

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 Проектирование системы электроснабжения ЗАО «ЖБК
Тольяттинское»

Студент

И.В. Малозёмов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.С. Романов

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе произведен один из вариантов реконструкции системы электроснабжения промышленного предприятия ЗАО «ЖБК Тольяттинское», в связи с увеличением мощности предприятия и выпуска большего количества продукции.

Для того чтобы оптимально произвести выбор нового электрооборудования, проведен ряд анализов и обследований как общих характеристик предприятия, так и полноценный и глубокий анализ системы электроснабжения исследуемого завода. На основании полученных данных к исполнению принят ряд задач, которые необходимо выполнить для решения поставленной цели. Произведен расчёт силовых нагрузок, уже учитывая прирост мощности предприятия. Рассчитана компенсация реактивной мощности и выбрано соответствующее оборудование для её компенсации, произведен выбор силового оборудования, выбраны новые силовые трансформаторы.

Также произведен расчёт токов коротких замыканий на стороне низкого и высокого напряжений. На основании полученных данных произведен выбор основного электрооборудования предприятия: осуществлен выбор ВРУ для каждого цеха и здания, произведен выбор и полная проверка кабельной продукции 0,4 кВ, а также расчёт заземляющего устройства для каждого цеха и сооружения. Помимо этого выбран новый тип трансформаторной подстанции.

Данная пояснительная записка представлена на 72 страницах, содержит 10 рисунков и включает в себя 16 таблиц. Графическая часть состоит из 6 чертежей формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is « Power supply system design at JSC «ZHBK Tolyattinskoe»».

The graduation work consists of an explanatory note on seventy two pages, introduction, including ten figures, sixteen tables, the list of thirty five references including five foreign sources, and the graphic part on six A1 sheets.

The key issue of the thesis is the renovation power supply systems of the industrial enterprise JSC «ZHBK Tolyattinskoe». We touch upon the problem of designing the system in connection with increasing the capacity of the enterprise and manufacturing more products.

The aim of the work develops technical solutions in terms of power supply in connection with the launch of an increased scale of production of reinforced concrete products.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: description of the project object characteristics, calculation of power loads taking into account the increase in capacity of the enterprise, calculation of reactive power compensation and selection of compensating installations, selection of power transformers, calculation of short-circuit currents on the high and low voltage side, selection of the main electrical equipment of the enterprise under study and calculation of the grounding device.

In conclusion we'd like to stress this work is relevant in solving the problem of the reconstruction of the enterprise JSC «ZHBK Tolyattinskoe» as well as to consider that similar technological and constructive solutions can be used for other large manufacturing plants and enterprises.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристики объекта проектирования.....	7
1.1 Описание объекта проектирования.....	7
1.2 Система электроснабжения объекта проектирования	10
1.3 Задачи ВКР	16
2 Расчёт силовых нагрузок с учётом увеличения производственных мощностей.....	17
2.1 Краткое описание цеха и исходные данные.....	17
2.2 Расчёт электрических нагрузок всего предприятия	25
3 Расчёт компенсации реактивной мощности и выбор компенсирующих установок.....	28
4 Выбор силовых трансформаторов.....	33
4.1 Перераспределение расчётной мощности на трансформаторах	33
4.2 Расчёт мощности трансформаторов и их выбор.....	36
5 Расчёт токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения	40
6 Выбор основного электрооборудования исследуемого предприятия	47
6.1 Выбор типа трансформаторной подстанции.....	47
6.2 Выбор ВРУ устанавливаемых внутри цехов и зданий.....	52
6.3 Выбор и проверка кабельной линии 0,4 кВ.....	56
7 Расчёт заземляющего устройства	61
Заключение	67
Список используемой литературы	68

Введение

Современное благоустройство города – одна из самых важных и главных задач, которая стоит перед администрацией и властями обслуживающего населенного пункта. Выполнение этой задачи позволяет облагородить и повысить качество жизни у населения того или иного района проживания, улучшить и сделать более комфортабельные условия жизни. Под благоустройством понимается целый ряд по строительству различных зданий и сооружений, от постройки медицинских учреждений и жилых домов до облагораживания городских парков и скверов.

Из-за роста масштабов воздвигаемой инфраструктуры страны современная тенденция видна в повышении востребованности, как в росте изготавливаемой продукции, так и в увеличении её качества.

В связи с выше перечисленным необходимо искать надежных поставщиков железобетонных конструкций, которые являются основой любого масштабного строительства. Если рассматривать такой город, как Тольятти, то можно обнаружить множества объектов, которые планируют построить до 2020 года. Например, такие сооружения как зал истории АвтоВАЗа с многочисленными скверами и собственными фонтанами на ул. Революционной, постройка двух школ в автозаводском районе более чем на 1350 мест, физкультурно-оздоровительный комплекс СДЮШОР №8 «СОЮЗ» и много другое [6].

Поскольку на строительство всех этих объектов необходимы плиты перекрытия и железобетонные конструкции, которые имеют очень большой вес, не целесообразно в экономическом и техническом плане доставлять эти изделия из других городов. Именно поэтому необходимо приближать место производства продукции к месту непосредственного строительства.

В экономическом плане, решение по строительству нового предприятия или завода, если такого нет вблизи постройки, не совсем выгодно. В тоже время, на территории России, имеется масса заброшенных

предприятий или функционирующих не в полном объеме и требующих обслуживания заводов. При необходимой реконструкции и ремонте данных предприятий, есть возможность запуска массовой продукции надлежащего качества. В черте центрального района, по улице Новозаводской находится предприятие по изготовлению железобетонных конструкций - ЗАО «ЖБК Тольяттинское», основанное ещё в 1964 году. В настоящее время, завод не в состоянии снабжать город всем необходимым объёмом продукции, а лишь небольшими партиями железобетонных изделий. Это связано из-за нехватки современного оборудования и цехов, установка которых невозможна без модернизации системы электроснабжения всего предприятия.

Тенденция по росту продукции есть, но предприятие не справляется с масштабами производства, именно поэтому было принято решение по его переоснащению и реконструкции. Исходя из этого, можно говорить об актуальности выбранной темы.

Цель бакалаврской работы – разработать технические решения в части электроснабжения в связи с запуском увеличенных масштабов производимой продукции железобетонных изделий (На примере завода « ЗАО ЖБК Тольяттинское»).

1 Характеристики объекта проектирования

1.1 Описание объекта проектирования

Объектом исследования, в данной работе, выступает – «Завод по производству железобетонных конструкций ЗАО ЖБК «Тольяттинское». Предприятие представляет собой готовое решение, по изготовлению, реализации и поставки продукции на нужды города и за его пределы. На данный момент ассортимент компании очень широк, это и плиты перекрытия, и различные фундаменты, а также перемычки, сваи и колонны. Помимо всего прочего, завод выполняет различные технические решения по изготовлению индивидуальных металлоконструкций, ремонту электродвигателей промышленного назначения и различные прессы работы с металлом.

