта потребность существует вне зависимости от их прямого назначения, а также функций и каких-либо размеров. Если нет стабильного и надежного поступления электроэнергии, то возникают нарушения технологического процесса, приводящие к материальному ущербу, который компенсировать бывает очень сложно.

С каждым годом, системы производства и доставки электроэнергии требуют значительных трудовых и материальных вложений. Предприятия и организации, которые производят промышленные товары, нуждаются в больших объемах энергоресурсов, особенно электроэнергии. Лишь на одно освещение уходит 18% всего произведенного в стране электричества.

Все электрические источники должны быть правильно установлены и настроены и соответствовать современным нормам энергосбережения. Нужно снижать уровень затрат на потребление электричества, но при этом достигать максимального качества и объема функций электрических устройств, в том числе осветительных приборов.

В каких ситуациях надо реконструировать электроснабжение? На данный момент реконструкция систем электроснабжения может понадобиться в различных ситуациях, например:

- при замене устройств, принимающих электрический ток;
- при монтаже нового оборудования;
- при переоборудовании объекта;
- при устаревшей линии электропередачи;
- при капитальном ремонте промышленных и гражданских зданий;
- при вышедшей из строя электросети.

Порядок действий при реконструкции электрической системы:

Как и любые другие работы, связанные с применением электрического оборудования, сама по себе реконструкция электроснабжения нуждается в разработке проектной документации, но это необходимо делать уже после того, как будут утверждены и получены все разрешения. Только в этом случае можно будет приступить к реконструкции электрической сети.

Реконструкция электрической сети включает в себя:

- тестирование и дальнейшее включение электротехнических устройств, чтобы проверить их на исправность;
- подключение тех устройств, которые уже были заменены;
- подключение к распределительным щитам силовых установок, а также приборов учета потребляемой электроэнергии;
- монтаж новых элементов на места их установки;
- демонтаж уже подлежащих замене, либо устаревших приборов, проводов, а так же устройств.

Сама по себе реконструкция электроснабжения – это те выполняемые работы, которые необходимо проводить в соответствии со специальными нормативными требованиями; при этом не стоит ждать, когда где-то на линии произойдет авария, благодаря которой будет испорчена вся система электроснабжения, а вместе с системой и само оборудование.

Обоснование необходимости реконструкции системы электроснабжения состоит в следующем.

Большая часть основного электрооборудования была принята и введена в эксплуатацию в 1979 году. Согласно ГОСТ 27002-83 срок эксплуатации электрооборудования составляет примерно в среднем 30-35 лет. В настоящий момент видно, что срок эксплуатации большинства электроприемников подходит к концу, а у некоторых он уже совсем закончился. Значительная часть электрооборудования России, как и других стран мира очень сильно устарела как морально, так и физически, произошло значительное снижение и ухудшение их энергетических показателей. В самом процессе эксплуатации оборудование подвергается воздействию различных факторов, таких как:

повышенная влажность промышленных помещений, скапливание пыли, всевозможные механические и электрические нагрузки, что в итоге снижает показатели функционирования оборудования. При этом могут изменяться изоляционные свойства, проводниковые свойства и другие свойства отдельных частей и различных механизмов.

Исходя из того, что было сказано выше, были сделаны выводы о необходимости практически полной реконструкции всей системы электроснабжения, включая подлежащее негарантийной замене в виду многих лет технологической эксплуатации оборудование из-за его устаревания как по техническим показателям, так и по физическим. Необходима замена на более новое технологическое оборудование, оно более экономично, что оправдывает необходимость реконструкции.

1 Реконструкция систем электроснабжения

1.1 Практические принципы проектирования промышленных систем электроснабжения

В наше время технологических изменений можно выдвинуть 4 основополагающих принципа проектирования систем электроснабжения:

- простота данной системы, а также ее способность к масштабированию.

Системе электроснабжения нужно иметь простой вид, в ней не должно быть каких-либо ступеней, монтаж кабельных линий необходимо и нужно прокладывать просто, без каких-либо технологических сложностей, которые в будущем могут создать немало проблем. Сети, от которых должна происходить запитка оборудования не должны быть слишком длинными, иметь провисаний и др. Необходимо учитывать тот факт, что происходит устаревание технологического оборудования, необходимо позаботиться о внедрении и закупке нового оборудования.

- сама система электроснабжения не должна иметь какие-либо перегрузки.

При создании сметы и проектировании сметы цехов предприятия, особо важную роль играет правильное место как расположения, так и закрепления электротехнического оборудования, а также различных трансформаторных подстанций. На каждом предприятии, заводе, либо же участке цеха необходимо, чтобы там было установлено распределительное устройство, которое закреплено именно за данным цехом. Это электротехническое распределительное устройство необходимо закреплять, а так же устанавливать именно вблизи центра, либо же по центру нагрузки. Какие-либо другие участники, или как их еще называют – потребители, не должны подключаться, а также иметь каких-либо сторонних подключений к электротехническому распределительному устройству во избежание каких-либо перегрузок

- осуществление безопасности систем электроснабжения.

Какое-либо оборудование, которое поставляется или уже находится на балансе производства, а также находится уже на предприятии нуждается в специальном контроле степеней защиты, сами степени специального контроля должны совпадать с нормальными режимам и адекватными условиям работы этого предприятия или же данного цеха.

- осуществление постоянного производственного процесса.

У производства всегда имеется два или три технологических потока, и они всегда параллельны друг другу. Сеть электроснабжения необходимо осуществить и построить таким образом, чтобы при обесточивании и отключении из работы одного из элементов цепей, по причинам каких-либо ремонтов, либо же аварийных ситуаций, должны обесточиваться и отключаться именно те узлы, которые присоединяются к этому потоку. Все остальное электротехническое оборудование и узлы какого-либо потока необходимо поддерживать в таком же работоспособном состоянии.

При осуществлении и соблюдении всех вышеперечисленных условий на первых этапах проектирования электротехнической системы проектировщиками должен быть оставлен запас на дальнейшее расширение и технологическое развитие данного предприятия.

1.2 Электроснабжение промышленных предприятий и краткая характеристика производственного участка

Большая часть различных производств, машиностроительных заводов, а так же тяжелой промышленности имеют мощные механические цеха как по производству разнообразной продукции, оборудования, деталей, так и по ремонту разнообразных узлов и механизмов.

Сами же цеха берут на себя огромную вспомогательную роль, как в работе заводов, так и в работе различных предприятий. Самым главным назначением любых механических цехов является обеспечение работы

основных цехов. Планы и задания цехов обычно связаны с основным производством цеха как по ремонтным работам, так и по технологической оснастке.

Одним из наилучших и эффективных путей роста – это механизация и автоматизация производственного процесса машиностроительного производства.

Цех имеет следующие габаритные размеры:

- ширина А = 30 метров;
- длина В = 78 метров;
- высота Н = 9 метров.

Таблица 1 – Перечень оборудования участка производства стекла

Позиция	Название оборудования	Мощность кВт	Кол-во
1	2	3	4
1	Шлифовальные станки	30	4
2	Токарные станки	15	7
3	Сверлильные станки	2,2	3
4	Заточные станки	3	3
5	Фрезерные станки	30	2
6	Обдирочные станки	15	2
7	Анодно-механические станки	17	16
8	Обдирочные станки	15	3
9	Обдирочные станки	15	3
10	Обдирочные станки	15	3
11	Расточные станки	5,5	3
12	Мостовой кран	40	1
13	Полуавтомат для сварки	22,3	3

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
14	Агрегат точечной сварки	30,9	12
15	Электропечь сопротивления	45	6
16	Станок агрегатный с поворотным столом	24,6	3
17	Сварочные трансформаторы	8	6
18	Масляный насос	14	2
19	Токарные станки импульсной наплавки	17,1	6
20	Машина моечная камера	15	1
21	Обдирочно-шлифовальный станок	5,4	4
22	Нагреватель индукционный	50	2
23	Кондиционер	24	2
24	Пресс гидравлический одностоечный	14	3
25	Сушильные шкафы	45	2

1.3 Обоснование выбора тока, напряжения, обоснование выбора схемы распределительной сети

Для механического цеха машиностроительного завода была выбрана сеть с промышленной частотой 50 Гц и напряжением 380/220В.

Радиальные схемы: они главным образом характеризуются именно тем, что в них питание происходит от распределительных пунктов (РП). РП могут находиться либо в отдельных помещениях, либо около распределительных шинопроводов. В свою очередь, РП питаются от трансформаторных подстанций, либо трансформаторная подстанция питает магистральные шинопроводы, а те уже питают РП. Радиальные схемы могут обеспечивать

большую степень надежности бесперебойного питания, по средствам автоматики. Но у них имеются и большие минусы – это большие затраты на установку щитков, а также на кабель, проводку.

