

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 производства по переработке стекла»

Студент

Е.С. Журинов

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Черненко

(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

В выпускной квалификационной работе (ВКР) была произведена реконструкция системы электроснабжения производства по переработке стекла.

Данная работа включает в себя следующие разделы:

- Введение, с формулировкой дальнейшей задачи;
- Расчет электрических нагрузок;
- Расчет электрического освещения;
- Выбор силовых трансформаторов;
- Расчет токов короткого замыкания;
- Выбор оборудования;
- Расчет заземления КТП;

ВКР состоит из 64 страниц, 3 рисунков, 5 таблиц, 6 чертежей формата

A1.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Характеристика производственного участка, требования к электроснабжению.....	7
1.1. Схемы электроснабжения промышленных предприятий.....	9
1.2. Электроснабжение промышленных предприятий и установок в неблагоприятных климатических условиях.....	11
2. Расчет электрических нагрузок.....	14
2.1. Расчет силовой нагрузки распределительного шинпровода ШРА2.....	16
2.2. Расчет силовой нагрузки магистрального шинпровода ШМА.....	19
2.3. Расчет осветительной нагрузки.....	26
2.4. Электрический расчет осветительной сети.....	29
2.5. Компенсация реактивной мощности.....	31
2.6. Выбор числа и мощности трансформаторов.....	32
2.7. Расчет и выбор аппаратов защиты.....	38
2.8. Расчет токов короткого замыкания.....	47
2.9. Выбор высоковольтного кабеля.....	55
2.10. Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока.....	57
2.11. Расчет заземления трансформаторной подстанции.....	59
Заключение.....	62
Список используемых источников.....	63

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент большим спросом пользуются различные изделия из стекломатериалов. Технологии позволяют изготавливать большое разнообразие предметов всех цветов и форм, открывая широкие возможности для дизайнеров и деятелей искусства. По-прежнему большую долю рынка потребления стекольной продукции составляют предприятия, производящие алкогольные и безалкогольные напитки. Производители посуды, металлопластиковых окон, мебельная индустрия – источники постоянного и стабильного спроса на стекло. Именно наличие такого большого количества потенциальных потребителей делает стекольный бизнес привлекательным для капиталовложений.

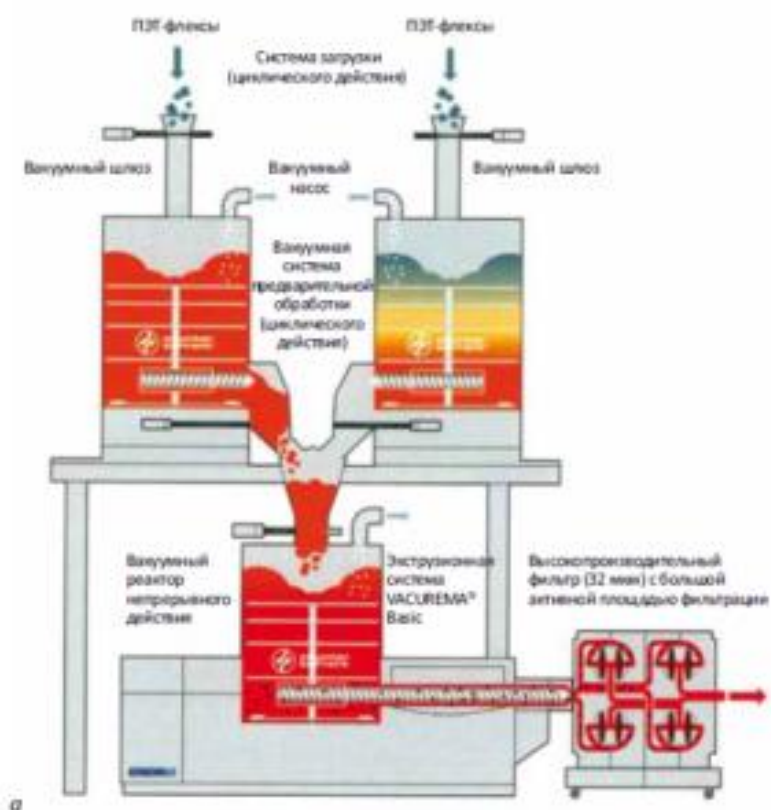


Рисунок 1 – Система переработки тары

Рассматривая возможность производства стекольной продукции и переработки тары в бой, следует учитывать некоторые моменты:

— переработка имеет простой технологический цикл, при этом не требует много времени и ресурсов, а производство, напротив – длительный, трудоемкий и ресурсоемкий процесс;

— стеклоробой – универсальное сырье, которое затем может быть использовано при изготовлении любой продукции, а бизнес по производству и переработке стекла, как правило, узконаправленный, отвечающий потребностям ограниченного количества потребителей, например, только изготовление бутылок. Расширять в этом случае линию, ориентированную на новый вид продукции, будет довольно дорогостоящим проектом;

— благодаря простой технологии, переработка стеклоробой требует минимального количества оборудования, следовательно, более низкие капитальные вложения, которые быстро окупаются и бизнес начинает приносить чистую прибыль;

— завод по переработке стеклотары можно разместить в арендованном помещении – это также сокращает первоначальные инвестиции.

Технология изготовления содержит несколько этапов:

1 подготовка сырья. Для производства потребуются следующие основные компоненты: известняк; песок кварцевый; мел; сода;

2 вспомогательные компоненты: краситель; осветлитель; ускоритель варки; прочие;

3 составление смеси – шихты – соединение всех компонентов в необходимой пропорции;

4 варка стекломассы в высокотемпературных печах;

5 охлаждение полученной смеси;

6 формование изделия;

7 отжиг.

Более востребовано листовое стекло, его и проще всего производить. Начинающему предпринимателю следует ограничить ассортимент листовым

или оконным стеклом. Нужно будет отработать все технологические этапы, и изготавливать продукцию, отвечающую определенным требованиям:

- прозрачность – конечный продукт должен иметь светопрозрачность в диапазоне 84–87%;

- допускается наличие единичных точечных дефектов, таких как газовые пузырьки, инородные включения и прочее;

- прочность – конечный продукт должен выдерживать нагрузку до 250 МПа – это достигается правильной закалкой;

- термостойкость – должна быть на уровне 1750°C.

Необходимое оборудование:

- бункер загрузки исходного сырья;

- конвейер транспортировки;

- стекловаренная печь;

- валки для охлаждения;

- конвейерная лента для протяжки готовой массы;

- стол для нарезки.

Технологические этапы переработки стеклобоя:

Весь технологический процесс достаточно прост и сводится к нескольким основным этапам:

- сбор стеклотары и бракованных изделий;

- сортировка с помощью специальной машины, оснащенной грохотом и ситом;

- если мини-завод укомплектован оптическим прибором, который сортирует бой по цвету и оттенкам, то это значительно повысит качество производимого сырья;

- извлечение металлических предметов с помощью установки, оснащенной магнитом;

- мойка стеклобоя;

- сушка;

- дробление;

1 Характеристика производственного участка, требования к электроснабжению

«Электроснабжение промышленных предприятий строится на основе питающих, распределительных, трансформаторных, преобразовательных подстанций, а также на связывающих их кабельных, воздушных сетях, токопроводов (низкого и высокого напряжения). Проектирование электроснабжения промышленных предприятий должно происходить с учетом важнейших требований, определяющих: надежность; удобство; безопасность; обеспечение необходимого количества/качества энергии; бесперебойность снабжения электрической энергии в обычном режиме и послеаварийном; экономичность по затратам энергии, материалов и оборудования. Соблюдать вышеперечисленные требования возможно при использовании взаимного резервирования путей предприятия и сплочения питания промышленных и коммунальных (а также сельских) потребителей. В момент сооружения на предприятии собственной электрической станции необходимо учесть близлежащие потребители энергии (внезаводские)» [3].

Приемники, обеспечивающие электроснабжение промышленных объектов. Так как электросети и подстанции являются элементами общей структуры предприятия, они должны координироваться с технологическими, строительными частями, а также с планом здания. К примеру, высокие требования к надежному и качественному электроснабжению предъявляются крупными предприятиями цветной и черной металлургии. Они отличаются высокими значениями суммарных установленных мощностей электрических приемников, которые могут достигать 1700-2000 МВт. Электроприемники можно разделить на 3 категории:

«1. Электроприемники, которые вследствие перерывов в электроснабжении могут проявить опасность для людей, нанести ущерб оборудованию, продукции и т. д. Такие приемники должны питаться от двух отдельных источников. Перерыв электроснабжения возможен только на

период автоматического включения резерва. Примеры: котельные производственного пара, доменные цехи, приводы вагранок, ответственные насосные, разливочные краны и др.

2. Электроприемники, перерыв в работе которых связан с недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов, транспорта. Допустимы перерывы питания на время, которое необходимо для ручного включения резерва.