Предприятие располагается в удобном месте для города, в черте Центрального района. Занимаемая площадь предприятием составляет 9 гектаров. Точный адрес завода – Самарская область, г. Тольятти, ул. Новозаводская бк. Климатические условия в которых находится объект следующие: район по гололеду 3 (15 мм), среднегодовая температура плюс 5 °С, минимальная температура минус 45 °С, максимальная температура плюс 40 °С. Общий вид фирмы со спутника представлен на рисунке 1.

Основано предприятие в 70-е годы прошлого века, тогда ещё носившее название – Ставропольский завод железобетонных изделий «Облколхозстрой». Уже в то время производственные масштабы набирали огромные обороты, до 9 тыс. м³ – изготавливаемого бетона каждый месяц. В 80-е годы были построены три новых цеха – бетоносмесительный, формовочный и арматурный в которых было реализовано передовое производство плит перекрытия и арматурных каркасов. Весь выпуск продукции шёл для строительства сооружений города, помимо этого воздвигались коровники, склады, котельные и многое другое. А с 1997 года,

когда завод вышел на максимальные обороты в производстве и был переименован в ЗАО ЖБК «Гольяттинское», также освоена логистика поставки изделий в регионы страны.



Рисунок 1 – Общий вид со спутника

В настоящий момент завод располагает на своей территории административные, производственные и вспомогательные здания. Вся площадь завода разбита на четыре обширных полигона, рядом с которыми установлены специальные складские объекты для хранения объёма инертных материалов для производства бетона (песок, щебень, галька, присадки). Полигоны также оборудованы крановой техникой и пропарочными камерами для поддержания необходимой температуры во время производственного процесса и сушки. Также на площади полигонов располагается, готовая к транспортировке, изготовленная продукция. Для того, чтобы производить передвижения цементной смеси и компонентов необходимой для изготовления бетона, внутри самого завода предусмотрена собственная железнодорожная дорога, а также имеется свой грузовой транспорт. Предприятие располагает основными производственными подразделениями:

- ремонтно-механический цех (РМЦ) – выполняет все необходимые функции для изготовления запасных деталей для полноценного функционирования оборудования всего предприятия (например:

состоит из токарных, фрезерных, сверлильных и строгальных станков различной компоновки и вида, имеется пресс на более, чем двести тонн, вальцы, сварочные аппараты и наждаки);

- электроцех – цех предприятия предназначен для ремонта и обслуживания всего ряда электротехнического оборудования располагаемого по различным цехам предприятия, ремонт дежурного освещения цехов и главных зданий, периодический осмотр, обслуживание и укладка кабелей основного электроснабжения завода, а также цехов, распределительных пунктов и сооружений на территории завода;
- компрессионная станция – установка, в которой находится три компрессора (например: служит для создания сжатого воздуха, который необходим для работы оборудования бетонно смесительного цеха и собственных нужд предприятия, имеет собственные воздушные магистрали и трубопроводы);
- арматурный цех – один из главных цехов предприятия, так как для создания любой железобетонной конструкции необходима арматурная сталь (например: сталь подается по железнодорожным путям, либо же подвозится партиями авто транспортом к месту переработки и дальнейшей сварки на специальном для этого оборудовании);
- бетонно смесительный цех (БСЦ) – основной цех предприятия, предназначен для замешивания инертных материалов и получения готовой бетонной смеси (например: для создания продукции в помещении устанавливается специальное оборудование: дозаторы, расходомеры, бетонные смесители, а также транспортировочные пути для подачи и выдачи уже готовой продукции).

Вывод: исследуемое предприятие имеет свою полноценную инфраструктуру и располагает возможностью снабжать продукцией многие города и области.

1.2 Система электроснабжения объекта проектирования

Предприятие имеет собственную систему электроснабжения, которая включает в себя три трансформаторные подстанции: ТП102, ТП3 и ТП101; а также питающие линии 6 кВ, питающие распределительные и групповые линии 0,4 кВ.

Трансформаторная подстанция ТП 102 питается по воздушной линии ВЛ – 6 кВ 1 п/ст «Северная». Подстанция выполнена закрытого типа, состоит из двух трансформаторов типа ТМ – 630/6/0,4 У/У_н – 0 с масляным охлаждением, один из которых резервный. В качестве защиты шин подстанции используются плавкие вставки ПН-2-250-10УЗ. В роли силового выключателя используется АП50 – 3МТ УЗ. Данные по затрачиваемой электроэнергии снимаются с помощью установленного счётчика – «Меркурий» 230 АРТ 2. Подстанция питает арматурный, формовочный, столярный, ремонтно-механический цеха. Состояние подстанции неудовлетворительное, сооружение в котором находится оборудование ненадлежащие, в работе используются устаревшие трансформаторы (год выпуска трансформаторов – 1976), замечен подтёк масла на расширительном баке основного трансформатора, система защиты технически устарела (выключатель сделан в 1992 году, а плавкие вставки в 2003), давно не производились работы по обслуживанию и плановым проверкам. На рисунке 2 изображено общее состояние подстанции ТП102, а также резервного трансформатора ТМ – 630/6/0,4 У/У_н – 0.

Трансформаторная подстанция ТП3 питается также по воздушной линии ВЛ – 6 кВ, состоит из трансформатора ТМ – 100/6/0,4 У/У_н, разъединителя и защиты, в качестве которой установлены плавкие вставки, аналогично подстанции ТП102. Подстанция питает автотранспортный технический узел; 1,2 и 4 полигоны и электроцех. Ситуации по состоянию идентичны подстанции ТП102.



1 – общий вид подстанции с улицы; 2 – резервный трансформатор

Рисунок 2 - Состояние подстанции ТП102

Также для осуществления питания бетонно смесительного и компрессорного цехов на предприятии установлена трансформаторная подстанция ТП101, которая питается по кабельной линии КЛ – 6 кВ. Подстанция состоит из двух трансформаторов Т-4 и Т-5. Данные трансформаторов аналогичны установленным на подстанции ТП102, которые были описаны выше. За исключением резервного трансформатора Т-4, его номинальная мощность 400 кВА (ТМ – 400 6/0,4). В качестве защиты на трансформаторах установлены автоматические трехполюсные выключатели АЗ144 ХЛ4 (номинальный ток 300 А), плавкие вставки ПН-2-250-10УЗ и силовой ящик ЯВЗ-34-IP54 УХЛЗ (400 А). На данном объекте устарела система защиты и автоматики (Выключатель выпущен в 1993 году), видны следы масла на корпусе трансформаторов, а также хаотичная укладка

кабельной линии внутри подстанции. Техническое состояние трансформатора подстанции ТП101 наглядно изображено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Техническое состояние трансформатора подстанции ТП101

Электроэнергия подходит по двум питающим линиям – воздушной и кабельной. Электроснабжение по воздушной линии предприятия осуществляется по ф.1 ПС 35/6 кВ «Северная». Трасса ВЛ – 6 кВ 1 п/ст «Северная» принадлежащая ЗАО «Энергетика и связь строительства» приходящая на трансформаторную подстанцию ТП102 – 6/0,4 кВ мощностью 2х630 кВА ЗАО ЖБК «Тольяттинское» разделена контактами подсоединения кабелей в распаячных ящиках №140 и №141 находящиеся вне территории завода. Линия проложена на железобетонных конструкциях СВ 110-3,2 и СВ 164-3,2. Также в соответствии с технологическими и строительными решениями по ЛЭП, выполненными в проекте по электроснабжению исследуемого предприятия, а также на основе климатических условий, расчётов на экономическую плотность тока и потери принят провод АС – 70.

