

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

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

Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Разработка системы электроснабжения производства  
автомобильных комплектующих»

Студент

В.О. Ферафонов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2020

## **Аннотация**

При выполнении бакалаврской работы был произведен выбор и расчет схемы электроснабжения ЗМШ ОАО «Белшина».

Произведен расчет силовой и осветительной нагрузки, выбор числа и мощности цеховых трансформаторов на основе технико-экономического сопоставления вариантов, выбор схемы распределения электроэнергии, выбор распределительных пунктов и кабельных линий, расчет токов короткого замыкания, выбор коммутационно-защитной аппаратуры.

Был произведен анализ систем внутреннего и внешнего электроснабжения.

В работе представлены также результаты выбора силового исполнительного оборудования, расчет силовых нагрузок и защитной аппаратуры для оборудования сборочного цеха.

В разделе безопасности жизнедеятельности описан план мероприятий по снижению выбросов в атмосферу от источников, а так же основные источники опасностей и рисков на рабочем месте.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 5  |
| 1 Характеристика производственной деятельности ЗМШ ОАО «Белшина»  | 7  |
| 1.1 Анализ хозяйственной деятельности предприятия   | 7  |
| 1.2 Характеристика, и описание технологического процесса производства                                   | 7  |
| 1.3 Состав и характеристики основного и вспомогательного оборудования сборочного цеха ЗМШ ОАО «Белшина» | 9  |
| 2 Анализ существующей системы электроснабжения предприятия  | 12 |
| 2.1 Анализ системы внешнего электроснабжения  | 12 |
| 2.2 Анализ системы внутреннего электроснабжения   | 12 |
| 3 Реконструкция системы электроснабжения ЗМШ ОАО «Белшина»  | 14 |
| 3.1 Выбор защитной и коммутационной аппаратуры для оборудования сборочного цеха                         | 16 |
| 3.2 Расчёт силовых нагрузок сборочного цеха   | 19 |
| 3.3 Выбор схемы и расчёт внутрицеховой электрической сети   | 23 |
| 3.4 Выбор трансформаторов и компенсирующих устройств  | 25 |
| 4 Реконструкция системы освещения сборочного ЗМШ ОАО «Белшина»  | 28 |
| 4.1 Светотехническая часть расчёта электрического освещения   | 28 |
| 4.2 Электрическая часть расчёта сети освещения  |    |
| 5 Релейная защита и автоматика  | 37 |
| 5.1 Релейная защита трансформатора 110/10кВ   | 37 |
| 5.1.1 Токовая отсечка   | 37 |
| 5.1.2 Дифференциальная защита   | 37 |
| 5.1.3 Газовая защита  | 37 |
| 5.1.4 Защита РПН  | 38 |
| 5.1.5 Максимальная токовая защита трансформаторов   | 38 |
| 5.1.6 Защита от перегрузки на стороне 10кВ  | 40 |
| 5.1.7 Дополнительная МТЗ трансформатора Т-2 с действием на двигатель                                    | 41 |
| 5.1.8 Автоматический обдув трансформатора   | 41 |

|   |    |
|---|----|
| 5.1.9 Регулирование напряжение трансформатора под нагрузкой       | 41 |
| 6 Выбор фильтров высших гармоник для тиристорных преобразователей | 43 |
| 7 Охрана труда, ТБ и охрана окружающей среды                      | 49 |
| 7.1 Охрана окружающей среды на ЗМШ ОАО «Белшина»                  | 49 |
| 7.2 ТБ при эксплуатации цехового оборудования                     | 50 |
| Заключение  | 53 |
| Список используемых источников                                    | 55 |

## Введение

На предприятии ОАО «Белшина» сложилась непростая экономическая ситуация в конце 2009 – начало 2010 гг. из-за мирового экономического кризиса. Предприятие фактически стало заложником технических решений 70-х годов. Если в те годы оборудование и технология отвечали духу времени, то 40 лет спустя в результате развития науки, техники и технологий, оборудование на предприятии стало неэнергоэффективным. Это, в свою очередь, создает определенные проблемы для выполнения плановых заданий по экономии ТЭР. Неэнергоэффективными оказались как теплотехническое оборудование, так и электрооборудование.

ОАО «Белшина» может по праву занимать первое место по количеству применяемых регулируемых электроприводов, как на переменном, так и на постоянном токе, причем в широком диапазоне мощностей, от 0.5 кВт до 2 000 кВт. Их общее количество превышает 867 единиц. Это обусловлено как особенностями технологического процесса, так и стремление специалистов заводов минимизировать потребление электроэнергии. В то же время на заводах до сих пор используется в большом количестве двигатели постоянного тока с теристорным управлением и низким КПД. Много синхронных двигателей большой мощности с аналоговой системой возбуждения, которые не позволяют в полном объеме регулировать в заводской сети напряжение (124 единицы). Кроме того, на заводах не завершена установка экономичных светильников, имеет место превышение электрической мощности электродвигателей на различном технологическом оборудовании.

Анализ работы предприятия за три года показал, что под воздействием рынка сбыта выпуск продукции в условных шинах на ЗМШ от максимального и экономичного может уменьшиться в 2,5 раза. При этом удельный расход электроэнергии может увеличиться в 2,7 раза, а удельный расход тепловой энергии может увеличиться в 1,6 раза. На ЗКГШ выпуск

продукции может уменьшиться в 3,9 раза, а удельный расход электроэнергии может увеличиться в 2,7 раза, удельный расход тепловой энергии может увеличиться в 1,4 раза.

На ЗСКГШ выпуск продукции может уменьшиться в 7 раз, а удельный расход электроэнергии увеличится в 1,9 раза, а удельный расход тепловой энергии увеличится почти в 2 раза.

Если ввести понятие коэффициента полезного использования ТЭР, то на ЗМШ он будет минимальным, а на ЗКГШ будет максимальным по тепловой энергии. Разумеется, эта качественная оценка, а не количественная. При учете тенденции роста стоимости энергоносителей и конкуренции со стороны России, Японии, Китая, то целесообразно планировать и замену старых электродвигателей на более надежные и энергоэффективные РЭП.

В этой связи, хочется отметить, что в Китае существует запрет использовать устаревшие станки и оборудование. Следующее направление в модернизации предприятия – это создание компьютерной интеллектуальной системы технического учета ТЭР. Первый вариант системы технического учета, до выхода из строя, позволял минимизировать оплату за потребление ТЭР, но не позволял минимизировать потребление ТЭР.

Установка дополнительных счетчиков по электроэнергии, сжатою воздуху, пару, конденсату, по технической, перегретой и сетевой воде с учетом глубокой декомпозиции, применение пакета прикладных интеллектуальных программ позволит также минимизировать потребление ТЭР на 5-10%. Без оперативного контроля и анализа нельзя управлять энергоэффективностью на предприятии. К сожалению за последнее десятилетие академические институты не создали базовую интеллектуальную систему технического учета и управления потреблением ТЭР. Решение задач экономии ТЭР на предприятии без интеллектуальных компьютерных систем для контроля за расходованием энергоресурсов, без современного метрологического обеспечения занятие бесперспективное.

# **1 Характеристика производственной деятельности ОАО «Белшина»**

## **1.1 Анализ хозяйственной деятельности предприятия**

Общество включает в себя: завод крупногабаритных шин, завод массовых шин, завод сверхкрупногабаритных шин, механический завод, другие подразделения, необходимые для организации производства и сбыта продукции, а также объекты социальной сферы.

Завод крупногабаритных шин – производитель шин для автосамосвалов большой грузоподъемности, строительно-дорожных и подъемно-транспортных машин, тракторов, прицепов и сельскохозяйственной техники.

## **1.2 Характеристика и описание технологического процесса производства**

Проектируемый объект – это сборочный цех №2. В цехе установлено оборудование, на котором производится сборка покрышек, раскрой и стыковка полос металлокорда, разогрев резиновых смесей. В цехе установлены станки: сборочные станки: СПДУ-65И, СПП-3, АСПР, АСПРВ, СПП-1; сборочные линии ЛСПР; в/в Вальцы; ДРМ 180-01; Кalandры К-3-500-1250.

На сборочных станках производится сборка каркасов и покрышек.

Сборочный цех относится к пожароопасным помещениям категории П-2а. Температура воздуха 18-22 С.

Для поддержания нормальных условий работы в цехе установлены вентиляторы.

Основной технологический процесс производства шин можно разделить на три стадии:

1. Подготовка;
2. Сборка;
3. Вулканизация.

На подготовке производят резиновые смеси из каучука, серы, сажи и других компонентов. В дальнейшем из смеси изготавливают сырую резину из которой в последствии изготавливают, при помощи шприц машины детали, которые используют для изготовления покрышек, камер и других резинотехнических изделий. Также на основе капроновой нити и резиновой смеси изготавливается корд, он также используется при изготовлении покрышек.

В сборочном цеху производится непосредственная сборка покрышек из заранее приготовленных деталей.

Непосредственная сборка покрышек производится на сборочных станках в одну или две стадии, в зависимости от типа станка и собираемой покрышки.

Технологическая связь производства представлена на рисунке 1.1.

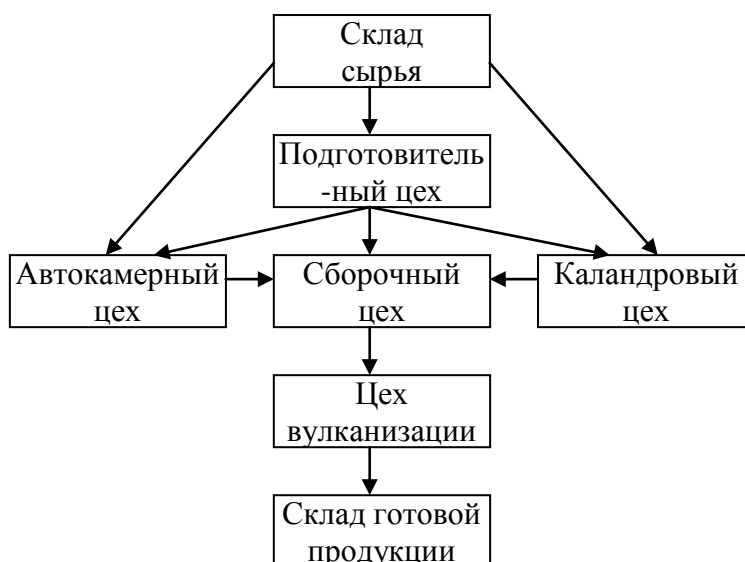


Рисунок 1.1 - Технологическая связь производства



### **1.3 Состав и характеристика основного и вспомогательного оборудования производства**

Электроприемники промышленных предприятий классифицируются:

1. По производственному назначению.

2. По режимам работы:

а) продолжительный режим работы – при этом электрические машины работают длительное время и температура отдельных частей машины не превышает значений, установленных стандартом;

б) кратковременный режим работы;

в) повторно-кратковременный режим.

3. По мощности и напряжению:

а) большой мощности - свыше 100 кВт, 6-10 кВ;

б) малой и средней мощности - ниже 100 кВт, 380-660 В.

4. По роду тока.

5. По степени надежности электроприемники делятся на 3 категории:

1ая категория - электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, повреждение оборудования, нарушение технологического процесса, а значит и материальный ущерб.

Из этой группы можно выделить электроприемники особой категории, перерыв электроснабжения угрожает взрывами, пожарами, жизни людей и т.п.;

2ая категория - электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к недовыпуску продукции, простоем оборудования и промышленного транспорта;

3ая категория - электроприемники не входящие ни в одну из предыдущих категорий (вспомогательные цеха, неответственные склады и т.д.).

На станках установлены двигатели главного привода, однако помимо них установлены и маломощные, вспомогательные, двигатели. Они служат для приводов охлаждения, гидроприводов, подачи смазки и т.д.

По мощности, напряжению и роду тока они относятся к потребителям большой и средней мощности, переменного тока промышленной частоты.

Т.к. сборочный цех является основным технологическим цехом, то по степени надежности относится ко второй категории, поэтому допускается перерыв электроснабжения только на время, необходимое для ручного включения резерва.

Для примера, на протекторном участке подготовительного цеха №2 ЗМШ была закуплена и установлена современная экструзионная линия по выпуску профилированных деталей фирмы «Тройстер».

Дата ввода в эксплуатацию: 09.06.2005 г.