Магистральные схемы: они в основном применяются, когда нагрузка распределяется равномерно. Плюсы в основном заключаются в простоте, не требуется распределительного щита, распределение энергии происходит по другой схеме. Это позволяет снизить стоимость затрат самой цеховой подстанции.

Учитывая мощность электроприемников, расположение по площади участка, была выбрана схема электроснабжения – смешанная:

- магистральный шинопровод ШМА1, ШМА 2;
- распределительные шинопроводы ШРА1 – ШРА 6;
- распределительные пункты РП 1 – РП 7.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет нагрузок электроприемников

Расчет электрических нагрузок – очень важный расчет, который выполняется как перед проектированием, так и при проектировании системы электроснабжения.

Расчет электрических нагрузок не только позволяет узнать конечные результаты расчета, по которым можно будет определить, сколько именно средств понадобится для строительства.

Также на основании расчета электрических нагрузок осуществляется выбор конечных основных элементов данной электрической сети. Такие параметры, как расчетная мощность сети, ее также называют – расчетный ток, на основании которого можно выбрать защитно-коммутационные аппараты по их номинальным токам, сечение жил проводов и кабелей в сетях распределительных, а также в групповых электрических сетях.

На основании расчетов электрических нагрузок производится выбор основных элементов электрической сети.

Расчет электрических нагрузок показан на примере ШРА-1.

Таблица 2 – Перечень оборудования распределительного шинпровода ШРА-1

Позиция оборудования	Наименование электроприемников	Количество электроприемников	Единичная мощность электроприемников	Коэффициент использования	Коэффициент мощности, тангенс потерь
		n, шт.	P, кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6
1	Шлифовальные станки	4	30	0,16	0,6/1,33

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
2	Токарные станки	7	15	0,12	0,5/1,73
3	Заточные станки	3	3	0,16	0,5/1,73
4	Обдирочные станки	2	15	0,17	0,65/1,16
5	Анодно-механические станки	9	17	0,65	0,8/0,75
6	Кран мостовой	1	40	0,05	0,5/1,73

Номинальная мощность группы электроприемников $P_{ном.уст1}, кВт$:

$$P_{ном.уст1} = n \times P_{ном1},$$

где n - количество электроприемников в группе, шт.

$$P_{ном.уст1} = 4 \cdot 30 = 120 кВт$$

Среднесменная активная мощность $P_{см1}, кВт$:

$$P_{см1} = P_{ном.уст1} \cdot K_u$$

$$P_{см1} = 120 \cdot 0,16 = 19,2 кВт$$

Среднесменная реактивная мощность $Q_{см1}, кВАр$:

$$Q_{см1} = tg\varphi \cdot P_{см1}$$

$$Q_{см1} = 1,33 \cdot 19,2 = 25,54 кВАр$$

Расчет остальных электрических нагрузок приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок

№	Наименование оборудования	Количество оборудования, п	Установленная мощность		m	Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка		п _э	Км	Расчетная нагрузка			I _{макс} , А
			Одно го ЭП, кВт	Общая, кВт				P _{ср} кВт	Q _{ср} кВАр			P _{макс} кВт	Q _{макс} кВАр	S _{макс} кВА	
1	Шлифовальные станки	4	30	120		0,16	0,6/1,33	19,2	25,5						
2	Токарные станки	7	15	105		0,12	0,5/1,73	12,6	21,8						
3	Сверлильные станки	3	2,2	6,6		0,16	0,5/1,73	1,06	1,8						
4	Заточные станки	3	3	9		0,16	0,5/1,73	1,44	2,5						
5	Фрезерные станки	2	30	60		0,12	0,5/1,73	7,2	12,5						
6	Обдирочные станки	2	15	30		0,16	0,65/1,16	4,8	5,6						
7	Анодно-механические станки	16	17	272		0,17	0,65/1,16	46,24	53,64						
8	Обдирочные станки	3	15	45		0,16	0,65/1,16	7,2	8,4						
9	Обдирочные станки	3	15	45		0,16	0,65/1,16	7,2	8,4						
10	Обдирочные станки	3	15	45		0,16	0,65/1,16	7,2	8,4						
11	Расточные станки	3	5,5	16,5		0,16	0,5/1,73	2,64	4,57						

Продолжение таблицы 3

12	Мостовой кран	1	40	40		0,05	0,5/1,73	2	3,46						
13	Полуавтомат для сварки	3	22,3	66,9		0,3	0,5/1,73	20,07	34,7						
14	Агрегат точечной сварки	12	30,9	370,8		0,35	0,6/1,33	129,78	172,6						
15	Электродпечь сопротивления	6	45	270		0,7	0,85/0,62	189	117,18						
16	Станок агрегатный с поворотн. столом	3	24,6	73,8		0,16	0,5/1,73	11,8	20,4						
17	Сварочные трансформаторы	6	8	48		0,35	0,5/1,73	16,8	29						
18	Масляные насосы	2	14	28		0,7	0,85/0,62	19,6	12,15						
19	Токарные станки импульсной сварки	6	17,1	102,6		0,17	0,5/1,73	17,4	30,2						
20	Машина моечная камера	1	15	15		0,7	0,8/0,75	10,5	7,9						
21	Обдирочно-шлифовальные станки	4	5,4	21,6		0,16	0,5/1,73	3,5	6						
22	Нагреватели индукционные	2	50	100		0,7	0,95/0,33	70	23,1						
23	Кондиционер	2	24	48		0,3	0,85,062	14,4	8,9						
24	Пресс гидравлический одностоечный	3	14	42		0,16	0,5/1,73	6,72	11,6						
25	Сушильные шкафы	2	45	90		0,17	0,65/1,16	15,3	17,75						
	Итого	102		2070,8	22,7	0,31	0,7/1,01	643,65	648,05	83	1,07	688,0 7	648,0 5	945,6 6	1463,8 7

2.2 Расчет силовой нагрузки распределительного шинпровода ШРА1

Номинальная мощность электроприемников $P_{ном.шра1}, кВт$:

$$P_{ном.шра1} = \sum_1^n P_{ном.гp1}$$

$$P_{ном.шра1} = 120 + 105 + 9 + 30 + 153 + 10 = 427 кВт$$

Среднесменная активная мощность $P_{см.шра1}, кВт$:

$$P_{см.шра1} = \sum_1^n P_{см.гp1}$$

$$P_{см.шра1} = 19,2 + 12,6 + 1,44 + 4,8 + 46,24 + 0,5 = 86,28 кВт$$

Среднесменная реактивная мощность $Q_{см.шра1}, кВАр$:

$$Q_{см.шра1} = \sum_1^n Q_{см.гp1}$$

$$Q_{см.шра1} = 25,2 + 21,8 + 2,5 + 5,6 + 53,64 + 0,865 = 112,2 кВАр$$

Модуль силовой сборки m :

$$m = \frac{P_{ном.шра1}}{P_{ном.шра1}} \geq 3$$

$$m = \frac{30}{3} = 10 \geq 3$$

где $P_{ном}$ - единичная номинальная мощность наибольшего по мощности электроприёмника, кВт; $P_{ном}$ - единичная номинальная мощность наименьшего по мощности электроприёмника, кВт.

Коэффициент использования $K_{и.шра1}$:

$$K_{и.шра1} = \frac{P_{см.шра1}}{P_{ном.шра1}} \geq 2$$

$$K_{и.шра1} = \frac{86,28}{457} = 0,202$$

Средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi_{шра1}$:

$$tg\varphi_{шра1} = \frac{Q_{см.шра1}}{P_{см.шра1}}$$

$$tg\varphi_{шра1} = \frac{112,2}{86,28} = 1,29 \rightarrow \cos\varphi = 0,61$$

Эффективное число электроприемников $n_{э}$:

$$n_{э} = 28, \text{ т.к. } m > 10, K_{и} > 0,2, n > 5$$

$$n_{э} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{ном}}{P_{ном.наиб}}$$

$$n_{э} = \frac{2 \cdot 417}{30} = 27,8 \approx 28$$

Коэффициент максимума $K_{макс}$:

$$K_{макс} = 1,07$$

Максимальная активная мощность $P_{макс.шра1}$, кВт:

$$P_{макс.шра1} = P_{см.шра1} \cdot K_{макс}$$

$$P_{макс.шра1} = 86,28 \cdot 1,07 = 92,31 \text{ кВт}$$

Максимальная реактивная мощность $Q_{макс.шра1}$, кВАр:

$$Q_{\text{макс.шра1}} = Q_{\text{см.гр}}, \text{ если } n \geq 10$$

$$Q_{\text{макс.шра1}} = 112,2 \text{ кВАр}$$

Максимальная полная мощность $S_{\text{макс.шра1}}$, кВАр:

$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра1}}^2 + Q_{\text{макс.шра1}}^2}$$

$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{92,31^2 + 112,2^2} = 145,3 \text{ кВАр}$$

Максимальный ток $I_{\text{макс.шра1}}$, А:

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{S_{\text{макс.шра1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{145,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 224,9 \text{ А}$$

Расчет по остальным распределительным шинопроводам выполнен аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 4.