На рисунке 4 наглядно изображена система электроснабжения по воздушной линии, питающая предприятие, на примере подстанции ТПЗ.



1 - трансформаторная подстанция ТПЗ – 6/0,4 кВ

Рисунок 4 – Система электроснабжения предприятия по воздушной линии

Распаячный ящик (РЯ-«В-К» 6кВ) установленный для границы раздела состоит: из опорных фарфоровых, вентильных разрядников РВО – 6 (3 шт.), проходных изоляторов ИПУ – 10/630 (3 шт.) и разъединителя 3-х полюсного ВИР – 10/400 (1 шт.). Прокладка кабеля от силового шкафа типа «Воздух-кабель» (РЯ1) до расположенной на заводе ТП – 6/0,4 кВ выполнена в траншее на отметке в – 0,7 м по типовому проекту А5-92 «Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях», кабель принят – ААШВу-6 – 3х70 и уложен в две нити. Заземление опор выполнены двумя электродами из

круглой стали, соединение выполнено сваркой (Диаметр электрода 14 мм, длина 5 м, соединение между электродами выполнено стальной полосой 30x4 мм).

Кабельная линия питающие предприятие ЗАО ЖБК «Тольяттинское» приходит от соседнего завода ОАО «Фосфор». Силовой кабель АСБ-6 3x150, отходящий от предприятия «Фосфор», проложен в две линии от ячейки 7 (РП-11) и 8 (РП-12) соответственно. Приходит кабельная линия, через силовые выключатели ВМ – 6 кВ на трансформаторную подстанцию ТП101, за которую несёт ответственность ЗАО ЖБК «Тольяттинское». Кабельная линия питает трансформаторы Т-4 и Т-5, которые в свою очередь дают энергию на компрессорный и бетонно смесительный цеха.

На рисунке 5 изображена приходящая кабельная линия и трансформатор Т-4.



1 – кабельная линия 6 кВ, 2 – трансформатор Т – 4 ТМ – 630/6/0,4

Рисунок 5 – Система электроснабжения путем питания через кабельную линию

Заземление металлических траверс выполнено стальной проволокой (Диаметр проволоки – 6 мм). Заземление силового шкафа выполнено шестью электродами из стали выполненной из периодического профиля.

В свою очередь линия 0,4 кВ от всех подстанций расходится по цехам предприятия в вводно-распределительные панели. По части выключателей в панелях установлены – ТУР WIS 100 (100А; 500V), а в качестве защиты установлены плавкие вставки ПН2-250. Кабельная линия 0,4 кВ выполнена из кабеля марки ААШв – 1 4х240 – 403 м, который проложен в траншеи и закреплен по существующему забору предприятия на металлоконструкциях, концевые муфты используются КВтпН 10 150/240. Для примера, на рисунке 6 изображена ВРУ компрессионной станции.



1 – вид секций внутри цеха; 2,3 – вторая и третья секции соответственно

Рисунок 6 – Общий вид ВРУ на примере компрессионной станции

Общее состояние подстанций завода малоудовлетворительное, есть проблемы с системой охлаждения трансформаторов, не достаточно уделяется внимание обслуживанию системы электроснабжения и защиты.

Вывод: неудовлетворительное состояние системы электроснабжения завода.

1.3 Задачи ВКР

В ходе обследования характеристик системы электроснабжения ЗАО ЖБК «Тольяттинское» были получены данные по его техническому состоянию. Обследование показало техническое и моральное устаревание силового оборудования предприятия, необходимость его обслуживания и частичной замены в срочном порядке. Также в связи с ростом масштабов производимой продукции в ближайшее время увеличится и мощность, что может повлечь выход из строя оборудования. В связи с выше перечисленным, необходимо произвести полную реконструкцию системы электроснабжения предприятия. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- осуществить расчёт силовых нагрузок с учётом увеличения производственных мощностей;
- произвести расчёт токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения;
- выполнить выбор и расчёт новых силовых трансформаторов для подстанций: ТП-3, ТП-102 и ТП-101;
- произвести расчёт и выбор современных защитных аппаратов и кабельной продукции;
- произвести выбор и расчёт электрощитового оборудования 0,4 кВ;
- произвести расчёт заземляющего устройства.

Вывод: в связи с ростом мощности предприятия необходимы комплексные решения по реконструкции системы электроснабжения завода.

2 Расчёт силовых нагрузок с учётом увеличения производственных мощностей

2.1 Краткое описание цеха и исходные данные

Расчёт предполагаемых силовых нагрузок производится на примере ремонтно-механического цеха, исходные данные которого занесены в таблицу 1.

Для создания металлоконструкций, деталей, запчастей и т.д., необходимых для основного производства, предусмотрен отдельный цех – ремонтно-механический (РМЦ). В его состав входят металлообрабатывающее оборудование, сварочные аппараты, вентиляторы, крановое оборудование. Занимаемая цехом площадь составляет 1870 м². Климатические условия в цехе нормальные, температура внутри помещения не превышает 30 °С, оборудование и станки, также имеют нормальное исполнение. Разработка системы электроснабжения в цеху, учитывает класс помещения и климатические условия. Питание цеха, в нынешнем исполнении, производится от ТП-102, по воздушной линии.

Таблица 1 – Исходные данные электрических нагрузок РМЦ

Наименование электрических потребителей цеха	$P_{\text{пас}}, \text{ кВт}$	n_3	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$
Вертикально-сверлильный станок	20	3	0,52	0,5
Универсально-фрезерный станок	7,6	2	0,46	0,65
Универсальный заточный станок	3,25	2	0,52	0,65
Пресс листогибочный	23,2	2	0,42	0,5
Радиально-сверлильный станок	6,9	1	0,73	0,5
Плоскошлифовальный станок	3,25	2	0,56	0,65
Приводные ножницы	5,6	2	0,62	0,8
Кран-балка	27	1	0,35	0,5
Автомат для дуговой сварки	120	1	0,25	0,65
Строгальный станок	14	2	0,52	0,65
Настольный сверлильный станок	1,2	2	0,48	0,5
Точильный станок двусторонний	3,5	2	0,82	0,5

Продолжение таблицы 1

Вентилятор приточный	20	1	0,35	0,8
Одношпиндельный автомат	3,2	2	0,49	0,65
Токарный станок	9	1	0,45	0,65
Широкоуниверсальный фрезерный станок	2,6	1	0,35	0,65
Полуавтомат фрезерный	5	1	0,37	0,5
Долбежный станок	2,8	2	0,67	0,5

Мощность электроприемников варьируется в диапазоне от 2,6 до 120 кВт. Имеются устройства, работающие в различных режимах: в повторно – кратковременном (кран-балка) и длительном (металлообрабатывающие оборудование). Электроприемники в цехе работают, как на трехфазном напряжении 380 В, так и на однофазном 220 В частотой 50 Гц.