Экструзионная линия по выпуску профилированных деталей фирмы «Тройстер» оснащена агрегатом из трех штифтовых экструдеров холодного питания и прослоечным каландром, позволяет шприцевать детали протекторов, состоящие из 4-х резиновых смесей, и дублировать подбркерные детали с боковинами.

Производительность до 6000 кг/час.

Обслуживающий персонал 5 чел.

Заменила линии ПЧМ-3, ИРУ-16Б с обслуживающим персоналом 13 чел.

Снижение трудозатрат на 47,8%, энергозатрат на 13%, отходов производства на 0,3%.



Рисунок 1.2 - Экструзионная линия фирмы «Тройстер»

Информация по остальным линиям, в том числе по закупаемым в 2007-2009 г.г., является коммерческой тайной ОАО «Белшина» и не подлежит разглашению.

Вывод: приведена характеристика производственной деятельности ЗМШ ОАО «Белшина».

## **2 Анализ системы электроснабжения ОАО «Белшина»**

### **2.1 Анализ системы внешнего электроснабжения**

Электроснабжение ОАО «Белшина» осуществляется по двум токопроводам на напряжении 6 кВ и двум воздушным линиям на напряжении 110 кВ.

Токопроводы получают питание от шин генераторного напряжения (6кВ) ТЭЦ-2. От токопроводов через реакторы запитаны следующие распределительные пункты: РП-1,2,3,4,5 и один центральный распределительный пункт (ЦРП):

От РП 1,2,5 запитан ЗМШ

От РП 3,4 запитан ЗКГШ

От ЦРП запитаны компрессорная №1, УВС-1, механический завод.

Воздушные линии (110 кВ) запитаны от подстанции «Мирадино» и питают главную понизительную подстанцию (ГПП) ОАО «Белшина» через понижающие трансформаторы (мощностью 25МВА с расщепленной обмоткой) на напряжении 110/6 кВ.

От ГПП получают питание на напряжении 6 кВ СКГШ, компрессорная №2, УВС-2, ремонтное производство механический завод (новый).

### **2.2 Анализ системы внутреннего электроснабжения**

На территории цеха расположена внутрицеховая двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция КТПЦ-11 и РУ – 6 кВ.

Расчет с энергоснабжающими организациями ведется по приборам коммерческого учета. Приборы коммерческого учета счетчики АЛЬФА с сумматором (СЭМ) установлены на ТЭЦ-2 и учитывают электроэнергию, потребленную по токопроводам и на ГПП, учитывают электроэнергию, потребленную по двум воздушным линиям.

Счетчики Альфа учитывают электроэнергию потребленную по зонам суток (с 8.00 до 12.00 - зона действия максимального тарифа (пик), коэффициент-3; с 12.00 до 23.00 и с 6.00 до 8.00 - зона действия среднего тарифа (полупик) коэффициент - 1; с 23.00 до 6.00 - зона действия минимального тарифа (провал) – коэффициент - 0,5. Сумматоры (СЭМ) выдают 3-х-минутные, 30-ти-минутные мощности, расход электроэнергии по зонам суток и за сутки в целом.

Приборы коммерческого учета пара находятся на ТЭЦ-2 (КСД). На протяжении более 3-х лет действует договоренность с ТЭЦ и расчет происходит по приборам ТЭЦ, если приборы работают в зоне чувствительности (по нашим приборам осуществляется контроль), если приборы работают в зоне нечувствительности (маленький расход), то расчет производится по данным наших приборов. Но практически расчет ведется по данным наших приборов.

Схемы внутрицехового электроснабжения радиальные, выполнены кабелями, проложенными в полу и на конструкциях. В качестве пусковой и защитной аппаратуры используются магнитные пускатели ПМЛ и автоматические выключатели типа ВА-51.

Вывод: произведен анализ существующей системы электроснабжения предприятия.

### 3 Реконструкция системы электроснабжения ЗМШ ОАО «Белшина»

Согласно полученных данных об оборудовании сборочного цеха №2 на рассматриваемом участке имеются электроприемники с указанными в таблице 3.1 величинами мощности. Каждую единицу оборудования заменяем эквивалентным двигателем, который выбираем по условию:

$$P_H \geq P_{уст}, \quad (3.1)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя;

$P_{уст}$  – установленная мощность единицы оборудования.

В дальнейшем будем использовать для расчетов показатели эквивалентных двигателей.

Приведем пример выбора электродвигателя для электроприемника №11 (графическая часть, план цеха, ПРМ).

ПРМ мощностью  $P_{уст} = 3,5$  кВт, по условию (3.1) выбираем двигатель 4А100S2У3 с  $P_{ном} = 4,0$  кВт, синхронная частота вращения 3000 об/мин.

Поскольку окружающая среда в сборочном цеху №2 нормальная, то нет необходимости применять двигатель с высокой степенью защиты. Принимаем степень защиты IP44 при выборе двигателей.

Определяем коэффициент загрузки двигателей:

$$I_{II} = \frac{P_{уст}}{P_H} = \frac{3,5}{4,0} = 0,875 \quad (3.2)$$

Исходя из этого, определяем по  $\eta=86,5\%$  и  $\cos\varphi=0,89$ . По определяем кратность пускового тока выбранного двигателя  $I_H/I_H = 6,5$ .

Результаты выбора силового исполнительного оборудования сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Выбор силового исполнительного оборудования

| Номер на плане                                   | Наименование технологического оборудования | Количество | Руст, кВт | Характеристики двигателя |               |      |      |       |      |
|--|--|------------|-----------|--------------------------|---------------|------|------|-------|------|
|  |  |            |           | Рном, кВт                | Тип двигателя | cosφ | η, % | Ип/Ин | Кз   |
| 1  | 2  | 3          | 4         | 5                        | 6             | 7    | 8    | 9     | 10   |
| 11,12  | ПРМ  | 2          | 3,5       | 4,0                      | 4А100S2У3     | 0,89 | 86,5 | 6,5   | 0,88 |
| 1,2,3,4,5, 18,53,55, 56                          | СПП  | 9          | 4,6       | 5,5                      | 4А100L2У3     | 0,88 | 88,0 | 7,5   | 0,84 |
| 19,20,29   | АСПР                                       | 3          | 32,0      | 37,0                     | 4А200М2У3     | 0,89 | 90,0 | 7,5   | 0,87 |
| 17,54  | АСПР                                       | 2          | 21,6      | 22,0                     | 4А180S2У3     | 0,91 | 88,5 | 7,5   | 0,98 |
| 21,52  | АСПРВ                                      | 2          | 15,0      | 15,0                     | 4А160S2У3     | 0,91 | 88,0 | 7,0   | 1,00 |
| 22   | А-70м                                      | 1          | 8,5       | 11,0                     | 4А132М2У3     | 0,87 | 88,0 | 7,5   | 0,77 |
| 23,24,25, 26,27,28, 35,36,37, 38,39              | СПР и 2М                                   | 11         | 7,0       | 7,5                      | 4А112М2У3     | 0,88 | 87,5 | 7,5   | 0,93 |
| 30   | TR-20                                      | 1          | 8,7       | 11,0                     | 4А132М2У3     | 0,87 | 88,0 | 7,5   | 0,79 |
| 31   | T-10                                       | 1          | 6,0       | 7,5                      | 4А112М2У3     | 0,83 | 87,5 | 7,5   | 0,80 |
| 32,33,34   | А-70                                       | 3          | 8,46      | 11,0                     | 4А132М2У3     | 0,87 | 88,0 | 7,5   | 0,77 |
| 40   | APC0                                       | 1          | 25,0      | 30,0                     | 4А180М2У3     | 0,88 | 90,5 | 7,5   | 0,83 |
| 44   | TROESTER                                   | 1          | 302,24    | 315,0                    | 4А355М2У3     | 0,91 | 93,0 | 7,0   | 0,96 |
| 57,58,59, 60,61,62, 63,64,65, 66,67,68, 69,70,71 | СПДУ 65 И                                  | 15         | 9,5       | 11,0                     | 4А132М2У3     | 0,87 | 88,0 | 7,5   | 0,86 |
| 72,73,74   | КАЛАНДР                                    | 3          | 95,3      | 110,0                    | 4А280S2У3     | 0,88 | 91,0 | 7,0   | 0,87 |
| 13,75,76, 77                                     | ДРМ  | 4          | 17,1      | 18,5                     | 4А160М2У3     | 0,92 | 88,5 | 7,0   | 0,92 |
| 14,15  | KRUPP                                      | 2          | 17,6      | 18,5                     | 4А160М2У3     | 0,92 | 88,5 | 7,0   | 0,95 |
| 42,43  | KALEMAR D                                  | 2          | 53,7      | 55                       | 4А225М2У3     | 0,92 | 91   | 7,5   | 0,98 |
| 6,7,8, 49,50                                     | Токарный станок                            | 5          | 4,3       | 5,5                      | 4А100L2У3     | 0,88 | 88   | 7,5   | 0,78 |
| 9,10,46, 47,48,51                                | Фрезерный станок                           | 6          | 5,5       | 5,5                      | 4А100L2У3     | 0,91 | 87,5 | 7,5   | 1,0  |
| 41,45  | Кран-балки                                 | 2          | 36        | 37                       | 4А200М2У3     | 0,89 | 90,0 | 7,5   | 0,97 |
| 83   | Транспортер                                | 1          | 2,0       | 2,2                      | 4А80B2У3      | 0,87 | 83   | 6,5   | 0,91 |
| 16   | Транспортер                                | 1          | 2,2       | 2,2                      | 4А80B2У3      | 0,87 | 83   | 6,5   | 1,0  |
| 84   | Транспортер                                | 1          | 5,3       | 5,5                      | 4А100L2У3     | 0,91 | 87,5 | 7,5   | 0,96 |
| 79,80,81, 82                                     | Вентилятор                                 | 4          | 17        | 18,5                     | 4А160М2У3     | 0,92 | 88,5 | 7,0   | 0,92 |
| 78   | В/в вальцы                                 | 1          | 415       | 450                      | СД2-85/57-10  | 0,9  | 94,1 | 5,9   | 0,92 |

Для электроприемника №78 выбираем синхронный явнополюсный двигатель общего назначения на напряжение 6000В типа СД2-85/57-10.

### 3.1 Выбор защитной и коммуникационной аппаратуры для оборудования сборочного цеха

Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1кВ являются защиты от перегрузки и токов КЗ. Защита от токов КЗ должна осуществляться для всех электрических сетей и электроприемников.

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители.

Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникших при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Для всех силовых электроприемников, не допускающих включение или работу при пониженном напряжении должна предусматриваться защита от понижения напряжения. Этот вид защиты обеспечивается магнитными пускателями, контакторами, расцепителями минимального напряжения автоматических выключателей.

Выбор защитной аппаратуры приведем на примере электроприемника №44 - TROESTER, ответственный электроприемник.

Номинальный ток электроприемника №44 определяется по формуле:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{315,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,93 \cdot 0,91} = 565,51 \text{ А}, \quad (3.3)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность электроприемника по таблице 3.1, кВт;

$U_H$  – номинальное напряжение электроприемника, кВ;

$\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности электроприемника по таблице 3.1;

$\eta_n$  – номинальный КПД электроприемника по таблице 3.1.

Пиковый ток электроприемника №44 определяем:



$$I_{II} = I_H \cdot \frac{I_{II}}{I_H} = 565,51 \cdot 7,0 = 3958,59 \text{ A}, \quad (3.4)$$

где  $I_{II}/I_H$  – кратность пускового тока по таблице 3.1.

Выбор магнитных пускателей осуществляем по следующему условию:

$$I_{н.пуск} \geq I_p \quad (3.5)$$

где  $I_{н.пуск}$  – номинальный ток пускателя, А.

В качестве  $I_p$  принимаем номинальный ток электроприемника.

Выбор автоматических выключателей осуществляем по следующим условиям:

$$I_{ном.а} \geq I_p ; \quad (3.6)$$

$$I_{ном.р} \geq I_p , \quad (3.7)$$

где  $I_{ном.а}$  и  $I_{ном.р}$  – номинальные токи автомата и его расцепителя, А.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя  $I_{ср.р}$  проверяется по условию:

$$I_{ср.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик} \quad (3.8)$$

При выборе электромагнитного расцепителя для одиночных электродвигателей в выражениях (3.6) - (3.8)  $I_p = I_{ном}$  и  $I_{пик} = I_{пуск}$ .