2.3 Расчет силовой нагрузки магистрального шинопровода ШМА1

Номинальная мощность электроприемников $P_{\text{ном.шма1}}$, кВт:

$$P_{\text{ном.шма1}} = \sum_1^n P_{\text{ном.гр}}$$

$$P_{\text{ном.шма1}} = 427 + 289,6 = 716,6 \text{ кВт}$$

Среднесменная активная мощность $P_{\text{см.шма1}}$, кВт:

$$P_{\text{см.шма1}} = \sum_1^n P_{\text{см.гр}}$$

$$P_{см.шма1} = 86,28 + 86,94 = 173,22 \text{ кВт}$$

Среднесменная реактивная мощность $Q_{см.шма1}$, кВАр:

$$Q_{см.шма1} = \sum_1^n Q_{см.гр}$$

$$Q_{см.шма1} = 112,2 + 83,21 = 195,21 \text{ кВАр}$$

Модуль силовой сборки m :

$$m = \frac{P_{ном.шма1}}{P_{ном.шма1}} \geq 3$$

$$m = \frac{40}{3} = 13,3 \approx 13$$

Коэффициент использования $K_{и шма1}$:

$$K_{и} = \frac{P_{см.шма1}}{P_{см.шма2}} \geq 0,2$$

$$K_{и} = \frac{173,22}{716,6} = 0,24$$

Средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi$:

$$tg\varphi_{шма1} = \frac{Q_{см.шма1}}{P_{см.шма1}}$$

$$tg\varphi_{шма1} = \frac{195,21}{173,22} = 1,13 \rightarrow \cos\varphi = 0,66$$

Эффективное число электроприемников $n_{э}$:

$$n_{э} = 21, \text{ т.к. } m > 3, K_{и} > 0,2, n > 5$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.шма}i}}{P_{\text{ном.наиб}}}$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 716,6}{40} = 35,83 \approx 36$$

Коэффициент максимума K_{max} :

$$K_{\text{max}} = 1,08$$

Максимальная активная мощность $P_{\text{макс.шма}1}$, кВт :

$$P_{\text{макс.шма}1} = P_{\text{см.шма}} \cdot K_{\text{макс}}$$

$$P_{\text{макс.шма}1} = 173,22 \cdot 1,08 = 187,08 \text{ кВт}$$

Максимальная реактивная мощность $Q_{\text{макс.шма}1}$, кВАр :

$$Q_{\text{макс.шма}1} = Q_{\text{см.зр}}, \text{ если } n \geq 10$$

$$Q_{\text{см.шма}1} = 195,21 \text{ кВАр}$$

Максимальная полная мощность $S_{\text{макс.шма}1}$, кВА :

$$S_{\text{макс.шма}1} = \sqrt{P_{\text{макс.шма}1}^2 + Q_{\text{макс.шма}1}^2}$$

$$S_{\text{макс.шма}1} = \sqrt{187,08^2 + 195,21^2} = 270,4 \text{ кВА}$$

Максимальный ток $I_{\text{макс.шма}1}$, А :

$$I_{\text{макс.шма}1} = \frac{S_{\text{макс.шма}1}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

$$I_{\text{макс.шма}1} = \frac{270,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 410,94 \text{ А}$$

Расчет по остальным магистральным шинопроводам выполнен аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет силовых нагрузок

№	Наименование оборудования	Количество оборудования, п	Установленная мощность		m	Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка		п _э	Км	Расчетная нагрузка			I _{макс} , А
			Одно го ЭП, кВт	Общая, кВт				P _{ср} кВт	Q _{ср} кВАр			P _{макс} кВт	Q _{макс} кВАр	S _{макс} кВА	
1	Шлифовальные станки	4	30	120		0,16	0,6/1,33	19,2	25,5						
2	Токарные станки	7	15	105		0,12	0,5/1,73	12,6	21,8						
3	Заточные станки	2	3	6		0,16	0,5/1,73	0,96	1,66						
4	Обдирочные станки	2	15	30		0,17	0,65/1,16	4,8	5,6						
5	Анодно-механические станки	9	17	153		0,65	0,8/0,75	46,24	53,64						
6	Кран мостовой	1	40	10		0,65	0,5/1,73	0,5	0,865						
	ШРА1	25		427	28	0,20 2	0,61/1,29	86,28	112,2	28	1,0 7	92,31	112,2	145,3	224,9
1	Сверлильные станки	3	2	6,6		0,16	0,5/1,73	1,056	1,83						
2	Заточные станки	1	3	3		0,16	0,5/1,73	0,48	0,83						
3	Фрезерные станки	2	30	60		0,12	0,5/1,73	7,2	12,5						
4	Расточные станки	5	17	85		0,65	0,8/0,75	55,25	41,44						

Продолжение таблицы 4

5	Обдирочные станки	3	15	45		0,17	0,65/1,16	7,65	8,87						
6	Обдирочные станки	3	15	45		0,17	0,65/1,16	7,65	8,87						
7	Обдирочные станки	3	15	45		0,17	0,65/1,16	7,65	8,87						
	ШРА2	20		289,6	10	0,3	0,72/0,96	86,94	83,21	19	1,15	100	83,21	130,1	201,4
	ШМА1	45		716,6	13	0,24	0,66/1,13	173,22	195,21	21	1,08	187,08	195,21	270,4	410,94
1	Полуавтомат для сварки	3	22,3	66,9		0,3	0,5/1,73	20,07	34,72						
2	Масляный насос	2	14	28		0,7	0,85/0,62	19,6	12,152						
3	Обдирочно-шлифовальный станок	4	5,4	21,6		0,16	0,5/1,73	3,46	6						
	ШРА3	9		116,5		0,37	0,63/1,23	43,13	52,872	10	1,28	55,2	52,872	76,44	118,3
1	Сварочные трансформаторы	6	8	48		0,35	0,5/1,73	16,8	29,1						
2	Агрегат точечной сварки	12	30,9	370,8		0,35	0,6/1,33	129,8	172,6						
	ШРА4	18		418,8	4	0,35	0,58/1,38	146,6	201,7	27	1,16	170,056	201,7	263,82	400,83
1	Электродпечь сопротивления	6	45	270											
2	Токарные станки импульсной сварки	6	17,1	102,6											
	ШРА5	12		372,6	3	0,55	0,82/0,7	205,4	145,58	25	1,25	256,75	145,58	295,15	456,9

3 Расчет освещения

3.1 Расчет осветительной нагрузки

Разделяют два типа освещения – это естественное и искусственное. Естественное – это свет, проходящий через окна зданий или же предприятий; искусственное – это освещение цехов, предприятий офисов навесными лампами и светильниками.

Освещение. Само по себе освещение играет большую роль. Правильно подобранное освещение или правильно созданные условия хорошо влияют на продуктивность труда, а также на общее состояние человека в целом. Большое значение имеет правильно подобранное освещение, чтобы оно соответствовало основным требованиям, касающимся выполняемой работы.