Для подсчёта параметров выбирается метод коэффициента максимума, так как наличие всех исходных данных по каждому из цехов и достаточное, для произведения точного расчёта, количества информации - позволяют выбрать именно его.

Для распределения всех групп электроприемников находящихся в цехе, необходимо провести сортировку оборудования на подгруппы по распределительным пунктам. В каждую подгруппу включаются устройства, у которых коэффициент мощности $\cos\phi$ и коэффициент использования $K_{и}$ - едины. Также учитывается, что все однофазные электроприемники, которые подключены на фазные и междуфазные напряжения - распределены по фазам с неравномерность, не более 15 %.

Номинальная мощность электроприемников принимается равной:

- двигатели с продолжительным режимом работы, согласно формуле 1:

$$P_{ном} = P_{пасп}. \quad (1)$$

- двигатели с повторно-кратковременным режимом работы, согласно формуле 2:

$$P_{\text{НОМ}} = n \cdot P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}} \cdot \quad (2)$$

- сварочное оборудование, согласно формуле 3:

$$P_{\text{НОМ}} = S_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}} \cdot \cos\varphi. \quad (3)$$

В свою очередь общая суммарная мощность всей подгруппы рассчитывается по заданной ниже формуле 4:

$$P_p = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}.i}, \quad (4)$$

где $P_{\text{НОМ}.i}$ - номинальная мощность отдельного электроприемника, кВт.

В учёт суммарной номинальной мощности $P_{\text{НОМ}.i}$ включаются только мощности рабочих механизмов, при условии продолжительности включения $\text{ПВ}=100\%$. Мощности резервных электроприемников не учитываются.

Коэффициент модульной сборки m определяем по формуле 5:

$$m = \frac{P_{\text{НОМ}.max}}{P_{\text{НОМ}.min}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{НОМ}.min}$ и $P_{\text{НОМ}.max}$ - минимальная и максимальная мощности соответственно, из ряда исходных номинальных мощностей электроприемников, подключенных к определенному участку, кВт.

Усредненные нагрузки для каждой подгруппы электроприемников в максимально загруженные смены, ведется по формуле 6 и 7 соответственно:

$$P_{\text{СМ}} = K_{\text{и}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}}, \quad (6)$$

$$Q_{\text{СМ}} = P_{\text{СМ}} \cdot tg\varphi. \quad (7)$$

где $P_{см}$ - активная нагрузка за смену, кВт;

$K_{и}$ - коэффициент использования активной мощности;

$Q_{см}$ - реактивная нагрузка за смену, кВАр.

Для нахождения значений реактивных и активных составляющих, а также для определения средневзвешенных значений коэффициента использования и коэффициента мощности - произведем суммирование соответствующих мощностей каждой подгруппы электроприемников $\sum P_{ср.мах.j}$ и $\sum Q_{ср.мах.j}$, согласно формуле 8 и 9 соответственно:

$$K_{и} = \frac{\sum P_{ср.мах.j}}{\sum P_{ном}}, \quad (8)$$

$$tg\varphi = \frac{\sum Q_{ср.мах.j}}{\sum P_{ср.мах.o}}. \quad (9)$$

Для нахождения значения коэффициента максимума, необходимо дополнительно произвести расчёт приведенного числа электроприемников. Расчёт количества электроприемников ведется по формуле 10:

$$n_{прив} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ном.i})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}^2}. \quad (10)$$

Если $K_{и} \geq 0,2$ и $m = P_{ном.мах}/P_{ном.мин} > 3$, то приведенное число электроприемников возможно произвести по формуле 11:

$$n_{прив} = \frac{2 \cdot P_{ном}}{P_{мах}}. \quad (11)$$

По величине средневзвешенного коэффициента использования $K_{и}$ и приведенного числа электроприемников $n_{прив}$ находим значения коэффициента максимума K_{max} .

Дальнейшие значения максимальных расчётных нагрузок определяем по коэффициенту максимума, исходя из выражений:

Активной нагрузки, согласно формуле 12:

$$P_p = K_{max} \cdot P_{ср.мах} \cdot \quad (12)$$

Реактивной нагрузки, согласно формуле 13:

$$Q_p = K'_{мах} \cdot Q_{ср.мах} \cdot \quad (13)$$

Полной нагрузки, согласно формуле 14:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \cdot \quad (14)$$

И тока, согласно формуле 15:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \cdot \quad (15)$$

На основании данных формул производится расчёт мощности ремонтно-механического цеха, уже с учётом увеличения производимой продукции, зная при этом номинальные мощности каждого из электроприемников. Аналогичный расчёт мощности, произведенный на примере ремонтно-механического цеха, производится и для остальных цехов и зданий. В свою очередь, все полученные значения, по всем электроприемникам рассчитываемого ремонтно-механического цеха сведены

в таблицу 2.

Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия подразумевает расчёт мощности освещения. А также, для того чтобы обеспечить безопасность технических процессов, увеличить работоспособность персонала и производительность в целом, на основании стандартного положения об освещении – «Свод правил СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95» [10], приводятся данные по освещенности ремонтно-механического цеха. Расчёт нагрузки на систему освещения по каждому цеху ведётся по укрупнённым показателям. Данные сведены в таблицу 2.

Также на основании документа – «СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [11] приводятся данные по отоплению и вентиляции производственных цехов и зданий. К установке выбирается приточная и вытяжная вентиляция, обеспечивающая в равной степени безопасность труда персонала, и очищает воздух от примесей, возникающих в процессе производства. Расчёт нагрузки на систему вентиляции и отопления по каждому цеху ведётся по укрупнённым показателям. Эти данные также приведены в таблице 2.

Вывод: на основании расчётов итоговые данные по мощности цеха составили 148,6 кВт.