Для защиты проводников электрической сети автоматические выключатели встраиваются в распределительные щиты, шкафы, шинопроводы, коммутационно-защитные ящики.

Для электроприемника №44 выбираем автомат ВА51-39 с  $I_{ном.а} =$

$$630 \text{ A}, I_{ном.р} = 630 \text{ A}, I_{ср.р} = 6300 \text{ A}:$$

$630 \text{ A} \geq 565,51 \text{ A}$  – выбор по условию (3.6);

$630 \text{ A} \geq 565,51 \text{ A}$  – выбор по условию (3.7);

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 3958,59 = 4948,24 \text{ A};$$

$6300 \text{ A} \geq 4948,21 \text{ A}$  – выбор по условию (3.8).

Результаты выбора защитной аппаратуры электроприемников сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты выбора защитной аппаратуры для оборудования сборочного цеха №2

| Номер на плане   | Количество | Параметры ЭП         |                    |                       | Параметры пускателей |                    | 1,25×<br>I <sub>пуск</sub> ,<br>А | Параметры автомата |                        |                       |                          |
|--|------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
|  |            | P <sub>н</sub> , кВт | I <sub>н</sub> , А | I <sub>пуск</sub> , А | Тип                  | I <sub>н</sub> , А |                                   | Тип                | I <sub>н.авт</sub> , А | I <sub>н.р.</sub> , А | I <sub>н.эл.м.</sub> , А |
| 1  | 2          | 3                    | 4                  | 5                     | 11                   | 12                 | 13                                | 14                 | 15                     | 16                    | 17                       |
| 11,12  | 2          | 4,0                  | 7,89               | 51,31                 | ПМЛ-1600             | 10                 | 64,14                             | ВА51-25            | 25                     | 8                     | 80                       |
| 1,2,3,4,5,<br>18,53,55, 56                                   | 9          | 5,5                  | 10,79              | 80,93                 | ПМЛ-2600             | 25                 | 101,16                            | ВА51-25            | 25                     | 12,5                  | 125                      |
| 19,20,29   | 3          | 37,0                 | 70,18              | 526,36                | ПМЛ-5600             | 80                 | 657,96                            | ВА51-31            | 100                    | 80                    | 800                      |
| 17,54  | 2          | 22,0                 | 41,50              | 311,28                | ПМЛ-4600             | 63                 | 389,10                            | ВА51-31            | 100                    | 50                    | 500                      |
| 21,52  | 2          | 15,0                 | 28,46              | 199,21                | ПМЛ-3600             | 40                 | 249,02                            | ВА51-31            | 100                    | 31,5                  | 315                      |
| 22   | 1          | 11,0                 | 21,83              | 163,72                | ПМЛ-2600             | 25                 | 204,65                            | ВА51-25            | 25                     | 25                    | 250                      |
| 23,24,25,<br>26,27,28,<br>35,36,37,<br>38,39                 | 11         | 7,5                  | 14,80              | 110,99                | ПМЛ-2600             | 25                 | 138,74                            | ВА51-25            | 25                     | 16                    | 160                      |
| 30   | 1          | 11,0                 | 21,83              | 163,72                | ПМЛ-2600             | 25                 | 204,65                            | ВА51-25            | 25                     | 25                    | 250                      |
| 31   | 1          | 7,5                  | 15,69              | 117,68                | ПМЛ-2600             | 25                 | 147,10                            | ВА51-25            | 25                     | 16                    | 160                      |
| 32,33,34   | 3          | 11,0                 | 21,83              | 163,72                | ПМЛ-2600             | 25                 | 204,65                            | ВА51-25            | 25                     | 25                    | 250                      |
| 40   | 1          | 30,0                 | 57,23              | 429,25                | ПМЛ-4600             | 63                 | 536,56                            | ВА51-31            | 100                    | 63                    | 630                      |
| 44   | 1          | 315,0                | 565,51             | 3958,59               | ---                  | ---                | 4948,23                           | ВА51-39            | 630                    | 630                   | 6300                     |
| 57,58,59,<br>60,61,62,<br>63,64,65,<br>66,67,68,<br>69,70,71 | 15         | 11,0                 | 21,83              | 163,72                | ПМЛ-2600             | 25                 | 204,65                            | ВА51-25            | 25                     | 25                    | 250                      |
| 72,73,74   | 3          | 110,0                | 208,70             | 1460,91               | ---                  | ---                | 1826,13                           | ВА51-35            | 250                    | 250                   | 3000                     |
| 13,75,76, 77   | 4          | 18,5                 | 34,52              | 241,65                | ПМЛ-3600             | 40                 | 302,07                            | ВА51-31            | 100                    | 40                    | 400                      |
| 14,15  | 2          | 18,5                 | 34,52              | 241,65                | ПМЛ-3600             | 40                 | 302,07                            | ВА51-31            | 100                    | 40                    | 400                      |
| 42,43  | 2          | 55                   | 99,81              | 748,60                | ПМЛ-6600             | 125                | 935,75                            | ВА51-31            | 100                    | 100                   | 1000                     |

### Продолжение таблицы 3.2

|                   |   |      |       |        |          |    |        |         |     |      |      |
|-------------------|---|------|-------|--------|----------|----|--------|---------|-----|------|------|
| 1                 | 2 | 3    | 4     | 5      | 11       | 12 | 13     | 14      | 15  | 16   | 17   |
| 6,7,8, 49,50      | 5 | 5,5  | 10,79 | 80,93  | ПМЛ-2600 | 25 | 101,16 | ВА51-25 | 25  | 12,5 | 125  |
| 9,10,46, 47,48,51 | 6 | 5,5  | 10,49 | 78,71  | ПМЛ-2600 | 25 | 98,39  | ВА51-25 | 25  | 12,5 | 125  |
| 41,45             | 2 | 37   | 70,18 | 526,36 | ПМЛ-5600 | 80 | 657,96 | ВА51-31 | 100 | 80   | 800  |
| 83                | 1 | 2,2  | 4,63  | 30,09  | ПМЛ-1600 | 10 | 37,61  | ВА51-25 | 25  | 6,3  | 44,1 |
| 16                | 1 | 2,2  | 4,63  | 30,09  | ПМЛ-1600 | 10 | 37,61  | ВА51-25 | 25  | 6,3  | 44,1 |
| 84                | 1 | 5,5  | 10,49 | 78,71  | ПМЛ-2600 | 25 | 98,39  | ВА51-25 | 25  | 12,5 | 125  |
| 79,80, 81,82      | 4 | 18,5 | 34,52 | 241,65 | ПМЛ-3600 | 40 | 302,07 | ВА51-31 | 100 | 40   | 400  |

### 3.2 Расчет силовых нагрузок сборочного цеха

Определяем расчетные нагрузки групп электроприемников и цеха в целом методом упорядоченных диаграмм.

В таблицах 3.3 – 3.11 разбиты по группам электроприемники с указанием исходных данных для определения расчетных нагрузок.

Таблица 3.3 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 1 (ПР1)

| № ЭП по плану | Тип станка  | $R_{ном},$<br>кВт | $K_i$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | $I_{пуск}$ | $tg\varphi$ |
|---------------|-------------|-------------------|-------|---------------|-------|------------|-------------|
| 1             | СПП         | 5,5               | 0,2   | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 2             | СПП         | 5,5               | 0,2   | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 3             | СПП         | 5,5               | 0,2   | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 4             | СПП         | 5,5               | 0,2   | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 5             | СПП         | 5,5               | 0,2   | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 83            | Транспортер | 2,2               | 0,5   | 0,75          | 4,63  | 30,09      | 0,88        |

Таблица 3.4 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 2 (ПР2)

| № ЭП по плану | Тип станка      | $R_{ном},$<br>кВт | $K_i$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | $I_{пуск}$ | $tg\varphi$ |
|---------------|-----------------|-------------------|-------|---------------|-------|------------|-------------|
| 6             | Токарный станок | 5,5               | 0,16  | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 7             | Токарный станок | 5,5               | 0,16  | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |
| 8             | Токарный станок | 5,5               | 0,16  | 0,6           | 10,79 | 80,93      | 1,33        |

Продолжение таблицы 3.3

| № ЭП по плану | Тип станка       | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|------------------|-------------------|------|---------------|-------|--------|-------------|
| 9             | Фрезерный станок | 5,5               | 0,16 | 0,6           | 10,49 | 78,71  | 1,33        |
| 10            | Фрезерный станок | 5,5               | 0,16 | 0,6           | 10,49 | 78,71  | 1,33        |
| 11            | ПРМ              | 4,0               | 0,2  | 0,6           | 7,89  | 51,31  | 1,33        |
| 12            | ПРМ              | 4,0               | 0,2  | 0,6           | 7,89  | 51,31  | 1,33        |
| 13            | ДРМ              | 18,5              | 0,17 | 0,65          | 34,52 | 241,65 | 1,17        |

Таблица 3.5 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 3 (ПР3)

| № ЭП по плану | Тип станка | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|------------|-------------------|------|---------------|-------|--------|-------------|
| 52            | АСПРВ      | 15,0              | 0,2  | 0,6           | 28,46 | 199,21 | 1,33        |
| 53            | СПП        | 5,5               | 0,2  | 0,6           | 10,79 | 80,93  | 1,33        |
| 54            | АСПР       | 37,0              | 0,2  | 0,6           | 41,5  | 311,28 | 1,33        |
| 55            | СПП        | 5,5               | 0,2  | 0,6           | 10,79 | 80,93  | 1,33        |
| 56            | СПП        | 5,5               | 0,2  | 0,6           | 10,79 | 80,93  | 1,33        |
| 82            | Вентилятор | 18,5              | 0,7  | 0,85          | 34,52 | 241,65 | 0,62        |

Таблица 3.6 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 4 (ПР4)

| № ЭП по плану | Тип станка | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск       | $tg\varphi$ |
|---------------|------------|-------------------|------|---------------|-------|-------------|-------------|
| 72            | КАЛАНДР    | 110               | 0,17 | 0,65          | 208,7 | 1460,9<br>1 | 1,17        |
| 73            | КАЛАНДР    | 110               | 0,17 | 0,65          | 208,7 | 1460,9<br>1 | 1,17        |
| 74            | КАЛАНДР    | 110               | 0,17 | 0,65          | 208,7 | 1460,9<br>1 | 1,17        |
| 75            | ДРМ        | 18,5              | 0,17 | 0,65          | 34,52 | 241,65      | 1,17        |
| 76            | ДРМ        | 18,5              | 0,17 | 0,65          | 34,52 | 241,65      | 1,17        |
| 77            | ДРМ        | 18,5              | 0,17 | 0,65          | 34,52 | 241,65      | 1,17        |

Таблица 3.7 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 5 (ШР1)

| № ЭП по плану | Тип станка | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|------------|-------------------|------|---------------|-------|--------|-------------|
| 14            | KRUPP      | 18,5              | 0,2  | 0,6           | 34,52 | 241,65 | 1,33        |
| 15            | KRUPP      | 18,5              | 0,2  | 0,6           | 34,52 | 241,65 | 1,33        |

Продолжение таблицы 3.7

| № ЭП по плану | Тип станка  | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|-------------|-------------------|------|---------------|-------|--------|-------------|
| 16            | Транспортер | 2,2               | 0,5  | 0,75          | 4,63  | 30,09  | 0,88        |
| 17            | АСПР        | 22,0              | 0,2  | 0,6           | 41,5  | 311,28 | 1,33        |
| 18            | СПП         | 5,5               | 0,2  | 0,6           | 10,79 | 80,93  | 1,33        |
| 19            | АСПР        | 37,0              | 0,2  | 0,6           | 70,18 | 526,36 | 1,33        |
| 20            | АСПР        | 37,0              | 0,2  | 0,6           | 70,18 | 526,36 | 1,33        |
| 21            | АСПРВ       | 15,0              | 0,2  | 0,6           | 28,46 | 199,21 | 1,33        |
| 22            | А-70м       | 11,0              | 0,2  | 0,6           | 21,83 | 163,72 | 1,33        |
| 79            | Вентилятор  | 18,5              | 0,7  | 0,85          | 34,52 | 241,65 | 0,62        |