3. Прочие электроприемники, которым позволен перерыв электроснабжения на время ремонта (не более одних суток). Например, вспомогательные цеха, неответственные склады, цеха несерийного производства и др» [3].

Для того чтобы правильно решать вопросы надежности, нужно точно установить режимы, которые возникают при аварии и после нее. Аварийный режим – временный режим, возникающий из-за нарушения приемлемой работы системы электроснабжения или ее отдельных элементов. Послеаварийный режим – режим после ликвидации аварии, который длится до полного восстановления нормальной работы. Очевидно, что система электроснабжения должна строиться так, чтобы при послеаварийном режиме она смогла обеспечить функционирование главных производств промышленного предприятия (после необходимых пересоединений). При послеаварийном режиме допускаются перебои в подаче электроэнергии приемниками третьей и отчасти второй категорий на небольшое время.

Напряжение, подходящее для того или иного предприятия, зависит от: потребляемой мощности предприятием; промежутком от предприятия до источника; значения номинального напряжения, при котором может производиться питание.

К примеру, для напряжения 20 кВт применяются более легкие, экономичные аппараты, чем для 35 кВт. Годовые расходы при использовании такого напряжения значительно уменьшаются. Но, как уже было сказано выше, напряжение 20 кВт не подойдет для большого промышленного

предприятия. На второй и следующих ступенях распределения электроэнергии на больших и средних заводах может применяться напряжение 10 (6) кВ. Что касается первой ступени, то на крупных предприятиях такое напряжение возможно при использовании токопроводов.

Напряжение 3 кВ не применяется в качестве основного напряжения распределительной сети. Его использование может быть задействовано для действующих электрических установок до реконструкции.

Другие напряжения применяются:

- для электроустановок до 1000 В – напряжение 380-220 В;
- на реконструируемых промышленных предприятиях – напряжение 220-127 В (довольно редко);
- в помещении с высокой опасностью – 36 В;
- для питания переносных ламп – напряжение до 12 В;
- на химических, нефтехимических промышленных предприятиях – 660 В (довольно редко).

1.1 Схемы электроснабжения промышленных предприятий

Самая надежная, экономичная система электроснабжения – та, при которой источники наивысшего напряжения приближены к потребителям максимально, а прием электрической энергии распределяется по всем пунктам. При строительстве системы все ее элементы формируются под нагрузкой. При этом, «холодный» резерв не применяется. Таким образом, потери электрической энергии снижаются, а надежность – возрастает. Почему это происходит? Резервные элементы, которые продолжительное время находились в бездействии, могут при включении не заработать из-за неисправного состояния. Для того чтобы избежать последствий данной ситуации, в схеме предусматривается «скрытый» резерв, который в послеаварийном состоянии сможет взять на себя основную нагрузку нерабочего элемента. Возобновление питания потребителей происходит

автоматически на переменном оперативном токе. В этом случае производится автоматическое отключение неисправных потребителей на послеаварийный период. Кстати, зачастую с успехом используется раздельная работа элементов. В таком случае ток короткого замыкания понижается и коммутация упрощается.

Автоматика обеспечивает надежность электроснабжения в раздельной работе. Качество питания получается не хуже, чем при параллельной работе. Применяется секционирование всех элементов со схемами АВР (автоматическое включение резерва). Такой метод способствует увеличению надежности электроснабжения. К сожалению, не во всех случаях раздельная работа с АВР показывает необходимый результат. Добиться быстрого восстановления системы удается не всегда.

Схемы электрического снабжения формируются по ступеням, которые обозначают мощность предприятия и расположение электрических нагрузок. Чаще всего используются 2-3 ступени. Если их больше, то усложняются защита, эксплуатация, коммутация. Такие схемы применимы на периферийных участках, на отдельных трансформаторах.

Схемы с одной ступенью используются на малых и средних предприятиях, применяясь на:

- магистральных, радиальных линиях глубоких проводов 110-220 кВ – мощность более 50 МВ-А;
- магистральных, радиальных токопроводах 6-10 кВ – мощность более 15-80 МВ-А;
- магистральных, радиальных кабельных сетях 6-10 кВ – мощность 15-20 МВ-А.

Схемы с более глубокими вводами, магистральными токопроводами требуют соблюдения некоторых моментов. Например, если есть возможность без труда реализовать принцип дробления подстанций и глубокие вводы 110 кВ, то нет нужды использовать токопроводы. В том случае, если расположение немалого числа подстанций 35-220 кВ, а прохождение

воздушных линий глубоких вводов затруднено, то используются токопроводы. Исходя из этих подсчетов, можно принять окончательное решение построения схемы.

1.2 Электроснабжение промышленных предприятий и установок в неблагоприятных климатических условиях

Большинство предприятий имеют загрязненные области, которые возникают из-за образования вредных веществ. Они отрицательно влияют на токоведущие элементы электрических установок. Источники загрязнения – химические (производства пластмассы), ферросплавные производства, а также производства стали, магния и др. Такие загрязнения имеют пять степеней (первая степень – самая мощная).

Для загрязненных областей устанавливаются специальные нормативы для определения типа изоляции, подстанций, линий электропередач. Также рассчитываются минимальные промежутки от источников загрязнения. Расстояние зависит от класса производства. К примеру, для пятой степени – от пятидесяти метров, для первой – до 1500 метров. Проблема загрязнения требует особого внимания и принятия необходимых мер.

Основные электрооборудования цеха производству стекла относятся ко 2-ой категории надежности электроснабжения, поэтому требуется двухтрансформаторная подстанция.

Цех предназначен для производства, обработки и упаковки готового листового стекла и зеркальных изделий, так же цех оборудован стеллажами для временного хранения заготовок. Стены, потолок, колонны окрашены светлой краской для лучшего отражения света. Источником света в цехе является только искусственное освещение.

Цех имеет следующие габаритные размеры:

- ширина $A = 32$ метров;
- длина $B = 48$ метров;

- высота Н = 10 метров.

Таблица 1 - Перечень оборудования участка производства стекла

Позиция	Название оборудования	Мощность кВт	Кол-во
1	2	3	4
1	Тележка придаточная рельсовая	5	1
2	Стол для обработки стекла аммиачно-Меловым раствором	3	1
3	Стеллаж-передвижной ааккумуляторный	3	9
4	Установка вакуумная металлизационная для нанесения зеркального покрытия на стекло	50	2
5	Насос-вакуумный	17	2
6	Накопитель для стекла с нанесённой амальгамой	2	2
7	Машина лаколивная	3	1
8	Конвекционная сушильная камера	47,2	1
9	Накопитель для стекла и зеркал для последующего раскроя	1,2	9
10	Стеллаж двухсторонний для хранения неиспользуемого стекла	3	4
11	Стол раскроя стекла и зеркал	5,3	3
12	Станок обработки торцевых сторон изделий	5	2
13	Стеллаж кассетного типа для сушки изделий (ребровой)	13	2
14	Линия обработки прямых кромок	10,3	1
15	Станок сверлильный	4	1
16	Стеллаж-накопитель для обработанных изделий	1,2	5
17	Накопитель для обработки листового стекла	1,2	15

Продолжение таблицы 1

18	Пескоструйный аппарат для обработки листового стекла	53	1
19	Стол склейки и упаковки готовой продукции	3	2
20	Конвейер подвесной	1	37
21	Печь индукционная	2	40
22	Роботизированная техника	6	5

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок - наиболее ответственный расчет, выполняемый при проектировании системы электроснабжения каждого предприятия любой отрасли народного хозяйства. Завышение нагрузки может привести к перерасходу проводникового материала, удорожанию строительства.

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

Расчет электрических нагрузок показан на примере распределительного шинпровода ШРА-2.