Исходные данные:

- нормируемая освещенность $E_H = 300 \text{ лк}$;
- коэффициент запаса $K_3 = 1,5$;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,8 \text{ м}$;
- высота подвеса $h_c = 2,2 \text{ м}$;
- размеры цеха $A \cdot B \cdot H = 78 \cdot 30 \cdot 9 \text{ м}$.
- высота подвеса светильников над рабочей поверхностью $H_p, \text{ м}$:

$$H_p = H - h_c - h_h$$

$$H_p = 9 - 2,2 - 0,8 = 6 \text{ м}$$

- расчетное значение расстояния между рядами светильников $L, \text{ м}$:

$$L = \lambda \cdot H_p$$

$$L = 6 \cdot 0,7 = 4,2 \text{ м}$$

- расчетное значение расстояния до первого ряда светильников $\ell, \text{ м}$:

$$\ell = 0,5 \cdot L$$

$$\ell = 0,5 \cdot 4,3 = 2,15 \text{ м}$$

- количество светильников по ширине N_A , шт :

$$N_A = \frac{A - 2 \cdot \ell}{L} + 1$$

$$N_A = \frac{78 - 2 \cdot 2,1}{4,3} = 17,57 \approx 18 \text{ шт.}$$

- количество светильников по длине N_B , шт :

$$N_B = \frac{B - 2 \cdot \ell}{L}$$

$$N_B = \frac{30 - 2 \cdot 2,1}{4,3} + 1 = 7 \text{ шт.}$$

- общее число светильников $N_{об}$, шт :

$$N_{об} = N_A \cdot N_B$$

$$N_{об} = 18 \cdot 7 = 126 \text{ шт}$$

Принимаем к установке расположение светильников вдоль архитектурных линий здания, с расстоянием между светильниками по длине 4,3 м, по ширине 4,3 м, расстояние от стены до линий светильников 2,15 м.

Расчетное значение светового потока Φ_p , лм :

$$\Phi_p = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{об} \cdot \eta}$$

где S – площадь помещения;

E_n – нормируемая освещенность = 300 лк;

K_3 – коэффициент запаса = 1,5;

Z – коэффициент усредняющий среднюю минимальную освещенность = 1,15;

η –КПД ламп светильника = 0,8.

$$\Phi_p = \frac{78 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{2 \cdot (18 \cdot 7) \cdot 0,8} = 6006,7$$

Нормированная освещенность E_p , лк:

$$E_p = \frac{\Phi_n \cdot E_n}{\Phi_p}$$

$$E_p = \frac{8000 \cdot 300}{6006,7} = 424,47 \text{ лк}$$

Коэффициент запаса K_z :

$$K_z = \frac{E_p}{E_n}$$

$$K_z = \frac{44,47}{300} = 1,4$$

Выбраны светильники ПВЛМ 2Х58 со светодиодными лампами типа Т8 Standart F58/54-765, мощностью 2х58 Вт, со световым потоком 8000 лм и климатическим исполнением УХЛ4.

3.2 Электрический расчет осветительной сети

Грамотно спроектированное освещение помещений позволяет человеку комфортнее себя чувствовать, производительность труда такого человека увеличивается, снижается травматизм на рабочем месте.

Рабочее освещение используется для нормальных условий трудовой и производственной деятельности.

Аварийное освещение предназначено в каких-либо редких случаях, когда по каким-то причинам основное освещение отключается. Это

возможно при авариях, нарушенном технологическом процессе, при стихийных бедствиях.

Электрический расчет осветительной сети производится для определения выбора марки провода (кабеля), а так же определения сечения питающих проводников, выбора типов защитной аппаратуры.

Активная мощность осветительной нагрузки $P_{осв}, кВт$:

$$P_{осв} = N \cdot P_{л} \cdot K_u \cdot K_{пра}$$

где $K_u = 0,95$ - коэффициент использования;

$K_{пра} = 1,12$ - коэффициент пускорегулирующей аппаратуры;

$$P_{осв} = 2 \cdot (18 \cdot 7) \cdot 0,058 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 13,4 \text{ кВт}$$

Реактивная мощность осветительной нагрузки $Q_{осв}, кВАр$:

$$Q_{осв} = 13,4 \cdot 0,61 = 8,174$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Полная мощность осветительной нагрузки $P_{осв}, кВАр$:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2}$$

$$S_{осв} = \sqrt{13,4^2 + 8,174^2} = 15,69 \text{ кВА}$$

Максимальный ток осветительной нагрузки $I_{осв}, А$:

$$I_{осв} = \frac{S_{осв} \cdot K_{пуск}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

$$I_{осв} = \frac{15,69 \cdot 10^3 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 33,37 \text{ А}$$

Ток теплового расцепителя вводного автомата I_{mp}, A :

$$I_{mp} = 1,15 \cdot I_{ocв}$$

$$I_{mp} = 1,15 \cdot 33,37 = 38,38 A$$

Номинальный ток отходящей линии $I_{л}, A$:

$$I_{л} = \frac{I_{ocв}}{N_{A(B)}}$$

$$I_{л} = \frac{38,38}{18} = 2,13 A$$

Ток теплового расцепителя автомата отходящей линии (на 2 ряда) $I_{mpл}, A$:

$$I_{mpл} = 2 \cdot 1,15 \cdot I_{л}$$

$$I_{mpл} = 2 \cdot 1,15 \cdot 2,13 = 4,9 A$$

К монтажу приняты линейные автоматические выключатели ВА 47-29 с $I_{ном}=6A$, $I_{тр}=6A$, осветительная сеть выполнена осветительным шинопроводом E-line КАМ-0205-B-STD, с $I_{доп}=25 A > I_{ocв}=6,72 A$.

К монтажу принят щиток освещения ОЩВ-7 УЛ4 на 7 отходящих линий с вводным автоматическим выключателем ВА 47-63, $I_{ном}=50 A$, $I_{тр}=50 A$, на восемь линейных автоматических выключателей ВА 47-29 с $I_{ном}=6 A$, $I_{тр}=6 A$, подключение осветительного щитка к КТП выполнено кабелем ВВГ_{нг} LS 4x16, с $I_{доп}=60 A > I_{ocв}=33,6 A$.

4 Компенсация реактивной мощности

При решении вопросов энергосбережения различных предприятий важным фактором является компенсация реактивной мощности.

Реактивная мощность – это потери электроэнергии, вызванные электромагнитными процессами в электросетях. Ее недостаток вызывает существенный нагрев проводника и создает избыточную нагрузку на сеть, из-за чего источник электроэнергии работает в усиленном режиме. Необходимо позаботиться о компенсации реактивной мощности.

Расчетное значение реактивной мощности установки $Q_K, \text{кВАр}$:

$$Q_K = \alpha \cdot P_{CM} \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k)$$

где $\alpha = 0,8$ - коэффициент, учитывающий изменение среднегодового потребления электрической энергии;

$P_{CM} = 657,05$ - среднесменная активная мощность участка, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,99$ - значение тангенса угла сдвига фаз, соответствующее среднегодовому коэффициенту мощности до компенсации;

$\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,42$ - рекомендуемое значение энергосистемы (0,33-0,42);

$$Q_K = 0,8 \cdot 657,05 \cdot (0,99 - 0,42) = 299,613 \text{ кВАр}$$

$$Q_{CTK} = 300 \text{ кВАр}$$

Фактическое значение тангенса потерь $\operatorname{tg} \varphi$ и коэффициент $\cos \varphi$:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{CTK}}{P_{CM} \cdot \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,99 - \frac{300}{657,05 \cdot 0,8} = 0,42 \Rightarrow \cos \varphi = 0,92$$

Окончательно к установке принимаются 2 компенсаторные установки УКРМ-6,3-300-2x150, УЗ с общей мощностью $Q_{CT} = 300$ кВАр на напряжение 0,4кВ, с мощностью каждой 150 кВАр.

5 Выбор числа и мощности трансформаторов

Для определения числа и мощности силовых трансформаторов необходимо знать величину электрической нагрузки, требуемой от этой подстанции. Необходимо также учитывать и другие факторы, такие как: надежность и бесперебойность электроснабжения, геолокация и размещение нагрузок.

Исходные данные:

- номинальное напряжение питающей сети - $U_H = 380 / 220 \text{ В}$
- коэффициент мощности после компенсации $\cos \varphi = 0,92$
- среднесменная активная мощность $P_{CM} = 657,0 \text{ кВт}$
- среднесменная реактивная мощность $Q_{CM} = 356,23 \text{ кВАр}$
- максимальная полная мощность $S_{max} = 704,3 \text{ кВА}$
- мощность трансформатора должна соответствовать условию:

$$S_{тр} \geq S_{\text{макс.рас}}$$

где $S_{тр}$ – мощность трансформатора, кВА;

S_{max} - расчетное значение полной максимальной мощности после компенсации с учетом потерь трансформатора, кВА;

- активные потери мощности трансформатора $\Delta P_{тр}, \text{ кВт}$:

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot S_{\text{макс}}$$

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot 704,3 = 14,086 \text{ кВт}$$

- реактивные потери мощности трансформатора $\Delta Q_{тр}, \text{ кВАр}$:

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot S_{\text{макс}}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot 704,3 = 70,43 \text{ кВАр}$$

- полные потери мощности трансформатора $\Delta S_{mp}, \text{кВА}$:

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{P_{mp}^2 + Q_{mp}^2}$$

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{14,086^2 + 7^2} = 15,73 \text{кВА}$$

- расчетное значение полной максимальной мощности на высокой стороне $S_{mp.BH}, \text{кВА}$:

$$S_{mp.BH} = S_{макс} + \Delta S_{mp}$$

$$S_{mp.BH} = 704,3 + 15,73 = 720,03 \text{кВА}$$

Вариант первый

К установке на КТП предварительно принято два трансформатора мощностью по 630 кВА.