Таблица 3.8 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 6 (ШР2)

| № ЭП по плану | Тип станка | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|------------|-------------------|------|---------------|-------|--------|-------------|
| 23            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 24            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 25            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 26            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 27            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 28            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 29            | АСПР       | 37,0              | 0,2  | 0,6           | 70,18 | 526,36 | 1,33        |
| 30            | TR-20      | 11,0              | 0,2  | 0,6           | 21,83 | 163,72 | 1,33        |
| 31            | T-10       | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 15,69 | 117,68 | 1,33        |
| 32            | А-70       | 11,0              | 0,2  | 0,6           | 21,83 | 163,72 | 1,33        |
| 33            | А-70       | 11,0              | 0,2  | 0,6           | 21,83 | 163,72 | 1,33        |
| 34            | А-70       | 11,0              | 0,2  | 0,6           | 21,83 | 163,72 | 1,33        |

Таблица 3.9 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 7 (ШР3)

| № ЭП по плану | Тип станка | $R_{ном},$<br>кВт | $Kи$ | $\cos\varphi$ | $I_n$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|------------|-------------------|------|---------------|-------|--------|-------------|
| 35            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 36            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 37            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 38            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 39            | СПР и 2М   | 7,5               | 0,2  | 0,6           | 14,8  | 110,99 | 1,33        |
| 40            | АРС0       | 30                | 0,2  | 0,6           | 57,23 | 429,25 | 1,33        |
| 41            | Кран-балка | 37                | 0,2  | 0,5           | 70,18 | 526,36 | 1,73        |
| 80            | Вентилятор | 18,5              | 0,7  | 0,85          | 34,52 | 241,65 | 0,62        |

Таблица 3.10 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 8 (ШР4)

| № ЭП по плану | Тип станка       | $R_{ном},$<br>кВт | $K_{и}$ | $\cos\varphi$ | $I_{н}$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|------------------|-------------------|---------|---------------|---------|--------|-------------|
| 1             | 2                | 3                 | 4       | 5             | 6       | 7      | 8           |
| 42            | КАЛЕМАРД         | 55                | 0,17    | 0,65          | 99,81   | 748,6  | 1,17        |
| 43            | КАЛЕМАРД         | 55                | 0,17    | 0,65          | 99,81   | 748,6  | 1,17        |
| 45            | Кран-балка       | 37                | 0,2     | 0,5           | 70,18   | 526,36 | 1,73        |
| 46            | Фрезерный станок | 5,5               | 0,16    | 0,6           | 10,49   | 78,71  | 1,33        |
| 47            | Фрезерный станок | 5,5               | 0,16    | 0,6           | 10,49   | 78,71  | 1,33        |
| 48            | Фрезерный станок | 5,5               | 0,16    | 0,6           | 10,49   | 78,71  | 1,33        |
| 49            | Токарный станок  | 5,5               | 0,16    | 0,6           | 10,79   | 80,93  | 1,33        |
| 50            | Токарный станок  | 5,5               | 0,16    | 0,6           | 10,79   | 80,93  | 1,33        |
| 51            | Фрезерный станок | 5,5               | 0,16    | 0,6           | 10,49   | 78,71  | 1,33        |

Таблица 3.11 – Исходные данные для определения расчетных нагрузок группы 9 (ШР5)

| № ЭП по плану | Тип станка  | $R_{ном},$<br>кВт | $K_{и}$ | $\cos\varphi$ | $I_{н}$ | Ипуск  | $tg\varphi$ |
|---------------|-------------|-------------------|---------|---------------|---------|--------|-------------|
| 57            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 58            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 59            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 60            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 61            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 62            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 63            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 64            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 65            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 66            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 67            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 68            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 69            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 70            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 71            | СПДУ 65 И   | 11,0              | 0,2     | 0,6           | 21,83   | 163,72 | 1,33        |
| 81            | Вентилятор  | 18,5              | 0,7     | 0,85          | 34,52   | 241,65 | 0,62        |
| 84            | Транспортер | 5,5               | 0,5     | 0,75          | 10,49   | 78,71  | 0,88        |

Электроприемник №44 TROESTER запитывается отдельно, непосредственно от КТП-11, РУ-0,4кВ.

Таблица 3.12 - Результаты расчета силовой нагрузки групп и цеха в целом

| № группы            | Кол-во<br>ЭП в<br>группе | Руст,<br>кВт | №э    | Ки   | Кр   | Рр,кВ<br>т | Кр' | tgφ<br>ср.вз<br>в | Qр,<br>квар | Sp,кВ<br>А | Ip,А   | Ипик,<br>А |
|---------------------|--------------------------|--------------|-------|------|------|------------|-----|-------------------|-------------|------------|--------|------------|
| 1                   | 2                        | 3            | 4     | 5    | 6    | 7          | 8   | 9                 | 10          | 11         | 12     | 13         |
| 1 (ПР1)             | 6                        | 29,70        | 5,65  | 0,22 | 1,58 | 10,41      | 1,1 | ---               | 9,13        | 13,85      | 21,04  | 99,81      |
| 2 (ПР2)             | 8                        | 54,00        | 5,55  | 0,17 | 1,88 | 18,50      | 1,1 | ---               | 12,84       | 22,52      | 34,22  | 270,00     |
| 3 (ПР3)             | 6                        | 87,00        | 3,73  | 0,31 | 1,53 | 40,69      | 1,1 | ---               | 28,92       | 49,92      | 75,84  | 378,82     |
| 4 (ПР4)             | 6                        | 385,50       | 3,98  | 0,17 | 2,18 | 143,07     | 1,1 | ---               | 84,28       | 166,04     | 252,27 | 1677,70    |
| 5 (ШР1)             | 10                       | 185,20       | 7,41  | 0,25 | 1,35 | 63,57      | 1,1 | ---               | 58,15       | 86,15      | 130,89 | 643,22     |
| 6 (ШР2)             | 12                       | 133,50       | 7,93  | 0,20 | 1,48 | 39,62      | 1   | ---               | 35,60       | 53,27      | 80,93  | 593,25     |
| 7 (ШР3)             | 8                        | 123,00       | 5,23  | 0,28 | 1,42 | 48,20      | 1,1 | ---               | 42,73       | 64,41      | 97,86  | 610,18     |
| 8 (ШР4)             | 9                        | 180,00       | 4,26  | 0,17 | 2,08 | 65,16      | 1,1 | ---               | 45,89       | 79,70      | 121,09 | 852,72     |
| 9 (ШР5)             | 17                       | 189,00       | 16,33 | 0,26 | 1,10 | 53,68      | 1   | ---               | 54,45       | 76,46      | 116,17 | 333,66     |
| По цеху,<br>силовая | 83                       | 1681,90      | 17,81 | 0,21 | 0,81 | 315,00     | 1   | 1,27              | 399         | 508,35     | 772,34 | 4617,82    |

Поскольку полная нагрузка цеха составляет 1272,2кВА, то в рассматриваемом цеху целесообразно устанавливать КТПЦ.

### 3.3 Выбор схемы и расчет внутрицеховой электрической сети

Т.к. сборочный цех является основным технологическим цехом, то по степени надежности относится ко второй категории. Проектируемый цех относится к помещениям с нормальной средой.

Исходя из выше сказанного, применяем радиальную схему электроснабжения. Группы электроприемников питаются от распределительных пунктов типа ПР-N02 и от распределительных шинопроводов типа ШРА4. ПР-N02 предназначены для ввода и распределения электрической энергии, защиты электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях.

Питание силовых пунктов и распределительных шинопроводов осуществляется проложенными в лотках по колоннам строительных конструкций кабелями марки АВВГ от КТП по радиальной схеме.

От пунктов распределения все приемники запитываются по радиальной схеме.

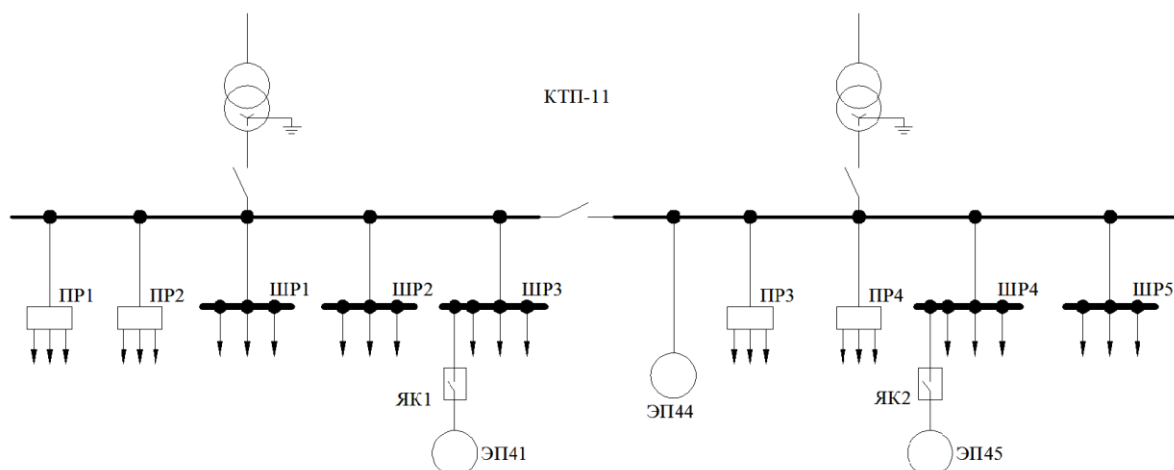


Рисунок 3.1 - Схема питания цеховой силовой сети

Выбор проводов и кабелей силовой сети сборочного цеха №2 производим по условиям (3.23) и (3.24) и с учетом допущений при выборе проводов и кабелей.

Способ прокладки – в лотках по колоннам и в кабельных каналах. Результаты выбора представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Выбор кабелей силовой сети, питающих группы ЭП и мощные ЭП

| Участок сети | $I_p$ , А | $I_{расц}$ , А | $K_3$ | Марка и сечение    | $I_{доп}$ , А | Способ прокладки   |
|--------------|-----------|----------------|-------|--------------------|---------------|--------------------|
| КТПЦ-ПР1     | 21,039    | 25             | 1     | АВВГ 5×4           | 27            | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ПР2     | 34,217    | 63             | 1     | АВВГ 5×16          | 60            | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ПР3     | 75,841    | 80             | 1     | АВВГ 3×35+2×25     | 90            | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ПР4     | 252,272   | 400            | 1     | 2×АВВГ(3×120+2×70) | 2×200         | В кабельном канале |
| КТПЦ-ШП1     | 130,893   | 160            | 1     | АВВГ 3×70+2×35     | 140           | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ШП2     | 80,929    | 125            | 1     | АВВГ 3×50+2×25     | 110           | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ШП3     | 97,860    | 125            | 1     | АВВГ 3×50+2×25     | 110           | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ШП4     | 121,086   | 160            | 1     | АВВГ 3×70+2×35     | 140           | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ШП5     | 116,171   | 125            | 1     | АВВГ 3×70+2×35     | 140           | В лотках по стенам |
| КТПЦ-ЭП44    | 565,51    | 630            | 1     | 2×СБ(3×150+2×95)   | 300           | В кабельном канале |
| КТПЦ-ЭП72    | 208,70    | 250            | 1     | АВВГ 3×150+2×95    | 235           | В кабельном канале |
| КТПЦ-ЭП73    | 208,70    | 250            | 1     | АВВГ 3×150+2×95    | 235           | В кабельном канале |
| КТПЦ-ЭП74    | 208,70    | 250            | 1     | АВВГ 3×150+2×95    | 235           | В кабельном канале |

Автоматические выключатели, защищающие участки сети КТПЦ-ПР2, КТПЦ-ПР4, КТПЦ-ШП2 имеют завышенное значение тока расцепителя вследствие обеспечения селективности действия аппаратов защиты.



Это не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх принятого по расчетному току. Если условие не выполняется, то в сети до 1кВ следует рассчитать ток однофазного КЗ  $I_k^{(1)}$  и определить его кратность по отношению к  $I_{расц}$ , должна составлять 3.

При расчете однофазного тока КЗ руководствуемся.

Расчетное сопротивление трансформатора:  $Z_T/3 = 0,273 \text{ Ом}$ .

Кабель АВВГ 5×16 (КТПЦ-ПР2) длиной 260 м имеет удельное сопротивление фазной жилы 2,3 Ом/км Удельное сопротивление нулевой жилы 2,3 Ом/км

Сопротивление в расчете на 260 м:

$r_{\phi} = 2,3 \cdot 0,26 = 0,6 \text{ Ом}$ ,  $r_n = 2,3 \cdot 0,26 = 0,6 \text{ Ом}$ .