Таблица 2- Перечень оборудования распределительного шинпровода ШРА 2

Позиция оборудования	Наименование электроприемников	Количество электроприемников	Единичная мощность электроприемников	Коэффициент использования	Коэффициент мощности, тангенс потерь
		n, шт	P, кВт	K_n	$\cos\omega/tg\omega$
1	2	3	4	5	6
03	Стеллаж передвижной аккумуляторный	3	3	0,3	0,4/2,29
04	Установка вакуумная металлизационная для нанесения зеркального покрытия на стекло	1	50	0,2	0,65/,16
06	Накопитель для стекла с нанесённой амальгамой	2	2	0,25	0,4/2,29
08	Конвекционная сушильная камера	1	47,2	0,6	0,95/0,32

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
012	Станок обработки торцевых сторон изделия	2	5	0,25	0,52/1,64
013	Стеллаж кассетного типа для сушки изделий	2	13	0,25	0,4/2,29
014	Линия обработки прямых кромок	1	10,3	0,25	0,52/1,64
015	Станок сверлильный	1	4	0,4	0,65/1,16
016	Стеллаж-накопительный для обработанных изделий	5	1,2	0,25	0,4/2,29
017	Накопитель для обработки листового стекла	5	1,2	0,25	0,4/2,29
019	Стол склейки и упаковки готовой продукции	2	3	0,25	0,52/1,64
022	Роботизированная техника	2	5	0,5	0,8/0,75

- номинальная мощность группы электроприёмников $P_{ном.уст012}$, кВт

$$P_{ном.уст012} = n \cdot P_{ном012}$$

где n - количество электроприёмников в группе, шт

$$P_{ном.уст012} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ кВт}$$

- среднесменная активная мощность $P_{см012}$, кВт

$$P_{см012} = P_{ном.уст012} \cdot K_H$$

$$P_{см012} = 10 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ кВт}$$

- среднесменная реактивная мощность $Q_{см012}$, кВАр

$$Q_{см012} = P_{см012} \cdot \text{tg} \phi$$

$$Q_{см012} = 2,5 \cdot 1,64 = 4,1 \text{ кВАр}$$

2.1 Расчет силовой нагрузки распределительного шинпровода ШРА №2

- Номинальная мощность электроприёмников $P_{ШРА2}$, кВт

$$P_{ном.ШРА2} = \sum_1^n P_{ном.зр}$$

$$P_{ном.ШРА2} = 9 + 50 + 4 + 47,2 + 10 + 26 + 10,3 + 4 + 6 + 6 + 6 + 10 = 188,5 \text{ кВт}$$

- среднесменная активная мощность $P_{смШРА2}$, кВт

$$P_{см.ШРА2} = \sum_1^n P_{см.зр}$$

$$P_{см.ШРА2} = 2,7 + 10 + 1 + 28,32 + 2,5 + 6,5 + 2,57 + 1,6 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 5 = 64,69 \text{ кВт}$$

- среднесменная реактивная мощность $Q_{см.ШРА2}$, кВАр

$$Q_{см.ШРА2} = \sum_1^n Q_{см.зр}$$

$$Q_{см.ШРА2} = 6,2 + 11,6 + 2,29 + 9 + 4,1 + 14,8 + 4,2 + 1,8 + 3,4 + 3,4 + 2,5 + 3,75 = 67,1 \text{кВАр}$$

- модуль силовой сборки m

$$m = \frac{P_{ном.наиб.ШРА2}}{P_{ном.ШРА2}}$$

$$m = \frac{50}{1,2} = 42 \geq 3$$

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

$P_{ном}$ - единичная номинальная мощность наименьшего по мощности электроприёмника, кВт

- коэффициент использования $K_{и.ШРА2}$

$$K_{и.ШРА2} = \frac{P_{см.ШРА2}}{P_{ном.ШРА2}}$$

$$K_{и.ШРА2} = \frac{64,69}{188,5} = 0,34 \geq 0,2$$

- средневзвешенный тангенс потерь $tg\phi_{ШРА2}$

$$tg\phi_{ШРА2} = \frac{Q_{см.ШРА2}}{P_{см.ШРА2}}$$

$$\operatorname{tg} \phi_{\text{ШРА2}} = \frac{67,1}{64,69} = 1,03 \rightarrow \cos \phi_{\text{ШРА9}} = 0,69$$

- эффективное число электроприёмников

$$n_9 = 8 \text{ т.к. } m > 3, K_{\text{и}} > 0,2, n > 5$$

$$n = \frac{2 \sum_1^n P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном.наиб}}}$$

$$n = \frac{2 \cdot 188,5}{50} = 7,54 \approx 7$$

- коэффициент максимума $K_{\text{макс}}$

$$K_{\text{макс}} = 1,72$$

- максимальная активная мощность $P_{\text{макс.ШРА2}}$, кВт

$$P_{\text{макс.ШРА2}} = P_{\text{см.ШРА2}} \cdot K_{\text{макс}}$$

$$P_{\text{макс.ШРА2}} = 64,69 \cdot 1,72 = 111,2 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность $Q_{\text{макс.ШРА2}}$, кВАр

$$Q_{\text{макс.ШРА2}} = Q_{\text{см.гр}}, \text{ если } n \geq 10$$

$$Q_{\text{макс.ШРА2}} = 67,1 \text{ кВАр}$$

- максимальная полная мощность $S_{\text{макс.ШРА2}}$, кВАр

$$S_{\text{макс.ШРА2}} = \sqrt{P_{\text{макс.ШРА2}}^2 + Q_{\text{макс.ШРА2}}^2}$$

$$S_{\text{макс.ШРА2}} = \sqrt{111,2^2 + 67,2^2} = 133,5 \text{ кВАр}$$

- максимальный ток $I_{\text{макс.ШРА2}}$, А

$$I_{\text{макс.ШРА2}} = \frac{S_{\text{макс.ШРА2}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

$$I_{\text{макс.ШРА2}} = \frac{133,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 202,8 \text{ А}$$

2.2 Расчет силовой нагрузки магистрального шинпровода ШМА

- номинальная мощность электроприёмников $P_{\text{ШМА}}$, кВт

$$P_{\text{ном.ШМА}} = \sum_1^n P_{\text{ном.зр}}$$

$$P_{\text{ном.ШРА2}} = 13,8 + 102,9 + 44 + 188,5 + 195 = 544,2 \text{ кВт}$$

- среднесменная активная мощность $P_{\text{смШМА}}$, кВт

$$P_{\text{см.ШМА}} = \sum_1^n P_{\text{см.зр}}$$

$$P_{\text{см.ШМА}} = 3,16 + 47,25 + 31,25 + 64,69 + 69 = 215,35$$

- среднесменная реактивная мощность $Q_{\text{смШМА}}$, кВт

$$Q_{см.ШМА} = \sum_1^n Q_{см.эр}$$

$$Q_{см.ШМА} = 7 + 107 + 19,7 + 67,1 + 134,6 = 335,4 \text{кВАр}$$

- модуль силовой сборки m

$$m = \frac{P_{ном.наиб.ШРА2}}{P_{ном.ШРА2}}$$

$$m = \frac{53}{1,2} = 44 \geq 3$$

- коэффициент использования $K_{и.ШМА}$

$$K_{и.ШМА} = \frac{P_{см.ШМА}}{P_{ном.ШМА}}$$

$$K_{и.ШРА2} = \frac{215,35}{544,2} = 0,39 \geq 0,2$$

- средневзвешенный тангенс потерь $\text{tg}\phi_{ШМА}$

$$\text{tg}\phi_{ШМА} = \frac{Q_{см.ШМА}}{P_{см.ШМА}}$$

$$\text{tg}\phi_{ШМА} = \frac{335,4}{215,35} = 1,55 \rightarrow \cos\phi_{ШМА} = 0,54$$

- эффективное число электроприёмников

$n_3=21$, т.к. $m > 3$, $K_{и} > 0,2$, $n > 5$

$$n = \frac{2 \sum_1^n \cdot P_{ном}}{P_{ном.наиб}}$$

$$n = \frac{2 \cdot 544,2}{53} = 20,5 \approx 21$$

- коэффициент максимума $K_{макс}$

$$K_{макс} = 1,24$$

- максимальная активная мощность $P_{макс.ШРА2}$, кВт

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

$$P_{макс.ШМА} = 215,35 \cdot 1,24 = 267 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность $Q_{макс.ШРА2}$, кВАр

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

$$Q_{макс.ШМА} = 335,4 \text{ кВАр}$$

- максимальная полная мощность $S_{макс.ШРА2}$, кВАр

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

$$S_{макс.ШМА} = \sqrt{267^2 + 335,4^2} = 428,7 \text{ кВАр}$$

- максимальный ток $I_{\text{макс.ШМА}}$, А

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

$$I_{\text{макс.ШРА2}} = \frac{428,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 651,2 \text{ А}$$

Расчет по остальным распределительным устройствам выполнен аналогично, результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Расчет электрических нагрузок

№ п/п	Наименование потребителя	Количество, п	Установленная мощность		m	Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка		n _э	Км	Максимальная мощность			Максимальный ток I _{макс} А
			Одного ЭП, P _{ном} , кВт	Общая, P _{ном. уст} кВт				P _{см} кВт	Q _{см} кВАр			P _{макс} кВт	Q _{макс} кВАр	S _{макс} кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	Стеллаж передвижной	1	3	3	-	0,3	0,4/ 2,29	0,9	2	-	-	-	-	-	-
9	Накопитель для стекла	9	1,2	10,8	-	0,2	0,4/ 2,29	2,16	5	-	-	-	-	-	-
	ПР №1	10>5	-	13,8	2,5<3	0,22>0,2	0,4/ 2,29	3,16	7	10	1,84	5,8	7	9	13,7
1	Тележка рельсовая	1	5	5	-	0,2	0,4/ 2,29	1	2,29	-	-	-	-	-	-
2	Стол обработки	1	3	3	-	0,25	0,52/ 1,64	0,75	1,23	-	-	-	-	-	-
3	Стеллаж передвижной	4	3	12	-	0,3	0,4/ 2,29	3,6	8,2	-	-	-	-	-	-
10	Стеллаж двухсторонний	4	3	12	-	0,2	0,4/ 2,29	2,4	5,5	-	-	-	-	-	-
11	Стол раскроя	3	5,3	15,9	-	0,25	0,52/ 1,64	4	9,1	-	-	-	-	-	-
21	Печь индукционная	1	40	40	-	0,7	0,35/ 2,67	28	74,8	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