Коэффициент загрузки трансформатора K_3 :

$$K_3 = \frac{S_{макс}}{S_m}$$

$$K_3 = \frac{720,03}{2 \cdot 630} = 0,57$$

Аварийный режим при отключении одного трансформатора:

$$1,4 \cdot 630 = 882 \text{кВА} \geq 0,75 \cdot 720,03 = 540,03 \text{кВА}$$

Затраты на установку КТП с трансформаторами типа ТМГ – 630/10/0,4:

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

где τ – время максимальных потерь; T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия за год; T_P – время работы трансформатора за год;

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2450$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_P$$

где C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода; – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии (0,8 руб/кВт·час):

$$C_0 = \left(\frac{105}{4000} + 0,8 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 300,03 \text{ руб /кВт год}$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau$$

$$C = \left(\frac{105}{4000} + 0,8 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2450 = 84 \text{ кВт год}$$

$$C \cdot P = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K_{\frac{2}{3}} \cdot \Delta P_{кз}$$

$$C \cdot P = 300,03 \cdot 0,74 + 84 \cdot 0,57 \cdot 3,7 = 399,18$$

Стоимость трансформатора ТМГ - 630 по данным 2019 года составляет 303323 рублей.

$$E = 0,233$$

$$3T = 0,233 \cdot (303323 \cdot 2) + 399,18 \cdot 2 = 142146,878 \text{ рублей}$$

Вариант второй

К установке на КТП предварительно принят один трансформатор мощностью 1000 кВА

Коэффициент загрузки трансформатора K_3 :

$$K_3 = \frac{S_{\text{макс}}}{S_m}$$

$$K_3 = \frac{720,03}{2 \cdot 1000} = 0,36$$

Затраты на установку КТП с трансформаторами типа ТМГ – 1000/10/0,4:

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

где τ – время максимальных потерь; T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия за год; T_P – время работы трансформатора за год:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2450$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_P$$

где C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода; – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии (0,8 руб/кВт·час):

$$C_0 = \left(\frac{105}{4000} + 0,8 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 300,03 \text{ руб/кВт год}$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau$$

$$C = \left(\frac{105}{4000} + 0,8 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2450 = 84 \text{ кВт год}$$

$$C \square P = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}$$

$$C \square P = 300,03 \cdot 0,74 + 84 \cdot 0,57 \cdot 3,7 = 399,18$$

Стоимость трансформатора ТМГ - 1000 по данным 2019 года составляет 505320 рублей.

$$E = 0,233$$

$$зТ = 0,233 \cdot (505320 \cdot 2) + 399,18 \cdot 2 = 236277,48 \text{ рублей}$$

Окончательно к установке выбрана двухтрансформаторная цеховая подстанция КТП с двумя трансформаторами ТМГ-630 10/0,4 (рисунок 1).

Технические характеристики трансформатора:

- номинальная мощность $S_{\text{тр}} = 630 \text{ кВА}$
- номинальное напряжение обмоток высшего напряжения $U_{\text{н1}} = 10 \text{ кВ}$
- номинальное напряжение обмоток низшего напряжения $U_{\text{н2}} = 0,4 \text{ кВ}$
- напряжение короткого замыкания $U_{\text{кз}} = 5,5\%$
- потери мощности короткого замыкания $P_{\text{кз}} = 7,6 \text{ кВт}$
- потери холостого хода $P_{\text{хх}} = 1050 \text{ кВт}$



Рисунок 1 – Трансформатор ТМГ-630 10/0,4

6 Обоснование выбора электрической схемы подстанции

В данном виде представлена схема механического цеха, была выбрана трансформаторная подстанция, представленная 2-умя трансформаторами мощностью 630 кВА и на напряжение 0,4 кВ. На рисунке 2 изображена схема электроснабжения механического цеха.

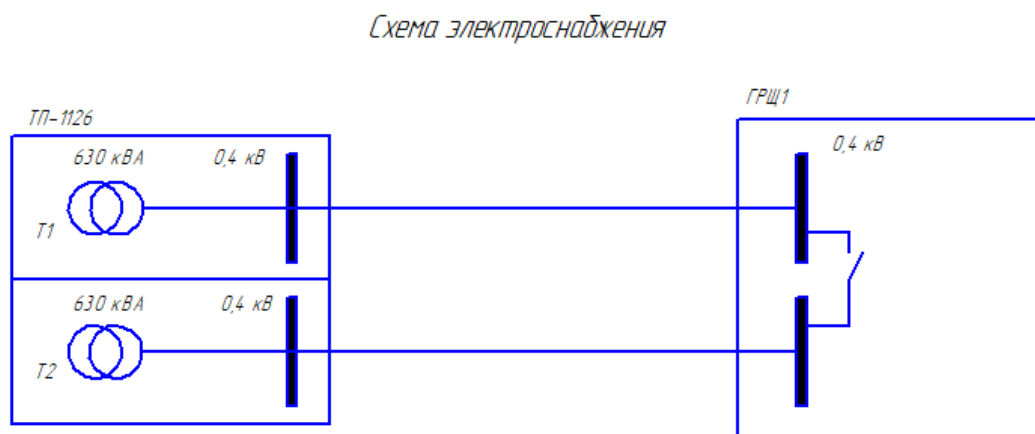


Рисунок 2 – Схема электроснабжения механического цеха.

7 Определение токов короткого замыкания

В настоящий момент самым опасным в электроустановках является режим короткого замыкания. Само по себе короткое замыкание – это непредусмотренное или же случайное соединение разных точек электроустановок, как меж собой, так и с землей.

Расчет токов трехфазных КЗ.

Сформируем расчетную схему электроустановки, а так же наметим точки КЗ.

Исходные данные для расчетов токов КЗ:

- базисная мощность системы неограниченной мощности $S_{\sigma} = 100 \text{ МВА}$;
- базисное напряжение $U_{\sigma} = 115 \text{ кВ}$;
- относительное базисное сопротивление системы неограниченной мощности принято $x_c = 0,4$;
- длина воздушной линии (ЛЭП) $L_1 = 20 \text{ км}$;
- длина кабельной линии $L_2 = 2 \text{ км}$;
- мощность головного трансформатора $S_{н.м} = 100 \text{ МВА}$;
- напряжение короткого замыкания $U_{к.з1} = 10,5\%$;
- мощность трансформатора цеховой КТП $S_{м.р2} = 2 \cdot 630 \text{ кВА}$;
- напряжение короткого замыкания $U_{к.з2} = 5,5\%$;
- сопротивление системы x_1 :

$$x_1 = x_c = 0,4$$

- индуктивное сопротивление высоковольтной ЛЭП x_2 :

$$x_2 = \frac{x_0 \cdot L_1 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}$$

где L_1 – длина воздушной линии, км;

S_{σ} – базисная мощность, МВА;

U_0 – базисное напряжение, кВ;

$x_0 = 0,4$ Ом/км – сопротивление воздушной линии;

$$x_2 = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 100}{115^2} = 0,06$$