Переходное сопротивление контактов  $r_{п} = 0,02 \text{ Ом}$ .

Индуктивное сопротивление кабелей не учитываем.

### **3.4 Выбор трансформаторов и комплектующих устройств**

Как правило, в системах электроснабжения применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции.

Выбор мощности трансформаторов производим по  $S_{p\Sigma}$  цеха или группы цехов и рекомендуемого коэффициента загрузки с учетом компенсации реактивной мощности.

В системах электроснабжения промышленных предприятий распространены следующие единичные мощности трансформаторов: 630, 1000, 1600 кВА. Целесообразно применять однотипные трансформаторы одинаковой мощности, так как их разнообразие создает неудобства в обслуживании и вызывает дополнительные затраты на ремонт.

Шкафы имеют каркасную конструкцию. В шкафах отходящих линий, вводов и секционном предусмотрены блокировки, обеспечивающие надежную работу оборудования и безопасность обслуживающего персонала.

Рекомендуемые коэффициенты загрузки трансформаторов цеховых ТП:

- 0,65...0,7 – двухтрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой I категории;

- 0,7...0,8 – однотрансформаторные ТП с преобладающей нагрузкой II категории при наличии взаимного резервирования по переключкам с другими подстанциями на вторичном напряжении;

- 0,9...0,95 – ТП с нагрузкой III категории или с преобладающей нагрузкой II категории при возможности использования складского резерва трансформаторов.

$S_{p\Sigma}$  цеха составляет 1272,2 кВА,  $P_{p\Sigma}$  составляет 1208 кВт, цех относится ко II категории надежности электроснабжения. Предполагается компенсация реактивной мощности, поэтому КТПЦ выбираем по  $P_{p\Sigma}$  :

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{p\Sigma}}{1,4} = \frac{1208}{1,4} = 862,9 \text{ кВА} \quad (3.9)$$

Определяем коэффициент загрузки выбранных трансформаторов ТМЗ-1000/6 в нормальном режиме:

$$\beta_{\text{тр,норм}} = \frac{P_{p\Sigma}}{2 \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{1208}{2 \cdot 1000} = 0,604, \quad (3.10)$$

в послеаварийном режиме:

$$\beta_{\text{тр,авар}} = \frac{P_{p\Sigma}}{S_{\text{тр}}} = \frac{1208}{1000} = 1,208. \quad (3.11)$$

Коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах соответствуют норме.

При выборе компенсирующих устройств принимаем коэффициент загрузки трансформаторов  $\beta_T$  равным 0,7.

Наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через масляный трансформатор в сеть до 1кВ при принятом коэффициенте загрузки трансформаторов определяется по следующему выражению:

$$\begin{aligned} Q_T &= \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot \beta_T \cdot N_{T \min})^2 - P_{P.H}^2} = \\ &= \sqrt{(1,1 \cdot 1000 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 1208^2} = 955,2 \text{ квар}, \end{aligned} \quad (3.12)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий систематическую допустимую перегрузку трансформаторов в течении 1 смены;

$\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

$S_T$  – принятая номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$N_{T \min}$  – минимальное число цеховых трансформаторов.

Суммарная мощность БНК определяется:

$$Q_{\text{НК}} = Q_{\text{РС}} - Q_T = 399 - 955,2 = -556,2 \text{ квар}, \quad (3.13)$$

где  $Q_{\text{РС}}$  – расчетная реактивная нагрузка до 1кВ цеха, из таблицы 3.12.

Вывод: поскольку  $Q_{\text{НК}} < 0$ , то компенсация реактивной мощности не нужна.

## 4 Реконструкция системы освещения ОАО «Белшина»

### 4.1 Светотехническая часть расчета электрического освещения

Произведём выбор нормированной освещённости и коэффициентов запаса для всех имеющихся помещений, а результаты выбора сведём в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты выбора нормированной освещенности и коэффициента запаса

| Наименование участка | Нормированная освещенность, лк | Коэффициент запаса (Кз) |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1                    | 2                              | 3                       |
| Сборочный цех №2     | 200                            | 1,5                     |
| КМ                   | 200                            | 1,5                     |
| КМП                  | 200                            | 1,5                     |
| ГСМ                  | 75                             | 1,5                     |
| ЦКР                  | 75                             | 1,5                     |
| ТПС                  | 75                             | 1,5                     |
| Комната приема пищи  | 200                            | 1,5                     |

В проектируемом сборочном цеху принимаем:

- в санузлах и трансформаторных подстанциях светильники типа НПП 02 1x100 с кривой силы света (П);

- во всех остальных помещениях цеха светильники типа ЛПО 01 2x40 с кривой силы света (Д).

Значение высоты свеса, расчётную высоту, расстояния между светильниками, расстояния от стен, а также количество светильников для каждого помещения приведём ниже в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Расположение светильников

| Наименование участка | Размеры помещения, м | Расчётная высота (Нр, м) | Расстояние между светильниками |       | Расстояние от стен |       | Количество светильников |
|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|-------|--------------------|-------|-------------------------|
|                      |                      |                          | La, м                          | Lb, м | la, м              | lb, м |                         |
| 1                    | 2                    | 3                        | 4                              | 5     | 6                  | 7     | 8                       |
| Сборочный цех №2     | 203x100+<br>88x172   | 6,2                      | 4                              | 1,75  | 0,75               | 2     | 650                     |
| КМ                   | 7x6                  | 3,2                      | 4                              | 2,25  | 0,75               | 2     | 4                       |
| КМП                  | 13x10                | 3,2                      | 4                              | 1,5   | 1,5                | 2     | 6                       |
| ГСМ                  | 10x6                 | 3,2                      | 4                              | 2,25  | 0,75               | 2     | 10                      |
| ЦКР                  | 24x12                | 3,2                      | 4                              | 2,25  | 0,75               | 2     | 20                      |
| ТПС                  | 20x7                 | 3,2                      | 4                              | 2,25  | 0,75               | 2     | 14                      |
| Комната приема пищи  | 48x7                 | 3,2                      | 4                              | 2,25  | 0,75               | 2     | 20                      |

Приведём пример расчёта для сборочного цеха (для всех остальных помещений расчёты аналогичны):

$A = 6$  м;  $B = 12$  м;  $H_p = 3,2$  м;  $\mu = 1,1$ ;  $E_{\min} = 200$  лк;  $K_3 = 1,5$ ;

$q_{\text{п}} = 50$  % - коэффициент отражения потолка;

$q_{\text{с}} = 30$  % - коэффициент отражения стен;

$q_{\text{р}} = 10$  % - коэффициент отражения рабочей поверхности.

Тогда индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 12}{3,2 \cdot (6 + 12)} = 1,25 \quad (4.1)$$

В данном помещении светильники типа ЛПО 01 2x40, тогда по [8], выбираем значение коэффициента использования светового потока –  $U = 0,57$ .

Количество светильников равно:  $N = 650$ ;

Требуемый световой поток равен:

$$\Phi_{тр} = \frac{E_{MIN} \cdot K_3 \cdot S \cdot \mu}{n \cdot U} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 35436 \cdot 1,1}{650 \cdot 0,57} = 4632 \text{ лм};$$

Выбираем лампы типа ЛТБ 40-4, [8] табл. 2.15, стр. 28;

Световой поток лампы равен:  $\Phi_{л} = 2 \times 2450 \text{ лм}$ ,

Тогда отношение требуемого светового потока к световому потоку лампы равно:

$$\frac{\Phi_{тр}}{\Phi_{л}} = \frac{4632}{4900} = 0,945$$

Удельная мощность:

$$P_{уд} = \frac{N \cdot P_{л}}{S} = \frac{650 \cdot 80}{35436} = 1,5 \text{ Вт/м}^2$$

Определяем погрешность светового потока:

$$\Delta = \frac{\Phi_{л} - \Phi_{тр}}{\Phi_{тр}} \cdot 100 = \frac{4900 - 4632}{4632} \cdot 100 = 5,795\% ;$$

условие  $-10\% < \Delta = 5,795\% < +20\%$  выполняется.

При расчёт на плане помещения с расположением светильников намечают одну (две) характерные точки с предполагаемой минимальной освещённостью. Для этой характерной точки определяют расстояние ( $d_i$ ).

Затем по таблице условных освещённостей определяют изолюксы:  
 $E_i = K(d_i, H_p)$ .

А затем по выражению:

$$\Phi_p = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_z}{\mu \cdot \sum E_i} \quad (4.2)$$

определяют световой поток источника света, принимая  $\mu = 1,1 \dots 1,2$ .

Внутри цеха принимаем осветительную сеть переменного тока с заземлённой нейтралью напряжением 380/220 В.

## 4.2 Электрическая часть расчёта сети освещения

Расчет сечения осветительной сети выполняем по минимуму проводникового материала. При расчете разветвленной осветительной сети на минимум проводникового материала сечение каждого участка определяется:

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha m}{c \cdot \Delta U_{\text{д}}}, \quad (4.3)$$

где  $\sum M$  - сумма моментов рассчитываемого и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов линии, что и на рассчитываемом участке, кВт·м;

$S$  - сечение рассчитываемого участка, мм<sup>2</sup>;

$\sum \alpha m$  - сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов, кВт·м;

$\alpha$  - коэффициент приведения моментов, определяемых по [8];

$c$  - коэффициент, зависящий от системы сети, напряжения сети и материала проводов  $c = 44$  [8];

$\Delta U_{\text{д}}$  - величина предполагаемой потери напряжения, в процентах номинального напряжения.

$$M = P \cdot L, \quad (4.4)$$

где:  $P$  - расчетная нагрузка, кВт;

$L$  -длина участка, м.

Допустимое значение потерь напряжения в осветительной сети ( $\Delta U_{\text{доп}}$ ) рассчитывается по формуле :

$$\Delta U_{\text{доп}} = U_{\text{MAX}} - U_{\text{MIN}} - \Delta U_{\text{ТР}} , \quad (4.5)$$

где:  $U_{\text{MAX}}$  - максимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, % (105%);

$U_{\text{MIN}}$  - минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, % (95%);

$\Delta U_{\text{ТР}}$  - потери напряжения в трансформаторе, %.

Потери напряжения в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{ТР}} = k_3 \cdot (u_a \cdot \cos \varphi + u_p \cdot \sin \varphi), \quad (4.6)$$

где:  $k_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;

$u_a, u_p$  - активная и реактивная составляющие напряжения к.з.  $U_k$ ;

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

$$u_a = \frac{\Delta P_K \cdot 100}{S_T}, \quad (4.7)$$

$$u_p = \sqrt{u_k^2 - u_a^2}, \quad (4.8)$$

где  $\Delta P_K$  - потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

$S_T$  - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Потеря напряжения в трансформаторе на ТП-4 равна:

$$\Delta U_{\text{ТР}} = 0,63 \cdot (1,1 \cdot 0,93 + 5,39 \cdot 0,37) = 1,9\%,$$



где:  $K_3 = 0,63$  - существующая загрузка трансформаторов на ТП-4;  
 $\cos \varphi = 0,93$  - существующий косинус по предприятию;

$$U_A = \frac{\Delta P_K}{S_H} \cdot 100 = \frac{11}{1000} \cdot 100 = 1,1\%;$$

$$U_P = \sqrt{U_K^2 - U_A^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,1^2} = 5,39\%.$$

Допустимая потеря напряжения в осветительной сети до наиболее удаленного светильника равна не более:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 105 - 95 - 1,9 = 8,1\%;$$

Определяем моменты М1-16, М17-32, М33-44:

$$1) P_{P1} = N \cdot P_1 \cdot K_{\text{ППА}} = 17 \cdot 80 \cdot 1,3 = 0,94 \text{ кВт};$$

$$L_{P1} = 133 \text{ м};$$

$$M_1 = 0,94 \cdot 133 = 28,1 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$2) P_{P2} = N \cdot P_2 \cdot K_{\text{ППА}} = 18 \cdot 80 \cdot 1,3 = 0,94 \text{ кВт};$$

$$L_{P2} = 141 \text{ м};$$

$$M_2 = 0,94 \cdot 141 = 22,5 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$3) P_{P3} = N \cdot P_3 \cdot K_{\text{ППА}} = 10 \cdot 80 \cdot 1,3 = 2,18 \text{ кВт};$$

$$L_{P3} = 77 \text{ м};$$

$$M_3 = 2,18 \cdot 77 = 26,2 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

Для щитка ГЩ1 необходимо определить приведенный момент ( $M_{\text{ПП1}}$ ) по формуле:

$$M_{\text{ПП1}} = M_L + \alpha_I \cdot \sum_I^N M_I, \quad (4.9)$$

где:  $\alpha_I = 1$ , т.к. сеть четырехпроводная.

$$M_{\text{ПР1}} = 7,8 \cdot 150 + 1 \cdot (28,1 + 22,5 + 26,2 + 22,4 + 44,88) = 1314,08 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

Сечение кабеля, питающего щиток ГЩ1 по формуле равно:

$$S_{\text{ПР1}} = \frac{M_{\text{ПР1}}}{C \cdot \Delta U_{\text{ДОП}}} = \frac{1314,08}{44 \cdot 8,1} = 3,7 \text{ мм}^2;$$

Принимаем стандартное сечение питающего кабеля от МЩ1 до ГЩ1  $10 \text{ мм}^2$ .