Таблица 2 – Расчет нагрузок ремонтно-механического цеха

Наименование и номер электроприемника	Установленная нагрузка						Среднесменная нагрузка		Расчётная нагрузка					
	$P_{н}$, кВт	n	$P_{н\Sigma}$, кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$n_{э}$	$K_{м}$	$P_{р}$, кВт	$Q_{р}$, квар	$S_{р}$, кВА	$I_{р}$, А
Вертикально-сверлильный станок	20	3	60	0,17	0,5	1,73	10,2	17,6	-	-	-	-	-	-
Универсально-фрезерный станок	7,6	2	15,2	0,36	0,65	1,17	5,5	6,4	-	-	-	-	-	-
Универсальный заточный станок	3,25	2	6,5	0,52	0,65	1,17	3,4	4	-	-	-	-	-	-
Пресс листогибочный	23,2	2	46,4	0,42	0,5	1,73	19,5	33,7	-	-	-	-	-	-
Радиально-сверлильный станок	6,9	1	6,9	0,73	0,5	1,73	5	8,7	-	-	-	-	-	-
Плоскошлифовальный станок	3,25	2	6,5	0,16	0,65	1,17	1	1,2	-	-	-	-	-	-
Приводные ножницы	5,6	2	11,2	0,62	0,8	0,75	6,9	5,2	-	-	-	-	-	-
Кран-балка	27	1	27	0,35	0,5	1,73	9,5	16,4	-	-	-	-	-	-
Автомат для дуговой сварки	120	1	120	0,25	0,65	1,17	30	35,1	-	-	-	-	-	-
Строгальный станок	14	2	28	0,52	0,65	1,17	14,6	17,1	-	-	-	-	-	-
Настольный сверлильный станок	1,2	2	2,4	0,17	0,5	1,73	0,4	0,7	-	-	-	-	-	-
Точильный станок двусторонний	3,5	2	7	0,82	0,5	1,73	5,7	9,9	-	-	-	-	-	-
Вентилятор приточный	20	1	20	0,17	0,8	0,75	3,4	2,6	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Одношпиндельный автомат	3,2	2	6,4	0,17	0,65	1,17	1,1	1,3	-	-	-	-	-	-
Токарный станок	9	1	9	0,16	0,65	1,17	1,4	1,6	-	-	-	-	-	-
Широкоуниверсальный фрезерный станок	2,6	1	2,6	0,35	0,65	1,17	0,9	1,1	-	-	-	-	-	-
Полуавтомат фрезерный	5	1	5	0,37	0,5	1,73	1,9	3,3	-	-	-	-	-	-
Долбежный станок	2,8	2	5,6	0,18	0,5	1,73	1	1,7	-	-	-	-	-	-
Итого по освещению	-	-	3,7	1	0,95	0,33	3,7	1,2	-	1	3,7	1,2	3,9	5,6
Итого по отоплению	-	-	9,5	1	0,82	0,7	9,5	7,1	-	1	9,5	7,1	11,9	17,1
Итого по цеху	-	-	343,2	0,36	0,63	1,23	132	166,3	30	1,14	148,6	188,4	240	324,1

2.2 Расчёт электрических нагрузок всего предприятия

Для определения электрических нагрузок всего предприятия, производится аналогичный расчёт для каждого из сооружений и зданий, расположенных на территории завода. Расчёт освещения и отопления уже учтены в расчётах каждого из цехов. Пример расчёта нагрузок приведен выше, в пункте 2.2.

Для каждого из цехов, согласно «ПУЭ-7 п.1.2.17-1.2.21 Категории электроприемников и обеспечение надежности электроснабжения» [12], выбирается категория надежности, исходя из протекающих технологических процессов, максимальной эффективности и бесперебойности работы. Соблюдение всех правил проектирования электрических схем и выше перечисленные действия, позволяют создать схему с улучшенными параметрами оперативности. Наибольшая приспособленность и гибкость схемы к эксплуатационным режимам будет достигнута увеличением количества коммутационной аппаратуры, для проведения оперативных переключений в системе.

В конечном итоге, ведется расчёт активной и реактивной мощности за среднесменную нагрузку, подсчитывается расчётные мощности и ток при данных нагрузках. Расчёт по нагрузке 0,4 кВ, всего предприятия, сведен в таблицу 3.

Для подведения итогов и полноценного расчёта данных вводится коэффициент одновременности участия. Согласно данной документации – «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий СП 31-110-2003» [13], расчёт ведется по укрупненному показателю. Итоги сведены в таблицу 3.

Вывод: на основании расчётов итоговые данные по мощности всего предприятия составили 2034,6 кВт.

Таблица 3 – Расчёт электрических нагрузок всех цехов предприятия

Наименование цеха	Категория	Кол-во вводов ВРУ	Результаты расчета пункта 2.1						Расчётная нагрузка				
			$P_{уст}, кВт$	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{см}, кВт$	$Q_{см}, квар$	K_{max}	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Арматурный цех	2	1	169,8	0,49	0,78	0,8	83,2	66,6	1,12	93,2	74,6	119,4	172,5
		2	216,2	0,51	0,79	0,78	110,2	86	1,17	128,9	100,6	163,5	235,5
Гараж спец. транспорта	3	1	5	0,75	0,83	0,67	3,8	2,5	1,2	4,6	3	5,5	8,5
РМЦ	2	1	157,9	0,35	0,63	1,23	55,3	68	1,22	67,5	83	107	124,9
		2	185,3	0,35	0,63	1,23	64,9	79,8	1,14	74	91	117,3	135,2
Полигон №1	3	1	63	0,2	0,64	1,20	12,6	15,1	1,39	17,5	21	27,3	32,4
Полигон №2	3	1	23	0,3	0,62	1,27	6,9	8,8	1,42	9,8	12,5	15,9	18,1
Полигон №3	3	1	22	0,3	0,60	1,33	6,6	8,8	1,60	10,6	14,1	17,6	19,6
Полигон №4	3	1	24	0,4	0,60	1,33	9,6	12,8	1,55	14,9	19,8	24,8	27,6
Компрессорная	2	1	170,2	0,7	0,8	0,75	119,1	89,3	1,05	125,1	93,8	156,4	231,5
		2	199,8	0,7	0,8	0,75	139,9	104,9	1,09	152,5	114,3	190,6	278,6
Цех по изготовлению ж/б изделий	2	1	193,2	0,7	0,8	0,75	135,2	101,4	1,36	183,9	137,9	229,9	340,3
		2	226,8	0,7	0,8	0,75	158,8	119,1	1,24	196,9	147,7	246,1	359,7
Склад заполнителей	3	1	17	0,2	0,6	1,33	3,4	4,5	1,66	5,6	7,5	9,4	10,4
Материальный склад	3	1	22	0,8	0,8	0,75	17,6	13,2	1,72	30,3	22,7	37,9	56,1
Гараж	3	1	9	0,75	0,8	0,75	6,8	5,1	1,46	9,9	7,4	12,4	18,3
Опалубочный цех	2	1	50,4	0,7	0,8	0,75	35,3	26,5	1,12	39,5	29,7	49,4	73,1
		2	54,6	0,7	0,8	0,75	38,2	28,7	1,18	45,1	33,9	56,4	82,4
Диспетчерская	3	1	7	0,3	0,6	1,33	2,1	2,8	1,53	3,2	4,3	5,4	5,9
Мастерская технического контроля	3	1	65	0,75	0,8	0,75	48,8	36,6	1,39	67,8	50,9	84,8	125,5
Отдел технического контроля	3	1	80	0,5	0,9	0,48	40	19,2	1,12	44,8	21,5	49,7	82,9