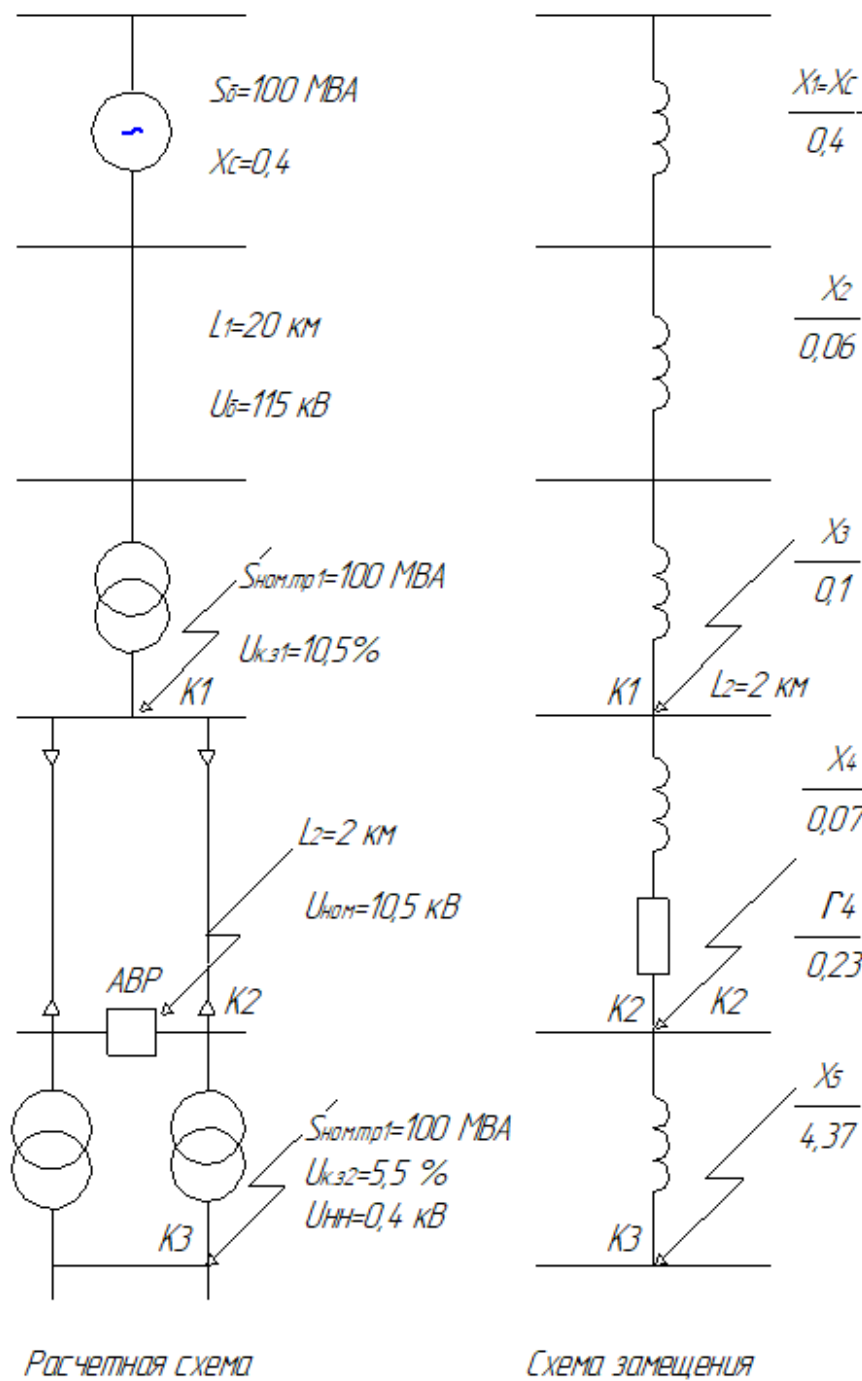


Рисунок 3 – Схемы к расчету токов короткого замыкания

- сопротивление головного трансформатора x_3 :

$$x_3 = \frac{U_{кз\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{ном.тр1}}$$

$$x_3 = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 100} = 0,1$$

- индуктивное сопротивление кабельной линии x_4 :

$$x_4 = \frac{x_0 \cdot L_2 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}$$

где $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$ – индуктивное сопротивление кабеля;

$$x_4 = \frac{0,08 \cdot 2 \cdot 100}{(2 \cdot 10,5^2)} = 0,07$$

- активное сопротивление кабельной линии r_4 :

$$r_4 = \frac{r_0 \cdot L_2 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}$$

где $r_0 = 0,25 \text{ Ом/км}$ – активное сопротивление кабеля;

$$r_4 = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 100}{(2 \cdot 10,5^2)} = 0,23$$

- сопротивление трансформатора x_5 :

$$x_5 = \frac{U_{кз\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{ном.тр2}}$$

$$x_5 = \frac{5,5 \cdot 100}{100 \cdot 2 \cdot 0,63} = 4,37$$

Расчет токов трехфазного КЗ в точке К1:

- суммарное сопротивление $x_{\Sigma K1}$:

$$x_{\Sigma K1} = x_1 + x_2 + x_3$$

$$x_{\Sigma K1} = 0,4 + 0,06 + 0,1 = 0,56$$

- базисный ток $I_{\sigma 1}$, кА:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}$$

- ток короткого замыкания I_{K31} , кА:

$$I_{K31} = \frac{I_{\sigma}}{x_{\Sigma K1}}$$

$$I_{K31} = \frac{0,5}{0,56} = 0,89 \text{ кА}$$

- ударный ток короткого замыкания I_{y1} , кА:

$$I_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K31}$$

$$I_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,89 = 2,27 \text{ кА}$$

где $K_y = 1,8$ – ударный коэффициент для сетей высокого напряжения.

Расчет токов трехфазного КЗ в точке К2:

- суммарное сопротивление $x_{\Sigma K2}$:

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K1} + x_4$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,56 + 0,07 = 0,63$$

- полное сопротивление Z_{K2} :

$$Z_{K2} = \sqrt{r_4^2 + x_{\Sigma K2}^2}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{0,23^2 + 0,63^2} = 0,67$$

Активное сопротивление кабеля учитывается, если оно больше 1/3 суммарного индуктивного сопротивления до расчетной точки короткого замыкания:

$$r_4 < \frac{1}{3} \cdot x_{\Sigma K2}$$

$$0,23 < \frac{1}{3} \cdot 0,63 = 0,21$$

- ток базисный $I_{\delta 2}$, кА:

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

$$I_{\delta 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

- ток короткого замыкания I_{K32} , кА:

$$I_{K32} = \frac{I_{\delta}}{Z_{K2}}$$

$$I_{K32} = \frac{5,5}{0,67} = 8,2 \text{ кА}$$

- ударный ток короткого замыкания I_{y2} , кА:

$$I_{y2} = \sqrt{2 \cdot K_y} \cdot I_{K3}$$

$$I_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 8,73 = 14,8 \text{ кА}$$

- мощность короткого замыкания S_{K32} , мВА:

$$S_{K32} = \frac{S_6}{x_{\Sigma}}$$

$$S_{K32} = \frac{100}{0,63} = 158,74 \text{ мВА}$$

Расчет тока трехфазного КЗ в точке КЗ:

- суммарное сопротивление $x_{\Sigma K3}$:

$$x_{\Sigma K3} = x_{\Sigma K2} + x_5$$

$$x_{\Sigma K3} = 0,63 + 4,37 = 5$$

- базисный ток I_{63} , кА:

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}$$

где $U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}$ – номинальное напряжение на низкой стороне трансформатора цеховой КТП;

$$I_{63} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,33 \text{ кА}$$

- ток короткого замыкания I_{K33} , кА:

$$I_{K33} = \frac{I_{63}}{x_{\Sigma K3}}$$

$$I_{K33} = \frac{144,33}{5} = 28,87 \text{ кА}$$

- ударный ток короткого замыкания I_{y3} , кА:

$$I_{y3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3}$$

где $K_y = 1,2$ – ударный коэффициент;

$$I_{y3} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 28,87 = 50 \text{ кА}$$

- мощность короткого замыкания S_{K33}, MVA :

$$s_{K33} = \frac{S_{\sigma}}{x_{\Sigma}}$$

$$S_{K33} = \frac{100}{5} = 20 \text{ MVA}$$

8 Выбор электрических аппаратов и проводников

При выборе электрических аппаратов и проводников необходимо руководствоваться такими условиями расчета, как расчетные рабочие токи присоединений, а также токи короткого замыкания.

Перед выбором проводников и аппаратов нужно брать во внимание ряд факторов, а именно: вес, габариты и размеры, стоимость данной установки, тип исполнения установки – открытая или закрытая, а также способ ее расположения в распределительном устройстве.

Выбор оборудования на напряжение 6-10,35 кВ осуществляется совместно с выбором распределительных устройств типа КСО, КРУ, КРУН.

Расчет и выбор автоматического выключателя показан на примере защиты шлифовального станка.

Номинальный ток $I_{ном01}, A$:

$$I_{ном01} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$I_{ном01} = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6 \cdot 0,8} = 94,96 A$$

Ток теплового расцепителя $I_{т.р01}, A$:

$$I_{т.р01} = 1,15 \cdot I_{ном01}, A$$

$$I_{т.р01} = 1,15 \cdot 94,96 = 109,2 A$$

Пусковой ток $I_{пуск01}, A$:

$$I_{пуск01} = I_H \cdot K$$

$$I_{пуск01} = 94,96 \cdot 5 = 474,8 A$$

Ток электромагнитного расцепителя $I_{эм.р01}, A$:

$$I_{эм.р01} = I_{пуск01} \cdot 1,25, \text{ А}$$

$$I_{эм.р01} = 474,8 \cdot 1,25 = 593,5 \text{ А}$$

Выбран автоматический выключатель ВА51-33 с номинальным током $I_{ном}=160$ А, током теплового расцепителя $I_{т.р}=125$ А, током электромагнитного расцепителя $I_{эл.р}=1250$ А. Подключение электроприемника выполнено кабелем ВВГнг LS 4x50, с $I_{доп.}=165$ А.