22	Роботизированная техника	3	5	15	-	0,5	0,8/ 0,75	7,5	5,7	-	-	-	-	-	-
	ШРА №1	17>5	-	102,9	13,4>3	0,46>0,2	0,41/ 2,26	47,25	107	5	1,57	74,2	107	138,7	210,7
20	Конвейер подвесной	1	37	37	-	0,75	0,85/ 0,61	27,75	17	-	-	-	-	-	-
22	Роботизированная техника	1	7	7	-	0,5	0,8/ 0,75	3,5	2,7	-	-	-	-	-	-
	ПР №2	2>5	-	44	5,2>3	0,71>0,2	0,84/ 0,63	31,25	19,7	2	1,29	40,3	21,67	44,8	68,2
3	Стеллаж передвижной	3	3	9	-	0,3	0,4/ 2,29	2,7	6,2	-	-	-	-	-	-
4	Установка вакуумная	1	50	50	-	0,2	0,65/ 1,16	10	11,6	-	-	-	-	-	-
6	Накопитель для стекла	2	2	4	-	0,25	0,4/ 2,29	1	2,29	-	-	-	-	-	-
8	Сушильная камера	1	47,2	47,2	-	0,6	0,95/ 0,32	28,32	9	-	-	-	-	-	-
12	Станок обработки торцевых сторон	2	5	10	-	0,25	0,52/ 1,64	2,5	4,1	-	-	-	-	-	-
13	Стеллаж для сушки	2	13	26	-	0,25	0,4/ 2,29	6,5	14,8	-	-	-	-	-	-
14	Линия обработки прямых кромок	1	10,3	10,3	-	0,25	0,52/ 1,64	2,57	4,2	-	-	-	-	-	-
15	Станок сверлильный	1	4	4	-	0,4	0,65/ 1,16	1,6	1,85	-	-	-	-	-	-
16	Стеллаж накопительный	5	1,2	6	-	0,25	0,4/ 2,29	1,5	3,4	-	-	-	-	-	-
17	Накопитель для обработки листового стекла	5	1,2	6	-	0,25	0,4/ 2,29	1,5	3,4	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

19	Стол склейки и упаковки	2	3	6	-	0,25	0,52/ 1,64	1,5	2,5	-	-	-	-	-	-
22	Роботизированная техника	2	5	10	-	0,5	0,8/ 0,75	5	3,75	-	-	-	-	-	-
	ШРА №2	27>5	-	118,5	42>3	0,34>0,2	0,69/ 1,03	64,69	67,1	8	1,72	111,2	67,1	133,5	202,8
3	Стеллаж передвижной	1	3	3	-	0,3	0,4/ 2,29	0,9	2,1	-	-	-	-	-	-
4	Установка вакуумная	1	50	50	-	0,25	0,65/ 1,16	12,5	14,5	-	-	-	-	-	-
5	Насос вакуумный	2	17	34	-	0,25	0,65/ 1,16	8,5	9,8	-	-	-	-	-	-
7	Машина лаколивная	1	3	3	-	0,25	0,4/ 2,29	0,75	1,7	-	-	-	-	-	-
17	Накопитель для обработки листового стекла	10	1,2	12	-	0,2	0,4/ 2,29	2,4	5,5	-	-	-	-	-	-
18	Пескоструйный аппарат	1	53	53	-	0,3	0,52/ 1,64	15,9	26	-	-	-	-	-	-
21	Печь индукционная	1	40	40	-	0,7	0,35/2,67	28	75	-	-	-	-	-	-
	ШРА №3	17>5	-	195	44>3	0,35>0,2	0,45/ 1,95	69	134,6	7	1,8	124,2	134	193,2	293,5
	ШМА	73>5	-	544,2	44>3	0,39>0,2	0,54/ 1,55	215,35	335,4	21	1,24	267	335,4	428,7	651,4
	Освещение	176	0,039	8	-	0,95	0,9/ 0,48	7,6	3,7	-	-	-	-	-	-
	Итого с освещением	73>5	-	552,2	44>3	0,4>0,2	0,55/ 1,5	227,35	342,7	7	1,24	282	342,7	443,7	674,2
	Компенсация	-	-	-	-	-	-	-	-200	-	-	-	-	-	-
	Итого с компенсацией	73>5	-	552,2	44>3	0,4>0,2	089/0,53	227,35	122,7	7	1,24	282	122,7	307,5	467,2

2.3. Расчет осветительной нагрузки

«Освещение имеет важное гигиеническое значение. Хорошее освещение создает благоприятные условия для жизни и деятельности человека. Важно не просто освещать помещение или отдельное рабочее место, а создавать освещение, которое соответствовало бы характеру выполняемой работы» [3].

Исходные данные:

- высота подвеса $h_c = 0,6$ м;
- размеры цеха $A \times B \times H = 48 \times 32 \times 6$ м.
- нормируемая освещенность $E_n = 300$ лк;
- коэффициент запаса $K_z = 1,5$;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м;
- высота подвеса светильников над рабочей поверхностью H_p , м

$$H_p = H - h_c - h_p$$

$$H_p = 6 - 0,6 - 0,8 = 4,4 \text{ м}$$

- расчетное значение расстояния между рядами светильников L , м

$$L = \lambda \cdot H_p$$

$$L = 4,4 \cdot 0,7 = 3,08 \approx 3 \text{ м}$$

- расчетное значение расстояния до первого ряда светильников ℓ , м

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

$$\ell = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ м}$$

- количество светильников по ширине N_A , шт

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

$$N_A = \frac{48 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 16 \text{шт}$$

- количество светильников по длине N_B , шт

$$N_B = \frac{B - 2 \cdot \ell}{L} + 1$$

$$N_B = \frac{32 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 11 \text{шт}$$

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

$$N_{об} = N_A \cdot N_B$$

$$N_{об} = 16 \cdot 11 = 176 \text{шт}$$

Принять и установить расположение светильников вдоль архитектурных линий здания, с расстоянием между светильниками по длине 3 м, по ширине 3 м, расстояние от стены до линий светильников 1,5 м.

- расчетное значение светового потока Φ_p , лм

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

где – S – площадь помещения;

E_n – нормируемая освещенность $E_n = 300$ лк;

K_3 – коэффициент запаса $K_3 = 1,5$;

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

η - КПД ламп светильника $\eta = 0,8$

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 48 \cdot 32 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{2 \cdot (16 \cdot 11) \cdot 0,8} = 2822,5 \text{ лм}$$

- нормированная освещенность E_p , лк

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

$$E_p = \frac{5200 \cdot 300}{2822,5} = 552 \text{ лк}$$

- коэффициент запаса K_3

$$K_3 = \frac{E_p}{E_n}$$

$$K_3 = \frac{552}{300} = 1,84$$

Выбраны светильники LED LL-DVO-041-M со светодиодными лампами, мощностью 39 Вт, со световым потоком 5200 лм.

2.4 Электрический расчет осветительной сети

Электрический расчет осветительной сети производится с целью выбора марки провода (кабеля), определения сечения питающих проводников, а так же выбора типов защитных аппаратов.