Продолжение таблицы 3

Котельная	1	1	21,5	0,6	0,75	0,88	12,9	11,4	1,42	18,3	16,2	24,4	33,9
		2	28,5	0,6	0,75	0,88	17,1	15	1,35	23,1	20,3	30,8	42,2
Слесарная	2	1	75	0,6	0,8	0,75	45	33,8	1,27	57,2	42,9	71,5	105,8
Бытовка	3	1	42	0,7	0,8	0,75	29,4	22,1	1,45	42,6	32	53,3	78,8
Электроцех	2	1	198	0,4	0,64	1,2	79,2	95	1,18	93,5	112,1	146	173
Бетоносмесительный цех	1	1	121,4	0,7	0,7	1,02	85	86,7	1,46	124,1	126,6	177,3	229,6
		2	154,6	0,7	0,7	1,02	108,2	110,4	1,55	167,7	171,1	239,6	306,4
Склад цемента	3	1	8	0,2	0,6	1,33	1,6	2,1	1,63	2,6	3,4	4,3	4,8
Административно-бытовой корпус	3	1	21,9	0,4	0,93	0,4	8,8	3,5	1,45	12,8	5,1	13,8	23,7
		2	29,1	0,4	0,93	0,4	11,6	4,6	1,37	15,9	6,3	17,1	29,1
Деревообрабатывающий цех	2	1	49,6	0,71	0,6	1,33	35,2	46,8	1,55	54,6	72,5	90,8	101
		2	68,4	0,71	0,6	1,33	48,6	64,6	1,36	66,1	87,9	110	120,8
Лаборатория	3	1	21	0,35	0,8	0,75	7,4	5,6	1,7	12,6	9,5	15,8	23,3
Главный корпус	3	1	21,2	0,5	0,7	1,02	10,6	10,8	1,29	13,7	13,9	19,5	25,4
		2	23,9	0,5	0,7	1,02	11,9	12,1	1,22	14,5	14,8	20,7	26,5

27

Продолжение таблицы 3

Итого по заводу	$P_{уст}, \text{кВт}$	$K_{и}$	$\cos\varphi(\text{ср})$	$\text{tg}\varphi(\text{ср})$	$P_{см}, \text{кВт}$	$Q_{см}, \text{квар}$	K_{max}	K_o	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
		2827,2	0,53	0,73	0,94	1601,8	1417	1,07	0,47	2034,6	1817,5

3 Расчёт компенсации реактивной мощности и выбор компенсирующих установок

В связи с наличием на предприятии электрооборудования, которое потребляет реактивную мощность, возникает ряд существенных проблем: снижение передаваемой активной мощности, ухудшение качества электроэнергии передаваемой по линиям к электрооборудованию, а также шансы перегрузки силового оборудования и трансформаторов.

Также опираясь на документ – «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии» [8], значение $\text{tg}\phi$ должно быть не ниже 0,43. В ходе расчёта нагрузок предприятия получены данные по значению $\cos\phi$ и $\text{tg}\phi$. Произведена сравнительная оценка с данными из нормативного документа, из чего сделан вывод о не соответствии расчётных данных и допустимых.

По выше описанным причинам и опираясь на документацию – «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (п. 6.3.16)» [9], для того, чтобы грамотно произвести выбор силовых трансформаторов и силового оборудования в целом, необходимо произвести выбор компенсационных установок реактивной мощности.

Перед расчётом номинальных значений и выбором установок компенсации реактивной мощности, произведен анализ генерального плана предприятия, а также однолинейной схемы системы питания завода. На основании этой информации, решено производить компенсацию реактивной мощности для каждого фидера на шинах ВРУ 0,4 кВ, для полноценной оптимизации технологического процесса и улучшения качества подаваемой электроэнергии.

А также на шинах ВРУ и шинах 0,4 кВ предусмотрены резервные выключатели для подключения дополнительного оборудования.

Мощность компенсирующего устройства на шинах ВРУ производится по ниже описанной формуле 16:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{к.р}), \quad (16)$$

где $Q_{к.р}$ - расчетная мощность КУ, квар;

α - коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$ естественным способом, принимается $\alpha = 0,9$;

P_p - расчетная активная мощность цеха, кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_{к.р}$ - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Аналогично основываясь на документы [8] и [9] соответственно, компенсация реактивной мощности производится до достижения значений $\cos\varphi = 0,92 \dots 0,95$.

По завершению нахождения мощности компенсирующего устройства производится пересчёт полной мощности для каждого фидера, уже с учётом компенсации. Расчёт ведется по формуле 17:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2}. \quad (17)$$

Данные по подсчёту сведены в таблицу 4.

На основании расчёта, выбраны следующие установки:

- Конденсаторная установка УКРМ «Alpimatic Legrand» 25 кВАр;
- Конденсаторная установка УКРМ «ABB» APCL03 50-100 кВАр.

Выбор сделан в пользу торговой электротехнической компании «Энергозапад» [14], так как она имеет широкий выбор различного оборудования, сертификатов качества, а также расширенного пакета гарантии на всё электрооборудование сроком до пяти лет. Данная компания

предлагает полный спектр решений для организации электрической инфраструктуры промышленных объектов различных направленностей. Выбор же оборудования сделан на основании ниже описанных качеств:

Компенсирующие установки выбраны Швейцарского и Французского производства. Все установки выполнены со ступенчатым регулированием мощности, модульной конструкции и с воздушным охлаждением. Установки мощностью 50-100 кВАр выполнены по технологии АВВ – с конструкцией, в основе которой лежит «сухой» конденсатор. Каждая установка имеет как ручное, так и автоматическое регулирование. Рабочая температура изделия от минус 5 °С до плюс 40 °С. Степень защиты – IP31.

Оборудование данного производителя позволит снизить почти к минимуму потери электроэнергии на предприятии, повысить работоспособность и эффективность, а также обезопасить от выхода из строя электрооборудования.

Вывод: на основании полученных данных, можно говорить об увеличении значений $\cos\phi$ и $\text{tg}\phi$. Полученные расчётные параметры соответствуют допустимым.

Таблица 4 – Расчёт компенсации реактивной мощности

Наименование фидера	До компенсации					Компенсация		После компенсации				
	P_p , кВт	Q_p , квар	$\cos\varphi$	S_p , кВА	I_p , А	$Q'_{ку}$, квар	Тип	P_p , кВт	Q_p , квар	$\cos\varphi$	S_p , кВА	I_p , А
102П-ф.1	102,5	84,9	0,77	133,1	189,7	50	УКРМ APCL03	102,5	34,9	0,95	108,3	50,4
102П-ф.2	137,5	110,7	0,78	176,5	251,2	50	УКРМ APCL03	137,5	60,7	0,91	150,3	87,6
102П-ф.3	67,5	83	0,63	107	124,9	50	УКРМ APCL03	67,5	58	0,90	75,1	47,6
102П-ф.4	74	91	0,63	117,3	135,2	50	УКРМ APCL03	74	41	0,87	84,6	59,2
3П-ф.3	61	50,5	0,77	79,2	112,9	25	УКРМ Alpimatic Legrand	61	25,5	0,92	66,1	36,8
101П-ф.1	125,1	93,8	0,71	156,4	231,5	50	УКРМ APCL03	125,1	43,8	0,94	132,5	63,2
101П-ф.2	152,5	114,3	0,71	190,6	278,6	50	УКРМ APCL03	152,5	64,3	0,92	165,5	92,8
101П-ф.3	194,5	152	0,79	246,8	359,9	50	УКРМ APCL03	194,5	152	0,89	219,6	147,2
101П-ф.4	211,8	167,5	0,78	270	387,3	75	УКРМ APCL03	211,8	167,5	0,92	231,1	133,5
102П-ф.5	39,5	29,7	0,80	49,4	73,1	0	-	39,5	29,7	0,80	49,4	73,1
3П-ф.2	45,1	33,9	0,80	56,4	82,4	0	-	45,1	33,9	0,80	56,4	82,4
102П-ф.7	104,4	77,9	0,80	130,3	192,6	25	УКРМ Alpimatic Legrand	104,4	52,9	0,89	117	76,4