Аналогично произведен расчет и выбор автоматических выключателей и марки кабеля, сечение жилы и длительно допустимый тока для остальных электроприемников.

Выбор остальных аппаратов и проводников произведен в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор автоматов

№	Наименование оборудования	Количество оборудования, п	Ном. мощность эл. приемника $P_{н}$, кВт	Ном. ток эл. приемника $I_{ном}$, А	Пусковой ток эл. приемника	Ном. ток теплового расцепителя $I_{тр}$, А		Ном. ток эл. магнитного расцепителя $I_{эмр}$, А		Ном. ток плавкой вставки $I_{пл.вс}$, А		Ном. ток аппарата $I_{ном}$, А	Тип выбранного аппарата	Ном. допустимый ток $I_{доп}$, А	Сечение провода S , мм ²
						Расчет. значение	Стандартное значение	Расчет. значение	Стандартное значение	Расчет. значение	Стандартное значение				
1	Шлифовальные станки	4	30	94,96	474,8	109,2	125	593,5	1250	-	-	160	ВА 51-33	165	ВВГнг ls 4 x 50
2	Токарные станки	7	15	56,98	284,9	65,527	100	356,125	1000	-	-	100	ВА 51-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
3	Заточные станки	2	3	11,4	57	13,11	16	71,25	160	-	-	25	ВА 51-25	26	ВВГнг ls 4 x 2,5
4	Обдирочные станки	2	15	43,83	219,15	50,4	63	262,98	630	-	-	100	ВА 51-31-1	107	ВВГнг ls 4 x 25
5	Анодно-механические станки	16	17	49,67	245,35	57,12	63	294,42	630	-	-	100	ВА 51Г-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
6	Кран мостовой	1	40	151,94	759,7	174,73	200	949,625	2400	-	-	250	ВА 51-35	255	ВВГнг ls 4 x 95
ШРА1 – распределительный шинопровод К-series GDR, IP55 $I_{ном}=250A$															
1	Сверлильные станки	3	2,2	8,36	41,8	9,614	10	50,16	100	-	-	25	ВА 51-25	26	ВВГнг ls 4 x 2,5
2	Заточные станки	1	3	11,4	57	13,11	16	71,25	160	-	-	25	ВА 51-25	26	ВВГнг ls 4 x 2,5
3	Фрезерные станки	2	30	113,96	569,8	131,054	160	712,25	1600	-	-	160	ВА 51-33	165	ВВГнг ls 4 x 50

Продолжение таблицы 5

4	Расточные станки	3	5,5	20,9	104,5	24,035	25	125,4	250	-	-	25	ВА 51-25	26	ВВГнг ls 4 x 2,5
5	Обдирочные станки	3	15	43,83	219,15	50,4	63	262,98	630	-	-	100	ВА 51-31-1	107	ВВГнг ls 4 x 25
6	Обдирочные станки	3	15	43,83	219,15	50,4	63	262,98	630	-	-	100	ВА 51-31-1	107	ВВГнг ls 4 x 25
7	Обдирочные станки	3	15	43,83	219,15	50,4	63	262,98	630	-	-	100	ВА 51-31-1	107	ВВГнг ls 4 x 25
ШРА2 - распределительный шинопровод K-series GDR, IP55 $I_{ном}=250A$															
ШМА1 – магистральный шинопровод Isolsbarra, IP55 $I_{ном}= 800 A$															
1	Полуавтомат для сваоки	3	22,3	84,7	423,5	97,4	100	508,2	1000	-	-	100	ВА 51-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
2	Масляный насос	2	14	31,3	156,5	35	40	187,8	400	-	-	100	ВА 51Г-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
3	Обдирочно-шлифовальный станок	4	5,4	20,5	102,5	23,58	25	123	250	-	-	25	ВА 51-25	26	ВВГнг ls 4 x 2,5
ШРА3 - распределительный шинопровод K-series GDR, IP55 $I_{ном}=160A$															
1	Сварочные трансформаторы	6	8	30,4	152	34,96	40	182,4	400	-	-	100	ВА 51-31-1	107	ВВГнг ls 4 x 25
2	Агрегат точечной сварки	12	30,9	97,8	489	112,5	125	618,25	1250	-	-	160	ВА 51-33	131	ВВГнг ls 4 x 35
ШРА4 - распределительный шинопровод K-series GDR, IP55 $I_{ном}=630A$															
1	Электропечь сопротивления	6	45	100,54	502,7	115,62	125	628,37 5	1250	-	-	160	ВА 51-33	165	ВВГнг ls 4 x 50

Продолжение таблицы 5

2	Токарные станки импульсной сварки	6	17,1	64,96	324,8	74,704	80	389,76	800	-	-	100	ВА 51Г-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
ШРА5 - распределительный шинопровод K-series GDR, IP55 $I_{ном}=630A$															
1	Пресс гидравлический односторонний	3	14	53,18	265,9	61,157	80	319,08	800	-	-	100	ВА 51-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
2	Кондиционер	2	24	53,63	268,15	61,67	80	321,78	800	-	-	100	ВА 51-31	107	ВВГнг ls 4 x 25
3	Сушильные шкафы	2	45	131,5	657,5	151,2	160	821,87 5	1600	-	-	160	ВА 51-33	165	ВВГнг ls 4 x 50
4	Станок агрегатный с поворотным столом	3	24,6	93,44	467,2	107,45 6	125	584	1250	-	-	160	ВА 51-33	131	ВВГнг ls 4 x 35
5	Нагреватель индукционный	2	50	100	500	115	125	625	1250	-	-	160	ВА 51-33	131	ВВГнг ls 4 x 35
6	Машина моечная камера	1	15	35,6	178	40,94	50	213,6	500	-	-	100	ВА 51Г-31	107	ВВГнг ls 4 x 35
ШРА6 - распределительный шинопровод K-series GDR, IP55 $I_{ном}=630A$															
ШМА2 - магистральный шинопровод Isolsbarra, IP55 $I_{ном}=1250 A$															

9 Выбор высоковольтного кабеля

Жилы кабеля бывают двух типов – медные или алюминиевые. Высоковольтные провода (кабели) предназначены для передачи электроэнергии большой мощности на напряжение от 6 кВ и выше. Это всегда надежные и неприхотливые силовые кабели, которые используют не один десяток лет, срок службы до 50 лет. Данные кабели обладают отличными диэлектрическими и механическими свойствами. Сама по себе изоляция сшита из полиэтилена, но чаще всего она бумажно-масляная; примерная толщина такого кабеля может быть от 4 до 6 мм.

В сравнении с обычными кабелями высоковольтные имеют неоспоримые плюсы: выполненные из полиэтилена они значительно лучше отзываются на устойчивость к коротким замыканиям, имеют значительно меньший вес, радиус изгиба, диаметр. Такие кабели имеют малую горючесть, в них отсутствует галоген. Диапазон температуры климатических условий в рабочей среде порядка от – 50С до + 60С, температура в момент короткого замыкания может достигать порядка +250 С.

Номинальный ток трансформатора $I_{н.тр}$, А:

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

где $S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение трансформатора, кВ;

$$I_{н.тр} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,65 \text{ А}$$

Предварительное сечение кабеля $S_{э, мм^2}$:

$$s_{э} = \frac{I_{н.тр}}{\gamma_{э}}$$

где $\gamma=1,2$ - экономическая плотность тока для медного кабеля;

$$S_{\text{э}} = \frac{34,65}{1,2} = 28,87 \text{ мм}^2$$

Предварительно выбран кабель с алюминиевой жилой стандартного сечения $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$.

Проверка сечения на термическую устойчивость $S_{\text{мин}}, \text{мм}^2$:

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{к.з.к2}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C}$$

где $C=85$ – для кабеля с алюминиевой жилой;

$$S_{\text{мин}} = \frac{8,73 \cdot \sqrt{0,4}}{85} = 60,95 \text{ А}$$

Окончательно к монтажу принят алюминиевый высоковольтный кабель марки А-CREOLON 3x70 RM/10 6/10 кВ с длительно допустимым током $I_{\text{д}} = 190 \text{ А}$.