Определяем потерю напряжения в кабеле от трансформатора ТП-4 до МЩ1 по формуле:

$$\Delta U_{\text{ПР1}} = \frac{M_{\text{ПР1}}}{C \cdot S_{\text{СТАНД}}} = \frac{1314,08}{44 \cdot 10} = 2,98\% ,$$

тогда допустимая потеря в ГЩ1 составляет:

$$\Delta U_{\text{ГЩ1}} = \Delta U_{\text{ДОП}} - \Delta U_{\text{ПР1}} = 8,1 - 2,98 = 5,12\% ;$$

Определяем расчётные сечения групповых линий.

$$S_1 = \frac{M_1}{C \cdot \Delta U_{\text{ГЩ1}}} = \frac{28,1}{44 \cdot 5,12} = 0,13 \text{ мм}^2;$$

$$S_2 = \frac{M_2}{C \cdot \Delta U_{\text{ГЩ1}}} = \frac{22,5}{44 \cdot 5,12} = 0,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_3 = \frac{M_3}{C \cdot \Delta U_{\text{ГЩ1}}} = \frac{26,2}{44 \cdot 5,12} = 0,12 \text{ мм}^2;$$

$$S_4 = \frac{M_4}{C \cdot \Delta U_{ГЩ1}} = \frac{22,4}{44 \cdot 5,12} = 0,1 \text{ мм}^2;$$

принимая сечения от ГЩ1 до ламп, равное  $2,5 \text{ мм}^2$ .

$$\Delta U_{L1} = \frac{28,1}{44 \cdot 2,5} = 0,26 \text{ \%};$$

$$\Delta U_{L2} = \frac{22,5}{44 \cdot 2,5} = 0,2 \text{ \%};$$

$$\Delta U_{L3} = \frac{26,2}{44 \cdot 2,5} = 0,24 \text{ \%};$$

$$\Delta U_{L4} = \frac{22,4}{44 \cdot 2,5} = 0,2 \text{ \%};$$

Определяем потерю напряжения до самой удалённой лампы, т.е. в конце линии L5 и эта потеря должна быть менее 10%:

$$\Delta U_{\text{кон}} = \Delta U_{\text{ТП}} + \Delta U_L + \Delta U_{L1} = 1,9 + 2,98 + 0,41 = 5,29\% < 10\%,$$

условие выполняется.

Определяем токи в линиях.

$$I_{L1} = I_{L2} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi} = \frac{0,94}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 1,5 \text{ А};$$

$$I_{L3} = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi} = \frac{2,18}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 3,5 \text{ А};$$

$$I_{L4} = I_{L5} = \frac{P_4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi} = \frac{1,87}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 3 \text{ А}.$$

$$I_L = \frac{P_{ГЩ1}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{7,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 12,5 \text{ А};$$

Выбираем аппараты защиты в ГЩ1:

$$I_{РАСЧ} \geq I_{L1} \cdot K_3 = I_{L2} \cdot K_3 = 1,5 \cdot 1,4 = 2,1 \text{ А},$$

где:  $K_3 = 1,4$ , ставим автоматический выключатель с номинальным током равным 2,5 А.

Проверяем провод L1 по допустимому току перегрузки.

$$I_{ДОП\_ПРОВ} \geq K_{II} \cdot I_{НОМ\_РАСЦ} = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ А},$$

где:  $K_{II} = 1,25$

$I_{ДОП\_ПРОВ} = 19 \text{ А}$ , – условие выполняется.

Выбираем аппараты защиты в МЩ1 для защиты линии МЩ1 – ГЩ1:

$$I_{РАСЧ} \geq I_L \cdot K_3 = 12,5 \cdot 1,4 = 17,5 \text{ А},$$

Ставим автоматический выключатель с номинальным током 20 А.

Проверяем провод L по допустимому току перегрузки.

$$I_{ДОП\_ПРОВ} \geq K_{II} \cdot I_{НОМ\_РАСЦ} = 1,25 \cdot 20 = 25 \text{ А},$$

где:  $I_{ДОП\_ПРОВ} = 42 \text{ А}$ , – условие выполняется.

Вывод: вышеизложенные расчеты аналогичны при расчете всех групповых линий, поэтому приводить их не будем, а результаты представим в виде схемы сети, представленной в графической части проекта.

## **5 Релейная защита и автоматика**

### **5.1 Релейная защита трансформатора 110/10 кВ**

В качестве основной используется токовая защита с заземляющим проводом (баковая защита), реагирующая на замыкание токоведущих цепей трансформатора на корпус.

Такие защиты нашли довольно широкое применение в США, Франции и ряде других стран. Однако опыт их эксплуатации в Белоруссии оказался неудачным, и сейчас такие защиты не включаются в проекты.

#### **5.1.1 Токовая отсечка**

На трансформаторах, питающихся от сети с большим током замыкания, отсечка устанавливается во всех трех фазах, а на трансформаторах в сетях с малым током замыкания — в двух.

#### **5.1.2 Дифференциальная защита**

Наиболее серьезные проблемы возникают в связи с необходимостью отстраиваться от тока намагничивания силового трансформатора. Даже при идеальных трансформаторах тока в измерительный орган попадает ток, равный току намагничивания силового трансформатора.

#### **5.1.3 Газовая защита**

При слабом газообразовании или утечке масла из трансформатора срабатывает верхний поплавок газового реле, при этом на П.З. №27 выпадает флажок указательного реле П РУ-5 «Газовая защита на сигнал» и работает предупредительная сигнализация. Действие производимое нижним поплавком газового реле, зависит от положения накладок 11Н2 «Газовая защита на отключение». Если накладка 11Н2 установлена в правое

положение, то при срабатывании нижнего поплавка газового реле происходит отключение трансформатора, при этом на П.З. №27 выпадает флажок указательного реле 11РУ2 «Газовая защита на отключение», работает сигнализация.

При положении накладки 11Н2 в левом на П.З. №27 выпадают флажки указательных реле 11РУ2 «Газовая защита на отключение» и 11РУ5 «Газовая защита на сигнал», работает предупредительная сигнализация, при этом отключение трансформатора не происходит.

#### **5.1.4 Защита РПН**

Выполнена с помощью струйного реле, установленного между контактором РПН и расширителем. Действует при повреждении РПН, когда создается поток масла или выделение газа, на отключение трансформатора.

#### **5.1.5 Максимальная токовая защита трансформаторов**

В распределительных сетях в основном используются понижающие трансформаторы с односторонним питанием, хотя в отдельных случаях, главным образом при многообмоточных трансформаторах, возможно и двустороннее питание. На трансформаторах с односторонним питанием максимальная защита всегда устанавливается со стороны источника мощности, с тем чтобы обеспечивалось и резервирование при к.з. в трансформаторе.

Если трансформатор многообмоточный, то максимальная защита должна устанавливаться на всех сторонах. При таком выполнении действие защиты вызовет отключение только одного выключателя, через который осуществлялось питание поврежденного направления. Токи срабатывания и выдержки времени всех максимальных токовых защит трансформатора должны согласовываться между собой и с максимальными защитами всех смежных присоединений.

Допускается не устанавливать защиту на одной из сторон трансформатора, а защиту на стороне питания выполнить двухступенчатой: с первой выдержкой времени отключать выключатель стороны, не имеющей защиты, а со второй — выключатель стороны питания. Недостатком схемы является невозможность подавать питание с той стороны трансформатора, на которой нет защиты.

Несколько максимальных защит устанавливается и на двухобмоточном понижающем трансформаторе, если он питает отдельно работающие секции: одну защиту — на стороне высшего напряжения и по одной — со стороны каждой секции.

Схема максимальной защиты зависит от режима заземления нейтрали на соответствующей стороне трансформатора. Если трансформатор работает в сети с изолированной нейтралью, то используется схема на рис. 6-2,6, а при недостаточной чувствительности к двухфазным к. з. за трансформатором звезда — треугольник или однофазным к. з. за трансформатором звезда — звезда с нулем—схема, приведенная на рис. 6-2,0.

Если понижающий трансформатор с односторонним питанием может работать с заземленной нейтралью обмотки высшего напряжения, то трансформаторы тока на этой стороне целесообразно включать в треугольник, а реле тока соответственно на разность фазных токов. Этим устраняется необходимость отстройки от токов нулевой последовательности, которые могут протекать через первичную обмотку трансформатора при к.з. на землю в питающей сети.

На трансформаторах с двусторонним питанием аналогично сетям с двусторонним питанием строгая селективность может быть достигнута только с помощью направленных токовых защит. Однако вероятность работы максимальной токовой защиты трансформатора невелика, и поэтому на практике направленная защита трансформаторов распределительных сетей не используется.

На трансформаторах с двусторонним питанием, если у них имеется заземленная нейтраль, необходимо предусмотреть возможность резервирования защит питающей сети. В этом случае реле тока максимальной защиты целесообразно включать на фазные токи, а при недостаточной чувствительности к однофазным к. з. устанавливать токовую защиту нулевой последовательности, включаемую в нулевой провод трансформаторов тока или на, ток нейтрали силового трансформатора.

При срабатывании защиты на переменном токе с дешунтированием П.З.№27 выпадает флажок указательного реле 11РУ4 «Работа МТЗ 110 кВ на переменном токе», а при срабатывании защиты на постоянном оперативном токе выпадает флажок указательного реле РУ в комплекте 13 КЗ и 11 РУ6 «МТЗ-110 кВ». Для ввода МТЗ-110 кВ в работу служит накладка 9Н1-П , 9Н1-IV своей секции 10 кВ (П.З. №25, П.З. №26).

Также предусмотрено ускорение защиты МТЗ-10. При срабатывании защит с меньшей выдержкой времени отключения ввод 10 кВ 2 и 4сш 10 кВ. При этом на ПЗ №25 выпадает флажок указательного реле 16РУ-1 "МТЗ-10" или на ПЗ №26 выпадает флажок указательного реле 15РУ-1 "МТЗ-10", работает звуковая сигнализация, с большей выдержкой времени отключается трансформатор. При работе ускорения защит выпадает бленкер 16РУЗ на ПЗ №25 или 15РУЗ "Ускорение МТЗ" на ПЗ №26 и работает сигнализация.

Ввод в работу ускорения МТЗ-10 осуществляется накладкой 16Н-1 "Ускорение МТЗ-10" на ПЗ №25 для ввода 4сш 10 кВ и накладкой на ПЗ №26 15НIV для МВ ввода 4сш 10кВ.

### **5.1.6 Защита от перегрузки на стороне 10кВ**

Выполнена с помощью токовых реле 12РТ-1, 12РТ-2 типа РТ-40. Действует при нагрузке силового трансформатора более чем 40% и действует с выдержкой времени (9с) на сигнал.

При срабатывании защиты от перегрузки на ПЗ №27 выпадает флажок указательного реле 20РУ-1 "Перегруз трансформатора на стороне 10 кВ".



### **5.1.7 Дополнительная МТЗ трансформатора Т-2 с действием на отделитель**

Защита предназначена для защиты силового трансформатора при отказе защит трансформатора (отказ коммутационной аппаратуры или релейной защиты, потери питания цепей защиты или управления ОД, КЗ-110 и по другим причинам).