Продолжение таблицы 4

102П-ф.8	120,8	145,6	0,64	189,2	223,5	75	УКРМ АРСL03	120,8	70,6	0,86	139,9	101,9
101П-ф.5	124,1	126,6	0,70	177,3	229,6	75	УКРМ АРСL03	124,1	51,6	0,92	134,4	74,5
101П-ф.8	167,7	171,1	0,70	239,6	306,4	100	УКРМ АРСL03	167,6	71,1	0,92	182,1	102,6
102П-ф.9	67,4	77,6	0,66	102,8	124,7	50	УКРМ АРСL03	67,4	27,6	0,93	72,8	39,8
102П-ф.10	82	94,2	0,66	124,9	149,9	50	УКРМ АРСL03	82	44,2	0,88	93,2	63,8
101П-ф.6	89,3	71,4	0,78	114,3	165,3	25	УКРМ Alpimatic Legrand	89,3	46,4	0,89	100,6	67
101П-ф.7	67,9	41,8	0,85	79,7	125,1	25	УКРМ Alpimatic Legrand	67,9	16,8	0,97	69,9	24,2

4 Выбор силовых трансформаторов

4.1 Перераспределение расчётной мощности на трансформаторах

В связи с увеличением производственных мощностей, возрастанием нагрузки на систему электропитания предприятия и на основании приведенных выше расчётов необходимо произвести расчёт и выбор нового силового оборудования и силовых трансформаторов.

Проанализировав составленный генеральный план предприятия, территориальные возможности завода для установки оборудования, принято решение установить новые трансформаторы вне цехов, как реализовано на данный момент. Климатические условия обычные, работа оборудования специальных условий не требует.

На основании выбранных категорий надёжности для каждого цеха и здания завода, соблюдаются коэффициенты загрузки для трансформаторов каждой из приведенных подстанций. На предприятии будут установлены две подстанции с двумя трансформаторами, так как данные ТП питают потребителей, в основном, I и II категории. И одно трансформаторная подстанция, питающая потребителей III категории.

На основании всего выше изложенного производится перераспределение нагрузок по трансформаторным подстанциям. Полученные данные для каждого фидера, итоги по нагрузкам на каждую шину ВРУ 0,4 кВ и суммарные данные для каждой из подстанции сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Перераспределение мощности по трансформаторным подстанциям предприятия

Название фидера	Полученные данные					
	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$\cos\varphi$	S_p , кВА	I_p , А	K_3
102П-ф.1	102,5	34,9	0,95	108,3	50,4	-
102П-ф.2	137,5	60,7	0,91	150,3	87,6	-
102П-ф.3	67,5	58	0,90	75,1	47,6	-
102П-ф.4	74	41	0,87	84,6	59,2	-
102П-ф.5	39,5	29,7	0,80	49,4	73,1	-
102П-ф.7	104,4	52,9	0,89	117	76,4	-
102П-ф.8	120,8	70,6	0,86	139,9	101,9	-
102П-ф.9	67,4	27,6	0,93	72,8	39,8	-
102П-ф.10	82	44,2	0,88	93,2	63,8	-
Итого нагрузки по СШ. I 0,4 кВ (Т-1)	397,7	195,8	0,9	443,3	639,8	0,70
Итого нагрузки по СШ. II 0,4 кВ (Т-2)	397,9	198,8	0,89	444,8	642	0,71
Итого нагрузки на подстанции ТП-102	795,6	394,6	0,9	888,1	1281,8	-
101П-ф.1	43,8	63,2 0,94	0,94	132,5	43,8	-
101П-ф.2	64,3	92,8 0,92	0,92	165,5	64,3	-
101П-ф.3	152	102	0,93	219,6	147,2	-
101П-ф.4	167,5	92,5	0,90	231,1	133,5	-
101П-ф.5	124,1	51,6	0,92	134,4	74,5	-
101П-ф.6	89,3	46,4	0,89	100,6	67	-
101П-ф.7	67,9	16,8	0,97	69,9	24,2	-
101П-ф.8	167,6	71,1	0,92	182,1	102,6	-
Итого нагрузки по СШ. I 0,4 кВ (Т-1)	533	243,8	0,91	586,1	846	0,59
Итого нагрузки по СШ. II 0,4 кВ (Т-2)	599,9	244,7	0,93	647,9	935,2	0,65
Итого нагрузки на подстанции ТП-101	1132,9	488,5	0,92	1233,7	1781,2	-
3П-ф.2	45,1	33,9	0,80	56,4	82,4	-

Продолжение таблицы 5

ЗП-ф.3	61	25,5	0,92	66,1	36,8	-
Итого нагрузки на подстанции ТП-3	106,1	59,4	0,87	121,6	175,5	-

Также на основании правил устройства электрооборудования и актуального документа «НТП ЭПП-94» [15] перегрузка одного трансформатора не может превышать значения – 140% в режиме перегрузки. В связи с этим коэффициент загрузки для двух трансформаторной подстанции не может превышать значения - 0,7, а для подстанции с одним трансформатором – 0,95.

Вывод: на основании расчётов нагрузок всего предприятия произведено перераспределение мощности по трансформаторным подстанциям с учётом всех нормативных документов.

4.2 Расчёт мощности трансформаторов и их выбор

Основываясь на данные, полученные в пункте 4.1. ведется расчёт и выбор параметров новых трансформаторов.

Для начала определяется суммарная активная мощность каждого трансформатора, согласно формуле 18:

$$P_{\text{ТП}} = \sum_i^n P_{\text{Ф}}, \quad (18)$$

где $P_{\text{ТП}}$ – суммарная активная мощность на подстанции, кВт;

$P_{\text{Ф}}$ – активная мощность для каждого из фидеров, кВт.

После определяется суммарная реактивная мощность каждого трансформатора, согласно формуле 19:

$$Q_{\text{ТП}} = \sum_i^n Q_{\text{Ф}}, \quad (19)$$

где $Q_{\text{ТП}}$ – суммарная реактивная мощность на подстанции, кВАр;

$Q_{\text{Ф}}$ – реактивная мощность для каждого из фидеров, кВАр.

На основании формул 18 и 19 производится расчёт для полной мощности всей подстанции, согласно формуле 20:

$$S_{\text{ТП}} = \sqrt{P_{\text{ТП}}^2 + Q_{\text{ТП}}^2}. \quad (20)$$

После завершения расчёта мощностей, ведется расчёт номинального значения каждого трансформатора в отдельности, согласно формуле 21:

$$S_{\text{ТР}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{n_{\text{ТР}} * K_3}, \quad (21)$$

где $S_{\text{ТР}}$ – рекомендуемое номинальное значение мощности трансформатора, кВА;

$n_{\text{тр}}$ – количество трансформаторов установленных на подстанции, данные основаны на расчёты предыдущих пунктов;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора, выбирается согласно документации приведенной в пункте 4.1, а также на основании ГОСТ 14209-85 [16].