- активная мощность осветительной нагрузки $P_{осв}$ кВт

$$P_{осв} = N \cdot P_l \cdot K_{И} \cdot K_{пра}$$

где - $K_{И} = 0,95$ коэффициент использования;

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

$$P_{осв} = 16 \cdot 11 \cdot 0,039 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 8 \text{ кВт}$$

- реактивная мощность осветительной нагрузки $Q_{осв}$ кВАр

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \phi$$

$$Q_{осв} = 8 \cdot 0,48 = 4 \text{ кВАр}$$

- полная мощность осветительной нагрузки $S_{осв}$ кВА

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

$$S_{осв} = \sqrt{8^2 + 4^2} = 10$$

- максимальный ток осветительной нагрузки $I_{осв}$, А

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

$$I_{ocв} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 21,2 A$$

- ток теплового расцепителя вводного автомата $I_{тр}$ А

$$I_{тр} = 1,15 \cdot I_{ocв}$$

$$I_{тр} = 1,15 \cdot 21,2 = 25 A$$

- номинальный ток отходящей линии I_l , А

$$I_l = I_{ocв} / N_{A(B)}$$

$$I_l = 25 / 16 = 1,5$$

- ток теплового расцепителя автомата отходящей линии (на 2 ряда) $I_{тр.л}$, А

$$I_{тр.л} = 2 \cdot 1,15 \cdot I_l$$

$$I_{тр.л} = 2 \cdot 1,15 \cdot 2,1 = 4,8 A$$

К монтажу принято 8 линейных автоматических выключателей Schneider electric IC60N с $I_{ном}=6A$, $I_{тр}=6A$, осветительная сеть выполнена осветительным шинопроводом «Басбар» E-line КАМ-0205-В-STD, с $I_{доп}=25 A$
> $I_{ocв}=1,5 A$

К монтажу принят щиток освещения ОЦВ-9 УЛ4 на 9 отходящих линий с вводным автоматическим выключателем Schneider electric IC60N, $I_{ном}=50$ А, $I_{тр}=50$ А, на восемь линейных автоматических выключателей Schneider electric IC60N с $I_{ном}=6$ А, $I_{тр}=6$ А, подключение осветительного щитка к КТП выполнено кабелем ВВГ_{нг-LS} 4x16, с $I_{доп}=60$ А > $I_{осв}=21,2$ А

2.5 Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в настоящее время является немаловажным фактором, позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии. По оценкам ведущих специалистов доля энергоресурсов, в частности электроэнергии, составляет порядка 30-40 % от стоимости продукции. Это достаточно веский аргумент, чтобы со всей серьезностью подойти к анализу энергопотребления и выработке методики компенсации реактивной мощности промышленного предприятия.

- расчетное значения реактивной мощности установки Q_K , кВАр

$$Q_K = a \cdot P_{см} \cdot (tg\varphi - tg\phi_K)$$

где $a = 0,8$ – коэффициент, учитывающий изменение среднегодового потребления электрической энергии;

$tg\varphi_1 = 1,5$ - значение тангенса угла сдвига фаз, соответствующее среднегодовому коэффициенту мощности $\cos\varphi_1$ до компенсации;

$tg\varphi_2 = 0,42$ - рекомендуемое значение $tg\varphi$ энергосистемы (0,33-0,42)

$P_{см} = 227,35$ - среднесменная активная мощность участка, кВт;

$$Q_K = 0,8 \cdot 227,35 \cdot (1,5 - 0,42) = 196,4 \text{ кВАр}$$

$$Q_{СТК} = 220 \text{ кВАр}$$

- фактическое значение тангенса потерь $\operatorname{tg}\phi$ и коэффициент мощности $\cos\phi$

$$\operatorname{tg}\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{CTK}}}{P_{\text{CM}} \cdot a}$$

$$\operatorname{tg}\phi = 1,5 - \frac{220}{227,35 \cdot 0,8} = 0,36 \rightarrow \cos\phi = 0,94$$

Окончательно к установке принимается два компенсатора УКМ (КРМ)-0.4-110-10 с мощностью $Q_{\text{CT}} = 110$ кВАр на напряжение 0,4 кВ.

2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов

Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях определяется величиной и характером электрических нагрузок (требуемой надежностью электроснабжения и характером потребления электроэнергии), территориальным размещением нагрузок, их перспективным изменением и при необходимости обосновывается технико-экономическими расчетами.

Исходные данные:

- номинальное напряжение питающей сети - $U_{\text{H}} = 380/220$ В;
- коэффициент мощности после компенсации $\cos\phi = 0,89$
- среднесменная активная мощность $P_{\text{CM}} = 227,35$ кВт;
- среднесменная реактивная мощность $Q_{\text{CM}} = 122,7$ кВАр;
- максимальная полная мощность $S_{\text{max}} = 307,5$ кВАр

Мощность трансформатора должна соответствовать условию:

$$S_{TP} \geq S_{max.pac}$$

где S_{TP} – мощность трансформатора, кВА;

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

- активные потери мощности трансформатора ΔP_{TP} , кВт

$$\Delta P_{TP} = 0,02 \cdot S_{max}$$

$$\Delta P_{TP} = 0,02 \cdot 307,5 = 6,15 \text{ кВт}$$

- реактивные потери мощности трансформатора ΔQ_{TP} , кВАр

$$\Delta Q_{TP} = 0,1 \cdot S_{max}$$

$$\Delta Q_{TP} = 0,1 \cdot 307,5 = 3,1 \text{ кВАр}$$

- полные потери мощности трансформатора ΔS_{TP} , кВА

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

$$\Delta S_{TP} = \sqrt{6,15^2 + 3,1^2} = 6,9 \text{ кВА}$$

- расчетное значение полной максимальной мощности на высокой стороне $S_{TP.BH}$, кВА

$$S_{TP.BH} = S_{max} + \Delta S_{TP}$$

$$S_{TP.BH} = 307,5 + 6,9 = 314,4 \text{ кВА}$$

Вариант А

К установке на КТП предварительно принято два трансформатора по 250 кВА

- коэффициент загрузки трансформатора K_3

$$K_3 = \frac{S_{max}}{S_T}$$

$$K_3 = \frac{314,4}{2 \cdot 250} = 0,64$$

- аварийный режим при отключении одного трансформатора

$$1,4 \cdot 250 = 350 \text{ кВА} \geq 0,75 \cdot 314,4 = 235,8 \text{ кВА}$$

Затраты на установку КТП с трансформаторами типа ТМГ – 400/10/0,4

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

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

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

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

где C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода; β – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии (0,9 руб/кВт·час);

$$C_0 = \left(\frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 422,6 \text{ руб} / \text{кВт год}$$

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

$$C = \left(\frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 2405 = 116 \text{ руб} / \text{кВт год}$$

$$C \cdot P = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot P_{кз}$$

$$C \cdot P = 422,6 \cdot 0,74 + 116 \cdot 0,64 \cdot 3,7 = 587,4$$

Стоимость трансформатора ТМГ-250 по данным 2019 года составляет 240000 руб.

$$E = 0,223$$

$$C_{ТЗ} = 210000 \text{ рублей}$$

$$Z_T = E \cdot C_{ТЗ} + C \cdot P_T$$

$$Z_T = 0,223 \cdot (210000 \cdot 2) + 587,4 \cdot 2 = 94834,8 \text{ рублей.}$$

Вариант Б

К установке на КТП предварительно принят трансформатор ТМГ 400 кВА

- коэффициент загрузки трансформатора K_3

$$K_3 = \frac{S_{max}}{S_T}$$

$$K_3 = \frac{314,4}{400} = 0,79$$

Затраты на установку КТП с трансформаторами типа ТМГ – 400/10/0,4

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

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

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

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

где C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода; β – дополнительная плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии (0,9 руб/кВт·час);

$$C_0 = \left(\frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 422,6 \text{ руб} / \text{кВт год}$$

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

$$C = \left(\frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 2405 = 116 \text{ руб} / \text{кВт год}$$

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

$$C \cdot \Delta P = 422,6 \cdot 0,74 + 116 \cdot 0,64 \cdot 3,7 = 587,4$$

Стоимость трансформатора ТМГ-400 по данным 2019 года составляет 430000 руб.

$$E = 0,223$$

$$C_{ТЗ} = 430000 \text{ рублей}$$

$$Z_T = E \cdot C_{ТЗ} + C \cdot \Delta P_T$$

$$Z_T = 0,223 \cdot 430000 + 587,4 \cdot 2 = 97064 \text{ рублей.}$$

Окончательно к установке выбрана двухтрансформаторная цеховая подстанция КТП с двумя трансформаторами ТМГ-250 10/0,4

Технические характеристики трансформатора:

- номинальная мощность $S_{тр} = 250$ кВА;
- номинальное напряжение обмоток высшего напряжения $U_{1н} = 10$ кВ;
- номинальное напряжение обмоток низшего напряжения $U_{2н} = 0,4$ кВ;
- напряжение короткого замыкания $U_{кз} = 4,5$ %;
- потери мощности короткого замыкания $P_{кз} = 3,7$ кВт;
- потери холостого хода $P_{xx} = 740$ кВт



Рисунок 2 - Трансформатор ТМГ-250 10/0,4

2.7 Расчет и выбор аппаратов защиты

Вопрос выбора защитного устройства является актуальным. Защищаемое оборудование становится все дороже и поэтому любая авария в электроустановке вызывает трудности в устранении поломки, связанные с поиском комплектующих, времени устранения поломки и стоимостью. Поэтому необходимо на стадии проектирования выбрать правильное защитное устройство исходя из многих критериев:

- доступность;
- надежность;
- экономичность изделия;
- комплексная экономичность.

Защита на предохранителях работает лучше, но их не так удобно применять как автоматические выключатели. Оба варианта имеют место быть, все зависит от применения. На вводах обычно используют

предохранители, непосредственное перед нагрузкой автоматические выключатели.