Устройство состоит из двухфазной МТЗ с выдержкой времени, собранного на полупроводниковых приборах. При работе ДМТЗ-110 подается сигнал на отключение отделителя под нагрузкой.

### **5.1.8 Автоматический обдув трансформатора**

Включение обдува зависит от температуры верхних слоев масла в баке трансформатора. При достижении температуры верхних слоев масла в баке трансформатора +55С происходит включение обдува трансформатора. При достижении температуры верхних слоев масла в баке трансформатора +45С происходит отключение обдува трансформатора. При достижении нагрузки 660А по стороне 1 ОкВ независимо от температуры верхних слоев масла срабатывает реле 20РТ-1, 20РТ-2 и происходит включение обдува трансформатора.

### **5.1.9 Регулирование напряжения трансформатора под нагрузкой**

Для поддержания напряжения у потребителя на заданном уровне при различных нагрузках предназначен РПН. Переключающее устройство приводится в действие от 3-х фазного электродвигателя напряжением 380/220 В. Схема регулятора напряжения позволяет управлять приводом РПН в автоматическом, дистанционном и местном режимах.

Для выбора режима ключ КР "Переключатель рода работы РПН" необходимо установить в соответствующее положение. Если ключ КР установлен в положение "местное", то управлять приводом РПН необходимо кнопками в самом приводе.

Если ключ КР установлен в положение "дистанционное", то управлять приводом РПН необходимо ключом КУ "переключатель ступеней РПН" на ПУ №9. При перегрузках трансформатора запрещается регулирование напряжения под нагрузкой и загорается сигнальная лампа ЛВ "регулирование заблокировано" на ПЗ №11.

Вывод: выбрана релейная защита трансформатора 110/10кВ.

## **6 Выбор фильтров высших гармоник для тиристорных преобразователей**

Устройство фильтров высших гармоник в сети 6 кВ служит для снижения токов высших гармоник дополнительно загружающих питающую сеть 6 кВ. Данное явление вызвано работой вентильных преобразователей тока питающих двигателей постоянного тока.

Устройство фильтров высших гармоник состоит из двух установок. Каждая установка включает в себя устройства для фильтрации высших гармоник 250 Hz, 350 Hz, 550 Hz. Включение и выключение каждой установки осуществляется силовым высоковольтным выключателем, расположенном в РУ-6 кВ в РП-5.

При разложении кривой первичного тока на гармонические составляющие оказывается, что помимо основной гармонической составляющей, имеющей ту же частоту, что и частота питающей сети, первичный ток содержит ряд гармонических более высокого порядка.

Напряжение сети при этом будет несинусоидальным, так как на напряжение с основной частотой в 50 Hz накладываются напряжения с частотой высших гармоник, которые являются кратными значениями 50 Hz.

В установленных в подготовительном цехе 6-ти фазных вентильных преобразователях тока в схеме с продолжительным режимом работы появляются высшие гармоники 5 (7), 11 (13) с различной составляющей токов высших гармоник. Каждая установка цепей фильтров состоит из 3-х систем фильтров; для пятой (250 Hz), седьмой (350 Hz), одиннадцатой (550 Hz) высших гармоник при напряжении 6 кВ, 50 Hz. Отключаемая мощность сети 130...180 МВА на каждой установке.

Мощные выпрямители тока, обеспечивающие работу приводов, вызывают в электрических сетях:

1. Ухудшение коэффициента мощности, что ведет к дополнительным потерям реактивной энергии.

2. Искажение напряжений, вследствие вырабатываемых преобразователями тока токов высших гармоник.

3. Колебания напряжения сети.

Обусловленная преобразователями тока реактивная мощность состоит в основном из так называемой регулируемой реактивной мощности и зависит от угла регулирования  $\alpha$ . При грубом сравнении, коэффициент мощности  $\cos\varphi \approx \cos\alpha$ .

Так как потребляемый преобразователями (тока) ток при постоянном поле (возбуждении) пропорционален требуемому вращающему моменту привода, он может, особенно во время ускорения фазы, достигнуть значительного пика реактивной мощности.

Преобразователь тока берет из сети ток несинусоидальной формы. Полные сопротивления со стороны переменного тока в соединении с коммутацией, а также полные сопротивления со стороны постоянного тока придают току некоторую стабильность.

Тем самым вызывается определенная форма кривой, которая становится обязательной для тока сети. Как известно, ток сети состоит из спектра токов в одной фазе с различной частотой и амплитудой (колебание с частотой первой гармоники и высших гармоник), в ходе которых образуются результирующие формы кривых прямоугольной или ступенчатой формы.

Возникшие в сети токи высших гармоник имеют на эквивалентном полном сопротивлении питающей сети падения напряжения. Они накладываются на колебания с частотой первой гармоники (50 Hz) и появляются как дополнительное искажение напряжения (тока) сети. Высшие гармоники в сетевом напряжении могут нежелательно действовать на сами преобразователи тока, а также на другие части установки.

Например: повышенная нагрузка кабелей, выключателей, трансформаторов, двигателей и особенно конденсаторов, оказывает

отрицательное влияние на импульсные приборы регулирования преобразователей тока, ведет к выходу из строя высокочастотных установок для централизованного телеуправления, к повреждению чувствительных электронных приборов обработки данных и телефонных связей.

С помощью цепей фильтра эти явления могут быть устранены. Цепи фильтра представляют из себя последовательные колебательные контуры, состоящие из конденсаторных батарей и дроссельных катушек, которые подбираются соответственно ожидаемым частотам высших гармоник. Цепи фильтра подключаются параллельно к устройству преобразования тока.

Сопротивление фильтра приближается при соответствующей частоте настройки к нулю, так что ненужные частоты наложившихся потоков протекают преимущественно через эту цепь, а не через сеть питания. Ниже частоты настройки цепь фильтра показывает емкостное сопротивление, выше частоты настройки – индуктивное сопротивление.

Это значит, что цепь фильтра при частоте первой гармоники отдает реактивную мощность, а именно: служит для компенсации реактивной мощности, также если она (цепь) в первую очередь рассчитана для фильтрации высших гармоник. Ниже частоты настройки для каждой цепи фильтра с реактивным сопротивлением сети происходит переход к параллельному резонансу.

При этих точках резонанса не могут существовать токи высших гармоник. Чтобы это имело место, должны быть предусмотрены цепи фильтров, исходя из наименьшей имеющейся частоты гармоники устройства преобразования тока (на ОАО «Белшина» 250 Hz).

В установленных преобразователях тока появляются различные составляющие токов высших гармоник 5, 7, 11 (13) гармоник сети, для фильтрования которых предусмотрены 3 цепи фильтра, каждая с частотой 250 Hz, 350 Hz, 550 Hz.

На рисунке 6.1 показана эквивалентная схема со стороны преобразователя тока. Источник токов высших гармоник изображен при этом

как постоянный источник токов.

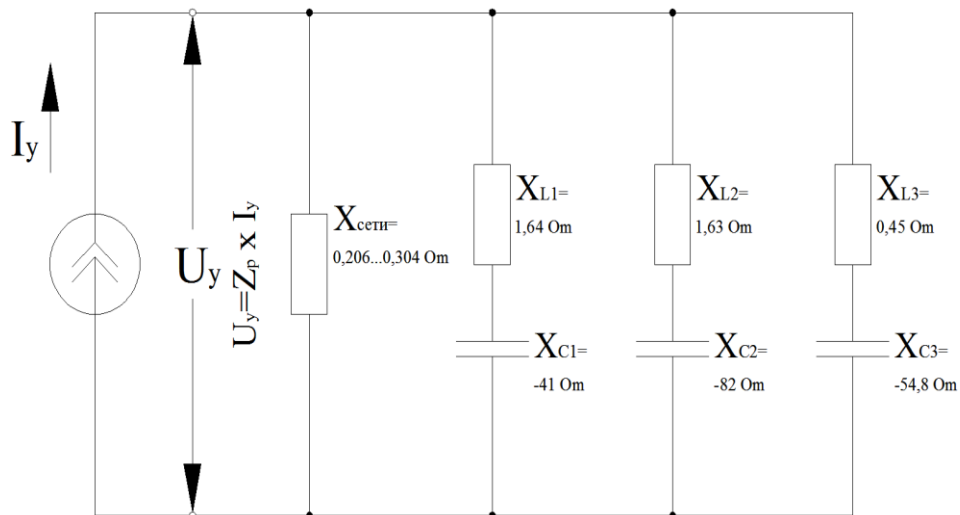


Рисунок 6.1 - Эквивалентная схема сети с реактивными сопротивлениями

Токи высших гармонических составляющих, порядковые номера которых совпадают с частотами настройки цепей фильтра, втекают в них. Остальные токи высших гармоник разделяются соответственно коэффициенту полного сопротивления на отдельные цепи фильтра и сетевое питание

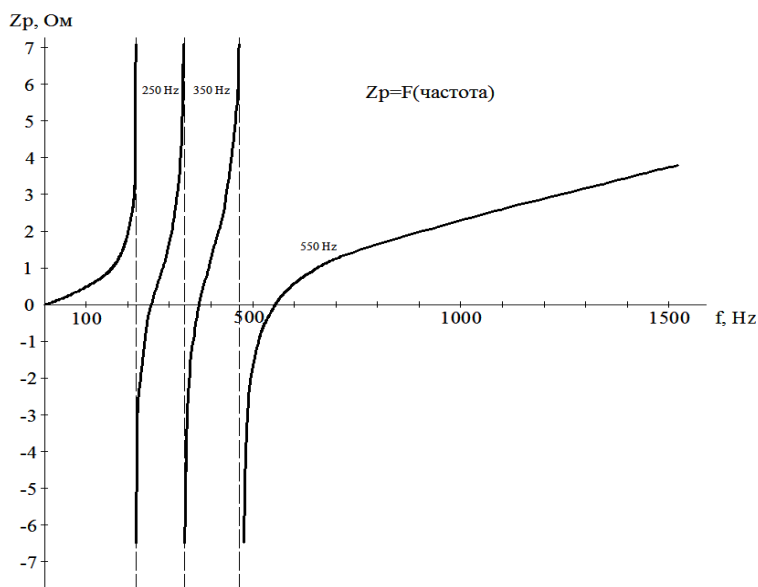


Рисунок 6.2 - Полное сопротивление сети (установка 6 кВ)

Сообразно с этим изменяются соответственно числу имеющихся цепей фильтра точки нуля и бесконечности в направлении увеличивающейся частоты.

Готовая конструкция служит для установки разъединителей, а также для крепления кабельных муфт подводящих кабелей.

Вспомогательная система сборных шин – из алюминия. Сборные шины (из меди 40x5) монтируются на месте. Конденсаторы отдельных фаз монтируются на опорной раме и подключаются к медным шинам. На месте монтажа должны проводиться только подключения к системам шин.

В месте подключения к конденсаторным батареям отдельных цепей фильтра имеются места для подключения нулевой точки разрядников (для защиты от перенапряжений), трансформаторов (для защиты от асимметрии) и вспомогательных шин.

Дроссельные катушки резонансной цепи, во избежание нежелательного магнитного влияния, выполненные как однофазные катушки, устанавливаются между системой вспомогательных сборных шин и группами конденсаторов таким образом, что позволяет избежать магнитной связи.

Связь между системой вспомогательных сборных шин, дроссельными катушками и группами конденсаторов происходит с помощью предварительно подготовленных шин, которые укрепляются на потолке помещения. Монтаж и включение отдельных цепей фильтра и их аппаратов происходит соответственно блочной схеме.

Дроссельные катушки служат для резонанса с конденсаторной батареей при частоте настройки соответствующей цепи фильтра. Точная настройка осуществляется в испытательной лаборатории завода изготовителя с помощью измеряемых действительных емкостей конденсаторных батарей.

Во избежание нежелательного и трудноконтролируемого магнитного влияния применяются однофазные катушки и располагаются надлежащим образом. В качестве материала для проводника служит специальный

проводник с незначительными, зависящими от частоты, дополнительными потерями. Обмотка залита в каркас из эпоксидной смолы и благодаря этому она приобретает особо высокую динамическую прочность.

Для защиты от коммутационного внутреннего перенапряжения дроссельные катушки оснащены разрядниками.

Защитное устройство против асимметрии с регистрацией возможных повреждений в конденсаторах. Асимметрия может возникнуть вследствие разрыва обкладки конденсатора.