10 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока

В настоящее время энергетика развивается стремительными темпами, особое место занимают высоковольтные выключатели, разъединители и трансформаторы тока.

Высоковольтные выключатели – это коммутационные приборы, служащие для коммутации (отключения и включения) токов превышающих значения килоампер, коммутации токов нагрузки, токов КЗ, также для отключения небольших емкостных и индуктивных токов.

Для обеспечения стабильной и нормальной работы самой системы в целом отключение токов КЗ должно происходить в течение пары долей секунды.

Исполнение самого прибора выполнено просто и надежно, его использование легкое, ремонтпригодность прибора очень высокая, не составляет труда. Его использование очень редко, оно не превышает пары минут в год, он всегда должен быть готов к работе. Выключатель должен производить коммутацию номинальных токов, а также выдерживать воздействие этих номинальных токов и напряжение, выдерживать кратковременные термические токи и динамические воздействия сквозных токов короткого замыкания.

Различные виды аппаратов выбираются в соответствии с максимальными величинами, такими как: ток, напряжение и мощность отключающей способности, – для обеспечения нормального режима КЗ.

Разъединитель – это контактный коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения электрической цепи без тока или с незначительным током, и который для обеспечения безопасности имеет между контактами в отключённом положении изоляционный промежуток.

Трансформатор тока – предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а также

для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Для их выбора сравнивают указанные расчетные величины с допустимыми значениями для высоковольтного оборудования.

Составляют таблицу сравнения указанных расчетных и допустимых величин. При этом для обеспечения надежной безаварийной работы, расчетные величины должны быть меньше допустимых значений.

Разъединители – аппараты, не предназначенные для отключения токов короткого замыкания, поэтому на отключающую способность их не проверяют.

Таблица 6 – Выбор высоковольтных аппаратов

Выключатель вакуумный ВВПЭ-10-20/630 УЗ		Разъединитель РВ-10/400 УХЛ2		Трансформатор тока ТОЛ 10	
Расчетные данные	Паспортные данные	Расчетные данные	Паспортные данные	Расчетные данные	Паспортные данные
$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 400 \text{ А}$	$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 100 \text{ А}$
$I_y = 14,8 \text{ кА}$	$I_{отклсл} = 52 \text{ кА}$	$I_y = 14,8 \text{ кА}$	$I_{отклсл} = 52 \text{ кА}$		
$I_{к.з} = 8,2 \text{ кА}$	$I_{откл} = 20 \text{ кА}$				
$I_{к.з.2}^2 = 8,2^2 \cdot 0,4 = 26,9$	$I_5^2 \cdot t_5 = 20^2 \cdot 5 = 2000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$I_{к.з.2}^2 = 8,2^2 \cdot 0,4 = 26,9$	$I^2 \cdot t = 10^2 \cdot 10 = 1000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$K_D = \frac{I_y}{\sqrt{2}} \cdot I_H = \frac{14,8}{\sqrt{2}} \cdot 0,075 = 120,3$	$K_D = 250$
$S_K = 123,46 \text{ МВА}$	$S_{откл} = 350 \text{ МВА}$			$K_T = I_{к.з} \cdot \frac{\sqrt{t_{np}}}{I_H} = 8,2 \cdot \frac{\sqrt{0,4}}{0,075} = 73,62$	$K_T = 90$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- рассчитаны общецеховые нагрузки и нагрузки каждого станка в отдельности, рассчитаны силовые нагрузки распределительных шинопроводов ШРА1-ШРА6 и магистральных шинопроводов ШМА1-ШМА2 на напряжение 0,4 кВ и промышленной частоты 50 Гц.

- подключение электроприемников к распределительной сети шинопроводов происходит с помощью ответвительных коробок с автоматическими выключателями. Для защиты станков используются автоматические выключатели серии от ВА 51-25 до ВА51-35. Защита сети распределительной системы шинопроводов происходит аппаратами типа от ВА52-35 до ВА52-39.

- рассчитана осветительная нагрузка и осветительная сеть, были приняты светильники ПВЛМ 2Х58 со светодиодными лампами типа Т8 Standart F58/54-765, мощностью 2х58 Вт, со световым потоком 8000 лм и климатическим исполнением УХЛ4. Осветительная сеть выполнена шинопроводом E-line КАМ-0205-В-STD. К монтажу принят щиток освещения ОЩВ-7 УЛ4 на 7 отходящих линий, подключение осветительного щитка к КТП выполнено кабелем ВВГ_{нг} LS 4х16. Защита осветительной сети осуществляется автоматическим выключателем типа ВА 47-29. Защита щитка освещения ОЩВ-7 –происходит автоматом ВА 47-63.

- рассчитаны 2 компенсаторные установки УКРМ-6,3-300-2х150 с мощностью каждой 150 кВАр, на напряжение 0,4 кВ, с повышением коэффициента мощности до 0,92.

- в цеху была выбрана, принята и установлена комплектная трансформаторная подстанция, состоящая из двух трансформаторов ТМГ-630 10/0,4. Мощность каждого трансформатора 630 кВА с напряжением первичной обмотки 10 кВ, напряжение вторичной обмотки 0,4 кВ. Схема

соединения первичной и вторичной обмотки «звезда», напряжение короткого замыкания 5,5 %, потери холостого хода $P_{xx}=1050 \text{ кВт}$, ток холостого хода $I_{xx}=1,2\%$, потери мощности короткого замыкания $P_{кз}=7,6 \text{ кВт}$.

- схема силовой распределительной сети была выбрана смешенная. Смешанная схема включает в себя распределительные линии шинопроводов и магистральные линии шинопроводов. Распределительные шинопроводы ШРА1-ШРА-6; к ним применены сборные шинопроводные канальные системы K-series типа GDR на номинальный ток $I_{ном}=250-630 \text{ А}$ с медной четырехпроводной шиной: L1, L2, L3, N, PE (корпус). Магистральные шинопроводы рассчитаны на номинальные токи $I_{ном}=800-1250 \text{ А}$ и степень защиты по стандарту IP55.

Располагающаяся внутри цеха подстанция связана с заводской ГПП кабельной линией. Марка используемого кабеля А-CREOLON 3x95 RM/10 6/10кV с алюминиевой жилой.

Защита персонала от поражения электрическим током выполнена контуром заземления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск: Норматика, 2016. 464 с.
2. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 416 с
3. РД 153.34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ОАО РАО ЕЭС России, 1998. 131 с.
4. Эрнст А. Д. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: учеб. пособие. Омск: ОмГТУ, 2009. 72 с.
5. Рожкова Л.Д, Карнеева Л.К, Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.. Академия, 2004. 448 с.
6. Вахнина В. В., Самолина О. В. Положение о выпускной квалификационной работе бакалавров: учебно - методическое пособие для студентов 140200 "Электроэнергетика". Тольятти: ТГУ, 2009. 16 с.
7. Вахнина В.В., Степкина Ю.В, Самолина О.В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров: учебно - методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2012. 31 с.
8. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 288 с.
9. Анцев И. Б, Силенко В.Н. Основы проектирования внутренних электрических сетей. М.: Проспект Науки, 2010. 272 с.
10. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции: учебное пособие для студентов. М.: Директ-Медиа, 2014. 414 с.
11. Короткевич, М. А. Монтаж электрических сетей. Минск: Вышэйшая школа, 2012. 512 с.
12. РД 34.20.178. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения М.: Сельэнергопроект, 1982. 109 с.

13. Железко Ю. С., Артемьев А.В, Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2004. 280 с.
14. Абдимуратов Ж.С., Мананбаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности: методические указания к выполнению раздела: расчет производственного освещения в выпускных работах для всех специальностей. Алматы: АИЭС, 2009. 20 с.
15. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение сельского хозяйства. Дипломное проектирование. М.: Лань, 2018. 316 с.
16. Фролов Ю.М, Шелякин В.П. Основы электроснабжения: учебное пособие для студентов. СПб.: Лань, 2012. 479 с.
17. Гайсаров Р.В., Лисовская И.Т. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 59 с.
18. Сагирова И.С., Давыдова Т.Н. Аппараты высокого напряжения. Том 2. Разъединители и заземлители. Часть 2. Разъединители и заземлители наружной установки: Справочник. М.: Информэлектро, 2000. 84 с.
19. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1988. 171 с.
20. Кнорринг Г. М. Осветительные установки. Л: Энергоиздат., 1981. 288 с.
21. Киреева Э.А, Орлов В.В, Старкова Л.Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. М.: НТФ "Энергопрогресс", 2003. 120 с.