Расчет и выбор автоматического выключателя показан на примере защиты станка обработки торцевых сторон изделий

- номинальный ток $I_{ном012}$, А

$$I_{ном012} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta}$$

$$I_{ном012} = \frac{5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,52 \cdot 0,75} = 19,5$$

- ток теплового расцепителя $I_{тр.012}$, А

$$I_{ТР012} = 1,15 \cdot I_{ном012}$$

$$I_{ТР012} = 1,15 \cdot 19,5 = 22,4 \text{ А}$$

- пусковой ток $I_{пуск012}$, А

$$I_{пуск012} = I_n \cdot K$$

$$I_{пуск012} = 19,5 \cdot 5 = 97,5 \text{ А}$$

- ток электромагнитного расцепителя $I_{эм.р.012}$, А

$$I_{эм.р.012} = I_{пуск012} \cdot 1,25$$

$$I_{эм.р.012} = 97,5 \cdot 1,25 = 121,9 \text{ А}$$

Выбран автоматический выключатель Schneider electric IC60N с номинальным током $I_{ном} = 25A$ током теплового расцепителя $I_{т.р.} = 25A$, током электромагнитного расцепителя. $I_{эм.р.} = 250A$ Подключение электроприёмника выполнено кабелем ВВГнг LS 4x2,5 , с $I_{доп} = 25A$.

Аналогично произведен расчет и выбор автоматических выключателей и марки кабеля, сечение жилы и длительно допустимый тока для остальных электроприемников, результаты расчета сведены в таблицу 4

Таблица 4 - Расчётно-монтажная

№ п/п	Наименование потребителя	Количество, п	Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, кВт	Номинальный ток $I_{\text{ном}}$, А	Пусковой ток $I_{\text{пуск}}$, А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{\text{тр}}$, А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя $I_{\text{эмр}}$, А		Номинальный ток аппарата $I_{\text{ном}}$, А	Тип выбранного аппарата	Номинальный допустимый ток $I_{\text{доп}}$, А	Сечение провода S мм ²
						Расчётное значение	Стандартное значение	Расчётное значение	Стандартное значение				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	Стеллаж передвижной	1	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
9	Накопитель для стекла	9	1,2	6	23,5	7	10	35	100	10	Schneider electric IC60N 3П 10А	19	ВВГнг LS 4x1,5
ПР №1 типа ПР11-1045-21У3с номинальным током $I_{\text{ном}} = 100\text{А}$, Schneider electric IC60N 3П 25А, $I_{\text{ном}} = 25\text{А}$													
1	Тележка рельсовая	1	5	25,3	126	29,1	40	158	400	40	Schneider electric IC60N	35	ВВГнг LS 4x4

Продолжение таблицы 4

2	Стол обработки	1	3	11,5	58,4	13,4	20	73,1	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	19	ВВГнг LS 4x1,5
3	Стеллаж передвижной	4	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
10	Стеллаж двухсторонний	4	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
11	Стол раскроя	3	5,3	20,6	103	23,7	32	128,75	320	32	Schneider electric IC60N 3П 32А	35	ВВГнг LS 4x4
21	Печь индукционная	1	40	180,2	540,6	207,23	250	675,7	2500	250	Schneider Electric EasyPact на ток 250А	305	ВВГнг LS 4x150
22	Роботизированная техника	3	5	11,8	59,3	13,6	20	74,1	200	20	Schneider electric IC60N	25	ВВГнг LS 4x2,5

Продолжение таблицы 4

ШРА №1 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, I _{НОМ} = 400А, Schneider Electric EasyPact на ток 400А, I _{НОМ} = 400А													
20	Конвейер подвесной	1	37	88,2	401,2	89,8	100	507,5	1000	100	Schneider electric C120N 3П 100А	95	ВВГнг LS 4x25
22	Роботизированная техника	3	5	11,8	59,3	13,6	20	74,1	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
ПР №2 типа ПР11-1045-21УЗс номинальным током I _{НОМ} = 100А, Schneider electric C120N 3П 100А, I _{НОМ} = 100А													
3	Стеллаж передвижной	3	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
4	Установка вакуумная	1	50	155,8	780,2	179,2	200	970,3	2000	200	Schneider Electric EasyPact на ток 200А	180	ВВГнг LS 4x70
6	Накопитель для стекла	2	2	10,1	50,5	11,6	20	63,3	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5

Продолжение таблицы 4

8	Сушильная камера	1	47,2	80	397	91,3	100	495,5	1000	100	Schneider electric C120N 3П 100А	95	ВВГнг LS 4x25
12	Станок обработки торцевых сторон изделий	2	5	19,4	97,3	22,4	25	121,7	250	25	Schneider electric IC60N 3П 25А	35	ВВГнг LS 4x4
13	Стеллаж для сушки	2	13	65,8	329,1	75,7	80	411,4	1000	80	Schneider electric C120N 3П 80А	75	ВВГнг LS 4x16
14	Линия обработки прямых кромок	1	10,3	40,1	200,7	46,1	63	250,7	630	63	Schneider electric IC60N 3П 63А	55	ВВГнг LS 4x10
15	Станок сверлильный	1	4	12,4	62,5	14,4	20	78,2	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x25
16	Станок накопительный	5	1,2	6	30,4	6,8	20	38,1	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5

Продолжение таблицы 4

17	Накопитель для обработки листового стекла	5	1,2	6	30,4	6,8	20	38,1	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
19	Стол склейки и упаковки	2	3	11,7	58,5	13,5	20	73,2	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
22	Роботизированная техника	3	5	11,8	59,3	13,6	20	74,1	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
ШРА №2 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, I _{НОМ} = 400А, Schneider Electric EasyPact на ток 400А, I _{НОМ} = 400А													
3	Стеллаж передвижной	3	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
4	Установка вакуумная	1	50	155,8	780,2	179,2	200	970,3	2000	200	Schneider Electric EasyPact на ток 200А	180	ВВГнг LS 4x70

Продолжение таблицы 4

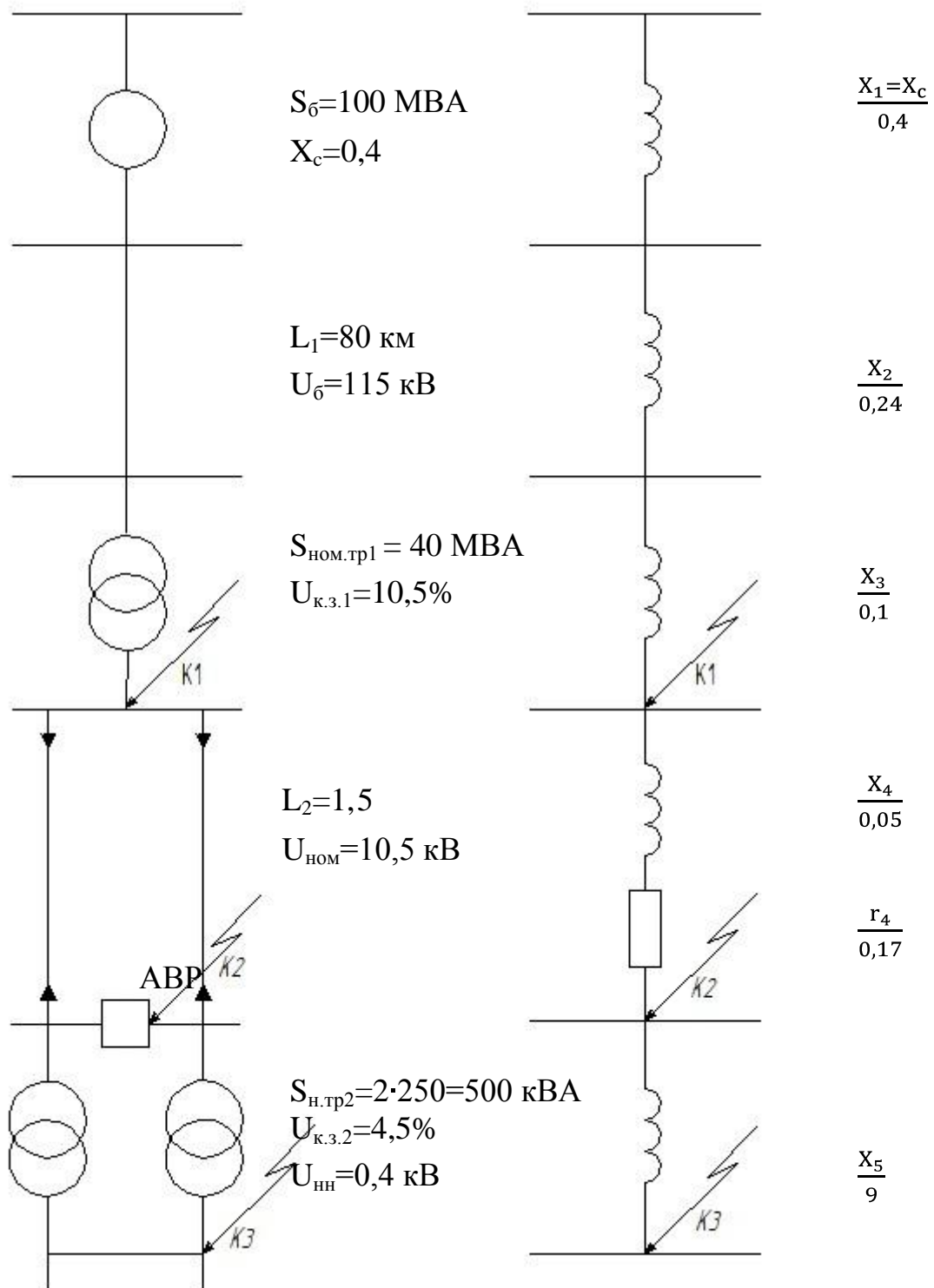
5	Насос вакуумный	2	17	52,8	265,1	60,9	80	331,2	1000	100	Schneider electric C120N 3П 100А	75	ВВГнг LS 4x16
7	Машина лаколивная	1	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	Schneider electric IC60N	25	ВВГнг LS 4x2,5
17	Накопитель для обработки листового стекла	10	1,2	6	30,4	6,8	20	38,1	25	20	Schneider electric IC60N 3П 20А	25	ВВГнг LS 4x2,5
18	Пескоструйный аппарат	1	53	206	619,4	236,9	250	774,2	2500	250	Schneider Electric EasyPact на ток 250А	260	ВВГнг LS 4x120
21	Печь индукционная	1	40	180,2	540,6	207,23	250	675,7	2500	250	Schneider Electric EasyPact на ток 250А	305	ВВГнг LS 4x150
ШРА №3 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, I _{НОМ} = 400А, Schneider Electric EasyPact на ток 400А, I _{НОМ} = 400А													
ШМА Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, I _{НОМ} = 1000А Schneider Electric EasyPact на ток 1000А, I _{НОМ} = 1000А													