В этом случае ток утечки значительно меньше рабочего тока и может при этом быть зарегистрирован не реле максимального тока, а только с помощью специальных защитных устройств от повреждений.

К тому же, каждая конденсаторная батарея цепи фильтра разделена на две частичные батареи, и между обеими нулевыми точками устанавливается трансформатор, через который в случае неисправности протекает разностный ток. Этот разностный ток подводится к реле тока, которое в случае необходимости воздействует на срабатывание выключателя.

Дроссельные катушки устанавливаются для резонанса с конденсаторной батареей при соответствующей частоте настройки. Для устранения неизбежных производственных допусков после изготовления дроссельных катушек на испытательном стенде завода-изготовителя происходит точная настройка с помощью измеренных действительных емкостей конденсаторных батарей.

Для этой цели каждая катушка состоит по меньшей мере из двух частичных катушек в форме дисков, индуктивная связь которых устанавливается благодаря изменению расстояния.

Вывод: выбраны фильтры высших гармоник для тиристорных преобразователей.



## 7 Охрана труда, ТБ и охрана окружающей среды

### 7.1 Охрана окружающей среды на ОАО «Белшина»

ОАО «Белшина» расположено в северной части г. Бобруйска.

К северо-западу от границы промплощадки расположен лесной массив, к северо-востоку – железнодорожная станция Шинная и ТЭЦ-2. К югу от промплощадки находятся троллейбусное депо и кожкомбинат, Ближайшая жилая зона находится к юго-западу от промплощадки на расстоянии 500 метров.

Город Бобруйск относится к нормальной зоне с умеренной положительной зимой и умеренно теплым летом. Преобладающее направление ветра в январе – юго-западное, в июне – северо-западное.

Размер санитарно-защитной зоны для предприятия ОАО «Белшина» установлен 300 м от границы площадки предприятия, в соответствии с санитарными нормами СН 245-71 как для химического предприятия 3 класса.

ОАО «Белшина» ведет полный контроль за качеством сточных вод предприятия, а также при необходимости проводится дополнительный контроль. Контроль сточных вод ведется по загрязняющим веществам ( $\text{мг/м}^3$ ), представленных в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Контроль сточных вод

| Наименование загрязняющих веществ | Хозфекальная канализация | Промливневая канализация |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Нефтепродукты                     | 3                        | 3,5                      |
| Взвешенные вещества               | 184                      | 60                       |
| БПК 20                            | 255                      | 40                       |
| СПАВ                              | 10                       | -                        |
| Жир                               | 10                       | -                        |
| Хлориды                           | 100                      | 100                      |
| Сульфаты                          | 100                      | 100                      |
| Железо                            | 2                        | -                        |
| Азотоамонийные                    | 20                       | -                        |
| Фосфаты                           | 6                        | -                        |
| Сульфиды                          | 3                        | -                        |

На ОАО «Белшина» внедрена система управления окружающей средой и выдан экологический сертификат соответствия требованиям СТБ ИСО 14001-2005

Таблица 7.2 – План мероприятий по снижению выбросов в атмосферу от источников ОАО «Белшина»

| № п/п | Наименование мероприятий  | Ответственный исполнитель | Эффективность мероприятия                              |
|-------|---|---------------------------|--|
| 1     | Переход на использование в производстве готовых термообработанных кордов  | ЗКГШ, ЗМШ                 | Снижение выбросов загрязняющих веществ на 9 тонн в год |
| 2     | Изготовление смазок на водной основе  | ЗКГШ, ЗМШ, ЗСКГШ          | Снижение выбросов бензина на 83 тонны в год            |
| 3     | Внедрение энергосберегающего оборудования (гидравлических прессов 4530R) при вулканизации легковых автопокрышек | ЗМШ                       | Снижение выбросов парниковых газов на 7,5 тонн в год   |
| 4     | Использование ВЭР загрязняющих потоков с энергоустановок на подогрев питающей воды на ТЭЦ-2                     | ЗМШ, ЗКГШ                 | Снижение выбросов парниковых газов на 9,5 тонн в год   |

## 7.2 ТБ при эксплуатации цехового электрооборудования

К выполнению работ по ремонту и обслуживанию электрооборудования допускается лица не моложе 18 лет, имеющие профессию электромонтера и прошедшие:

- медицинский осмотр и признанные годными к работе по данной профессии;
- вводный инструктаж по охране труда, промышленной и пожарной безопасности, производственной санитарии;
- первичный инструктаж на рабочем месте;
- обучение по охране труда, которое составляет: теоретическое – не менее 20 часов и производственное – не менее 12 рабочих дней;

- проверку знаний в объеме Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и Межотраслевых правил по охране труда при работе в электроустановках, Правил устройства электроустановок, рабочих инструкций, инструкций по охране труда, нормативных и эксплуатационных документов, действующих на предприятии.

Основные источники опасностей и рисков на рабочем месте для электромонтера представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 - Основные источники опасностей и рисков на рабочем месте для электромонтера

| Источники опасностей (материалы, оборудование, оснастка и др.)          | Опасность  | Риск                                      |
|---|--|---|
| Электрооборудование   | Поражение электротоком<br>Загорание электроустановки                                   | Электротравма, смерть<br>Термический ожог |
| Работа на высоте  | Падение с высоты   | Травма                                    |
| Неустойчивое складирование грузов, материалов                           | Падение грузов, материалов   | Травма                                    |
| Технологическое оборудование (движущиеся части оборудования), транспорт | Прикосновение к движущимся частям оборудования<br>Шум                                  | Травма<br>Снижение слуха                  |
| Движущийся транспорт  | ДТП  | Травма, смерть                            |
| Скользкая дорога в зимний период  | Падение  | Травма                                    |
| Перемещение грузов ГПМ (для подготовительных цехов, ТПС, ПВС)           | Обрыв строп, падение груза   | Травма, смерть                            |
| Металлообрабатывающие станки  | Прикосновение к движущимся частям станка, разрыв абразивного круга, поражение эл.током | Травма                                    |
| Пневмоинструмент  | Вылет сверла из шпинделя, разрыв абразивного круга, вылет дисковой щетины              | Травма                                    |
| Теплоиспользующее оборудование (для цеха ПВС)                           | Выброс пара, горячей воды, горячие поверхности   | Ожог                                      |

### Продолжение таблицы 7.3

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
| Наличие вредных веществ в воздухе рабочей зоны (пыль технического углерода – в подготовительных цехах; фенол, диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода – для всех цехов завода, бензин – для сборочных цехов) | Вдыхание паров, превышение ПДК вредных веществ | Профессиональное заболевание |
| Подвесные транспортные системы (для каландрового цеха)   | Падение предметов сверху                       | Травма                       |
| Повышенная температура воздуха в помещении (для цехов вулканизации, автокамерного, ТПС, ПВС)   | Перегрев организма                             | Ухудшение здоровья           |

Вывод: дано описание мероприятий по охране окружающей среды на ЗМШ ОАО «Белшина» и рассмотрена техника безопасности при эксплуатации цехового оборудования.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе был выполнен анализ электрического хозяйства предприятия и определены его электрические показатели. В зависимости от суммарной мощности электроприемников по условной градации промышленных предприятий в качестве потребителей электроэнергии ЗКГШ ОАО «Белшина» относится к средним – с установленной мощностью до 75 МВт.

Был рассмотрен технологический процесс предприятия, дана характеристика потребителей электрической энергии по категории надежности электроснабжения.

Выполнен анализ существующей системы внешнего и внутривозовского электроснабжения предприятия, и произведена характеристика компенсационных устройств реактивной мощности на заводе КГШ. При анализе электропотребления предприятия произведен анализ потребления электроэнергии автокамерного цеха и завода КГШ.

Определена мощность электроприемников автокамерного цеха, рассчитаны нагрузки групп электроприемников и всего цеха; был произведен выбор защитной аппаратуры электроприемников (автоматических выключателей ВА), силовых ящиков СП, с целью защиты потребителей от коротких замыканий, перегрузок, выбор проводникового материала. Для группы потребителей осуществлен выбор типовых силовых ящиков фирмы «Белтехпром», питающих шинопроводов ШРА-4. Выполнено согласование защитных аппаратов различных уровней цеховой сети.

Были рассчитаны токи короткого замыкания на шинах 6 кВ, произведена модернизация распределительного устройства, в результате чего была рассмотрена установка следующего оборудования:

- вакуумные выключатели типа - VS 1-12/630-20 и VS 1-12/1200-20;
- трансформаторы мощностью 25 МВА на напряжении 110/6 кВ;

Был произведен выбор нормированной освещенности для равномерного освещения производственных площадей и вспомогательных помещений. Была обеспечена требуемая освещённость. Выполнены требования допустимой потери напряжения у самого удалённого светильника, обеспечено симметричное расположение однофазной нагрузки по фазам. Выбраны питающие кабели, автоматические выключатели для защиты сети освещения от коротких замыканий.

Были рассмотрены вопросы, связанные с энергосбережением на промышленных предприятиях, а также приведены мероприятия, повышающие эффективность использования электрической энергии.

Подробно рассмотрены и рассчитаны производные релейной защиты и автоматики, защита трансформатора 110/10кВ, дифференциальная и газовая защиты, максимальная токовая защита трансформаторов и автоматический обдув трансформатора.

Разработаны мероприятия по экономии ТЭР.

В разделе охраны труда произведена характеристика охраны труда на предприятии ОАО «Белшина», техника безопасности при обслуживании распределительных устройств и охрана окружающей среды на предприятии ОАО «Белшина». Отражены вопросы организации работ по охране труда и техники безопасности и природоохранной деятельности, по организации производственного экологического контроля на ОАО «Белшина».

## Список используемых источников

1. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с.
2. Гвоздев С.М. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 288 с.
3. Calculation of lighting in the program DIALux evo 8.1: DIALux evo manual [Электронный ресурс]. URL:<https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALuxevo/manual.pdf> (дата обращения: 05.01.2020).
4. Сумарокова Л.П. Основы расчёта систем внутризаводского электроснабжения: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 119 с.
5. Грунин В.К. Выпускная квалификационная работа бакалавра по проектированию систем электроснабжения промышленных объектов: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. 156 с.
6. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие. Москва: РУСАЙНС, 2017. 160 с.
7. Шевченко Н.Ю. Электроснабжение: учебное пособие. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 92с.
8. Varetsky Y. Reactive power compensation in a powerful AC drives supply system// 2016 Electric Power Networks (EPNet). Szklarska Poreba. 2016. pp. 1-6.
9. Установки конденсаторные типа УКМ: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL:<http://www.elektro-portal.com/> (дата обращения: 05.01.2020).
10. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.

11. Трансформаторы силовые с масляной и сухой изоляцией: каталог продукции [Электронный ресурс]. URL:<https://electroshield.ru/catalog/transformatory-silovie-raspredelitelnie/tmg-f-seshch-25-2-500-kva-6-10-15-20-35-kv/> (дата обращения: 05.01.2020).
12. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. 180 с.
13. Фёдоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебник для вузов. М.: Энергия, 2014. 360 с.
14. Panteleev V. Optimization model of power supply system of industrial enterprise. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.
15. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ, 2013. 412 с.
16. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: ФОРУМ, 2011. 136 с.
17. Кабели и провода на напряжение до 1 кВ: каталог [Электронный ресурс]. URL:[http://www.simross.ru/files/35857/1KV\\_pr.pdf/](http://www.simross.ru/files/35857/1KV_pr.pdf/) (дата обращения: 19.01.2020).
18. Пункты распределительные серии ПР 11: техническая информация для выбора [Электронный ресурс]. URL:<http://ruscomplect.ru/pr11.htm/> (дата обращения: 19.01.2020).
19. Conrad St. Pierre A practical guide to short-circuit calculations. England: Electric Power Consultant, 3 rd edition. 2015. 536 p.
20. Котова Е.Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. унта, 2014. 216 с.
21. Старжинский В.Н. Проектирование защитного заземления: учебнометодическое пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 22 с.



22. Кашина С.Г. Электробезопасность. Защитные заземляющие устройства электроустановок: учебное пособие к практическим занятиям студентов. Казань: Изд-во КГАСУ, 2016. 137 с.

23. Design of lightning protection system: guide to the design of lightning protection for industrial enterprises [Электронный ресурс]. URL:<https://www.dehn.cz/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/> (дата обращения: 25.01.2020).

24. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.