2.8 Расчет токов короткого замыкания

Для выбора типов и параметров срабатывания устройств защиты трансформаторов необходимо определить максимальное и минимальное значение токов при КЗ на выводах НН понижающего трансформатора, или, как чаще говорят, при КЗ за трансформатором. Максимальное значение тока соответствует трехфазному металлическому КЗ за трансформатором.

Исходные данные для расчета токов короткого замыкания:

- базисная мощность системы неограниченной мощности $S_6 = 100$ МВА;
- базисное напряжение $U_6 = 115$ кВ;
- относительное базисное сопротивление системы неограниченной мощности принято $x_c = 0,4$;
- длина воздушной линии (ЛЭП) $L_1 = 80$ км;
- длина кабельной линии $L_2 = 1,5$ км;
- мощность головного трансформатора $S_{н.т} = 40$ МВА;
- напряжение короткого замыкания $u_{к.31} = 10,5\%$;
- мощность трансформатора цеховой КТП $S_{тр2} = 2 \cdot 250$ кВА;
- напряжение короткого замыкания $u_{к.32} = 4,5\%$;



а) схема расчетная

б) схема замещения

Рисунок 3 - Схемы к расчету токов короткого замыкания

- сопротивление системы x_1

$$x_1 = x_c = 0,4$$

- индуктивная сопротивление высоковольтной ЛЭП x_2

$$x_2 = \frac{x_0 \cdot L_1 \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2}$$

где L_1 – длина воздушной линии, км;

$S_{\bar{6}}$ – базисная мощность, МВА;

$U_{\bar{6}}$ – базисное напряжение, кВ;

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

$$x_2 = \frac{0,4 \cdot 80 \cdot 100}{115^2} = 0,24$$

- сопротивление головного трансформатора, x_3

$$x_3 = \frac{U_{к.з.} \cdot S_{\bar{6}}}{100 \cdot S_{ном.тр}}$$

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

- индуктивное сопротивление кабельной линии, x_4

$$x_4 = \frac{x_0 \cdot L_2 \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2}$$

где $x_0 = 0,08$ Ом/км – индуктивное сопротивление кабеля

$$x_4 = \frac{0,08 \cdot 1,5 \cdot 100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,05$$

- активное сопротивление кабельной линии, r_4

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

где - $r_0 = 0,25$ Ом/км – активное сопротивление кабеля

$$r_4 = \frac{0,25 \cdot 1,5 \cdot 100}{(2 \cdot 10,5)^2} = 0,17$$

- сопротивление трансформатора, x_5

$$x_5 = \frac{U_{к.з.} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{ном.тр2}}$$

$$x_5 = \frac{4,5 \cdot 100}{100 \cdot 2 \cdot 0,25} = 9$$

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТОЧКЕ К₁

- суммарное сопротивление $X_{\Sigma_{к1}}$

$$X_{\Sigma_{к1}} = x_1 + x_2 + x_3$$

$$X_{\Sigma_{к1}} = 0,4 + 0,24 + 0,1 = 0,74$$

- базисный ток $I_{\sigma 1}$, А

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

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

- ток короткого замыкания $I_{\text{кз1}}$ кА

$$I_{\text{кз1}} = \frac{I_{\sigma}}{X_{\Sigma \text{к1}}}$$

$$I_{\text{кз1}} = \frac{0,5}{0,74} = 0,67 \text{ кА}$$

- ударный ток короткого замыкания i_{y1} , кА

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{кз}}$$

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

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,67 = 1,7 \text{ кА}$$

РАСЧЕТ ТОКОВ КРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТОЧКЕ K_2

- суммарное сопротивление $X_{\Sigma \text{к1}}$

$$X_{\Sigma \text{к2}} = X_{\Sigma \text{к1}} + x_4$$

$$X_{\Sigma \text{к2}} = 0,74 + 0,05 = 0,79$$

- полное сопротивление $Z_{\text{к2}}$

$$z_{\kappa 2} = \sqrt{r_4^2 + X_{\Sigma \kappa 2}^2}$$

$$z_{\kappa 2} = \sqrt{0,17^2 + 0,79^2} = 0,83$$

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

$$r_4 \leq \frac{1}{3} \cdot X_{X_{\Sigma \kappa 2}}$$

$$0,17 \leq \frac{1}{3} \cdot 0,79 = 0,27$$

- базисный ток $I_{\bar{6}2}$, А

$$I_{\bar{6}2} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6}}}$$

$$I_{\bar{6}2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

- ток короткого замыкания $I_{\kappa 32}$ кА

$$I_{\kappa 32} = \frac{I_{\bar{6}}}{X_{\Sigma \kappa 2}}$$

$$I_{\kappa 32} = \frac{5,5}{0,79} = 6,8 \text{ кА}$$

- ударный ток короткого замыкания i_{y2} , кА

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз}$$

где $k_y = 1,2$ – ударный коэффициент

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 0,68 = 11,5 \text{ кА}$$

- мощность короткого замыкания $S_{кз2}$, МВА

$$S_{кз2} = \frac{S_{\bar{o}}}{x_{\sum \kappa 2}}$$

$$S_{кз2} = \frac{100}{0,79} = 125,5$$

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТОЧКЕ К₃

- суммарное сопротивление $X_{\sum \kappa 3}$

$$X_{\sum \kappa 3} = X_{\sum \kappa 2} + x_5$$

$$X_{\sum \kappa 2} = 0,79 + 9 = 9,79$$

- базисный ток $I_{\bar{o}3}$, А

$$I_{\bar{o}3} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}$$

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

$$I_{\sigma 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,33 \text{ кА}$$

- ток короткого замыкания $I_{\text{кз3}}$ кА

$$I_{\text{кз3}} = \frac{I_{\sigma}}{X_{\Sigma \text{кз}}}$$

$$I_{\text{кз2}} = \frac{144,33}{9,79} = 14,7 \text{ кА}$$

- ударный ток короткого замыкания i_{y3} , кА

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{кз}}$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 14,7 = 25 \text{ кА}$$

- мощность короткого замыкания $S_{\text{кз3}}$, МВА

$$S_{\text{кз3}} = \frac{S_{\sigma}}{x_{\Sigma \text{кз}}}$$

$$S_{\text{кз2}} = \frac{100}{9,79} = 10,2 \text{ МВА}$$

2.9 Выбор высоковольтного кабеля

Для передачи электроэнергии большой мощности и на напряжении свыше 6 кВ служат высоковольтные (силовые) кабели. Такие кабели содержат в своей конструкции элементы, обеспечивающие надежность, долговечность использования. Кроме того, высоковольтные кабели обладают хорошими механическими и диэлектрическими свойствами. Толщина изоляции в таких кабелях составляет 4-6 мм, может быть бумажно-масляной, но чаще всего из сшитого полиэтилена. По сравнению с обычными силовыми кабелями высоковольтные с изоляцией из сшитого полиэтилена обладают термической устойчивостью при коротком замыкании. Обладают меньшим весом, а также меньшим диаметром и радиусом изгиба. Токопроводящая жила может быть алюминиевой или медной. Также высоковольтные кабели обладают низкой горючестью с отсутствием галогенов. Допустимая температура окружающей среды при эксплуатации высоковольтных кабелей колеблется от -50 градусов до +60 градусов, при коротком замыкании – до +250 градусов. Срок службы современных высоковольтных кабелей составляет минимум 30 лет.

- 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

$$I_{н.тр} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13,7 \text{ А}$$

- предварительное сечение кабеля S , мм²

$$S_3 = \frac{I_{ном}}{\gamma_3}$$

где $\gamma_3 = 1,9$ - экономическая плотность тока для алюминиевого кабеля

$$S_3 = \frac{13,7}{1,9} = 7,2 \text{ мм}^2$$

Предварительно выбран кабель с алюминиевой жилой стандартного сечения $S_{ст} = 16 \text{ мм}^2$

- проверка сечения на термическую устойчивость $S_{мин}, \text{ мм}^2$

$$S_{мин} = \frac{I_{к.з.к.2} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{c}$$

где $c = 85$ – для кабеля с алюминиевой жилой

$$S_{мин} = \frac{6,8 \cdot \sqrt{0,4}}{85} = 50,6 \text{ мм}^2$$

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

2.10 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока

«Все виды аппаратов должны выбираться в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами (тока, напряжения, мощностью отключения) для нормального режима короткого замыкания.

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» [3].

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» [3].

Таблица 5- Высоковольтное оборудование

Выключатель вакуумный ВБПЭ-10-20/630 УЗ		Разъединитель РВ-10/400 УХЛ2		Трансформатор тока ТОЛ 10	
Расчетное	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 75 \text{ А}$
$i_y = 11,5 \text{ кА}$	$I_{ОТКЛ \text{ сл}} = 52 \text{ кА}$	$i_y = 11,5 \text{ кА}$	$I_{ОТКЛ \text{ сл}} = 52 \text{ кА}$	-	-
$I_{к.3.2} = 6,8 \text{ кА}$	$I_{ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$	-	-	-	-
$I_{к.3.2}^2 \cdot t_{пр} = 6,8^2 \cdot 0,4 = 18,5$	$I_5^2 \cdot t_5 = 20^2 \cdot 5 = 2000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$I_{к.3.2}^2 \cdot t_{пр} = 6,8^2 \cdot 0,4 = 18,5$	$I_{10}^2 \cdot t_{10} = 10^2 \cdot 10 = 1000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$K_d = \frac{i_y}{2} \cdot I_H = \frac{11,52}{2} \cdot 0,075 = 108,61$	$K_d = 250$
$S_k = 123,46 \text{ МВА}$	$S_{ОТКЛ} = 350 \text{ МВА}$	-	-	$K_T = I_{к.3.1} \cdot \frac{\overline{t_{пр}}}{I_H} = 6,8 \cdot \frac{0,4}{0,075} = 57,34$	$K_T = 90$

2.11 Расчет заземления трансформаторной подстанции

«Произведём расчёт заземления для цеха, для того чтобы определить сопротивление сооружаемого контура заземления при эксплуатации, его размеры и форму. Как известно, контур заземления состоит из вертикальных заземлителей, горизонтальных заземлителей и заземляющего проводника. Вертикальные заземлители вбиваются в почву на определенную глубину. Горизонтальные заземлители соединяют между собой вертикальные заземлители. Заземляющий проводник соединяет контур заземления непосредственно с электрощитом» [3]. Вид грунта чернозём $\rho_{гр} = \rho_3 = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Заземлители укладывают в ряд или по контуру на такую глубину, при которой от верхнего края заземлителя до края земли остается 0,5-0,8 м. Расстояние между вертикальными заземлителями не менее 2,5-3м

Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

- допустимое сопротивление заземляющего устройства, с учетом удельного сопротивления грунта

$$R_{з.см} = \frac{\rho_{гр}}{l_{ст}} \cdot 0,9$$

где $\rho_{гр}$ - удельное сопротивление грунта, $l_{ст}$ - длина вертикального заземляющего стержня

$$R_{з.см} = \frac{50}{2,5} \cdot 0,9 = 18 \text{ Ом}$$

- количество вертикальных заземлителей

$$n_g = \frac{R_{з.см}}{n_g \cdot R_z}$$

где n_B - коэффициент использования заземлителей расположенных по контуру

$$n_g = \frac{18}{0,7 \cdot 4} = 6,5$$

- длина горизонтального заземлителя l_r , м

$$l_z = a \cdot n_g$$

где a - расстояние между вертикальными заземлителями

$$l_z = 2,5 \cdot 6,5 = 17,5 \text{ м}$$

- сопротивление растекания горизонтального заземлителя R_r , Ом

$$R_z = 2,1 \cdot \frac{P}{l_z}$$

где P – периметр цеха, если длинна горизонтального контура заземлителя меньше периметра цеха, то длинна контура берется равной периметру цеха плюс 12-18 м

$$R_z = 2,1 \cdot \frac{160}{175} = 1,92$$

- сопротивление растекания тока R_r , Ом

$$R_{\zeta} = \frac{R_{3.cm} \cdot R_{\zeta}}{h_n \cdot R_{3.cm} + h_m \cdot R_{\zeta} \cdot n_6}$$

где h_m – коэффициент экранирования, $h_m = 1$

$$R_{\zeta} = \frac{18 \cdot 1,92}{0,36 \cdot 18 + 1 \cdot 1,92 \cdot 6,5} = 1,8$$

Заземление 1,92 Ом удовлетворяет требованию (в установках до 1000В, сопротивление не должно превышать 4 Ом)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Реконструкция системы электроснабжения производства по переработке стекла», выполнен с учётом всех технологических особенностей производства. Для обеспечения надёжности электроснабжения, выбрано смешанная схема устройства сетей. Выполнен расчёт силовых нагрузок методом коэффициента максимума, с учётом режима работы оборудования. В схеме питания участка, применяется шинопровод типа ШМА, кабели ВВГ различных сечений с медной жилой.

На основании расчёта выбрана двухтрансформаторная подстанция КТП, с силовым трансформатором ТМГ-250/10/0,4, трансформаторы подключены параллельно. Для обеспечения компенсации реактивной мощности и увеличения $\cos \varphi$, установлены два компенсатора централизованного исполнения в РУ трансформаторной подстанции, тип установки УКМ (КРМ)-0.4-110-10, УХЛ4 с мощностью 110 кВА.

Произведён расчёт рабочего освещения, в результате к установке приняты светильники LED LL-DVO-041-M со светодиодными лампами, мощностью 39 Вт. В результате сеть обеспечивает нормируемую освещённость 300 лк.

Предусмотрен контур заземления для обеспечения защиты персонала от поражения электрическим током.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РФ. Росстандарт. ГОСТ Р 50786-2012. Станки металлообрабатывающие малогабаритные. Требования безопасности : Введ. 2013-03-02. М., Стандартинформ, 2013.
2. Method for determining quality indicators of electrical power, authors: Ion S. Antoniu, Ion N. Chiuta, Dan D. Gheorghide // Annals: Series on engineering sciences. –2017. – p. 14.
3. Внутрицеховое электроснабжение [Электронный ресурс] : – Режим доступа: https://studopedia.ru/4_114193_vnutritsehovoe_elektrosnabzhenie.html - Заглавие с экрана.
4. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М. : Форму ; ИнфраМ, 2014. 596 с.
5. . ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М. : ЗАО «Энергосервис», 1998. – 980 с.
6. Суворин А. В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544 с.
7. Сивков А. А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174 с.
8. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368 с.
9. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие. М. : Academia, 2013. 320 с.
10. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128 с.
11. Сибкин Ю. Д., Сибикин М. Ю., Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368 с.

12. Кудрин Б. И. Электроснабжение: Учебник. М. : Academia, 2015. – 352 с. 52
13. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения – Теплоэнергетик. М. : Интехэнерго-Издат, 2014. 304 с.
14. Fernando Pacheco-Torgal Claes Granqvist Bjorn Jelle, Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting 1st Edition/ Woodhead Publishing, 2017. – 632 pages
15. Godfrey Boyle, Renewable Energy: Power for a Sustainable Future/ OUP Oxford; 3 edition, 13 Sept. 2012. - 584 pages.
16. Bob Everett, Stephen Peake, Janet Ramage, Energy Systems and Sustainability: Power for a Sustainable Future/OUP Oxford; 2 edition, 2013. – 672 pages.
17. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016.
18. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. М. : Тольятти, 2016.
19. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учебное пособие. М. : 2014. 414 с.
20. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Учебное пособие/Учреждение образования «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015.
21. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М.: ФОРУМ : ИНФРА – М, 2014. 214 с.