После расчётов необходимо произвести проверку правильности выбора оборудования, согласно формуле 22. Необходимо сравнить паспортную мощность выбранного трансформатора с расчётной полной мощностью:

$$S_{\text{тр.пасп}} \geq S_{\text{тр}}, \quad (22)$$

где $S_{\text{тр.пасп}}$ – мощность трансформатора, выбранного на основании расчётов, согласно паспортным данным завода-изготовителя.

На основании всех выше описанных формул и соблюдении всех условий получены следующие параметры оборудования:

- ТП101 – Полная мощность на подстанции 1233,7 кВА, устанавливается два трансформатора мощностью 1000 кВА каждый;
- ТП102 – Полная мощность подстанции 888,1 кВА, устанавливается два трансформатора мощностью 630 кВА каждый;
- ТП3 – Полная мощность подстанции 121,6 кВА, устанавливается один трансформатор мощностью 160 кВА.

В связи с тем, что климатические условия обычные и оборудования не требует специальных условий, на предприятии решено устанавливать трансформаторы типа - ТМГ, с воздушным и масляным охлаждением, герметичного исполнения. Герметичный гофрированный бак не даст трансформаторному маслу входить в контакт с воздухом и окисляться. Такой

тип трансформатора позволяет не проводить сложных технических мероприятий по профилактическим ревизиям.

Так как, габариты и масса трансформаторов довольно большие, то поставлять оборудование из других стран или городов довольно дорого и проблематично. Проанализировав рынок продаж силового оборудования промышленного значения, найден самый ближайший и предпочтительный поставщик - Промышленный комплекс ООО «Тольяттинской - Трансформатор» [17], который производит трансформаторы различных типов и конфигураций.

Для установки более современного оборудования и экономии на доставке решено произвести выбор изделия именно у этой компании. Тем более, на данном современном предприятии используются зарубежные материалы и конструкции, испытания которых производятся в авторитетной Чешской компании – «КЕМА».

Для установки на подстанцию ТП101 выбран трансформатор следующего типа: ТМГ-1000/10(6)-У1, стандарт организации на изделие - СТО 15352615-004-2008;

Для установки на подстанцию ТП102 выбран трансформатор следующего типа: ТМГ-630/10(6)-У1, стандарт организации на изделие - СТО 15352615-004-2008;

Для установки на подстанцию ТП3 выбран трансформатор следующего типа: ТМГ-160/10(6)-У1, стандарт организации на изделие - СТО 15352615-004-2008;

Паспортные данные выбранных трансформаторов приведены в таблице 6.

Вывод: произведен выбор новых силовых трансформаторов подходящих под современные параметры загруженности предприятия.

Таблица 6 – Паспортные данные и параметры выбранных трансформаторов

Тип трансформатора и стандарт организации на изделие	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема соединений обмоток	Напряжение КЗ, %	Ток Х.Х, %	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	
		ВН	НН					Масла	Полная
ТМГ-160/10(6)-У1 СТО 15352615-004-2008	160	6,0; 6,3;	0,23;	D/Y _H -11; Y/Y _H -0; Y _H /D-11; Y/Z _H -11; D/D-0; Y/D-11	4,5; 4,5; 4,7	1,10; 1,10; 2,00;	1000x650x1270	185	770
ТМГ-630/10(6)-У1 СТО 15352615-004-2008	630	10,0; 10,5; 11,0;	0,4; 0,42; 0,69;		5,5	0,30	1450x1020x1470	360	1760
ТМГ-1000/10(6)-У1 СТО 15352615-004-2008	1000	11,5	3,15; 6,0; 6,3		5,5	2,1	1660x1100x1680	560	2700

5 Расчёт токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения

При проектировании данной системы электроснабжения, для предотвращения и избежание различных аварийных ситуаций, и поломок автоматики и оборудования на предприятии - необходимо выполнить расчёт токов коротких замыканий. А также подсчёт необходим для верного выбора аппаратов защиты, кабелей и заземляющих устройств в дальнейшем.

Для полноценного расчёта, выполняется ряд задач по выполнению поставленной цели. Расчёт производится на примере трансформаторной подстанции ТП-102 исходного предприятия. На рисунке 7 представлена расчётная схема ТП-102.

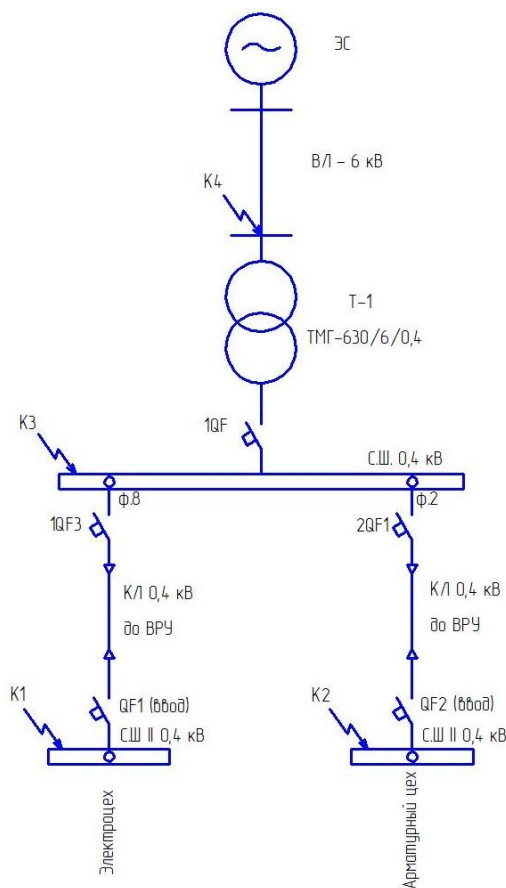


Рисунок 7 – Расчётная схема ТП-102 для расчёта токов КЗ

По однолинейной схеме составляется расчётная схема ТП, которая включает: энергосистему, воздушную линию 6 кВ, кабельную линию 0,4 кВ, силовой трансформатор, шины ВРУ и коммутационные аппараты.

Аналогично составляются схемы для каждой ТП предприятия. Для каждой подстанции определяется самый мощный и самый удалённый потребители. Для каждой расчётной схемы выбираются точки коротких замыканий (КЗ), в частности на ступенях распределения и на конечных шинах ВРУ.

Для схемы, представленной на рисунке 7 выбраны следующие точки КЗ для расчёта: точка К1 – шины ВРУ наиболее удаленного потребителя (электроцех), точка К2 – шины ВРУ наиболее мощного потребителя (арматурный цех), точка К3 – шины 0,4 кВ подстанции и точка К4 – ввод 6 кВ подстанции, перед трансформатором. Токи КЗ определяются в данных точках и заносятся в сводную ведомость.

По расчётной схеме составляется схема замещения, представляющая собой один из видов расчётной схемы, элементы которой заменены на сопротивления. Схема замещения для ТП-102 представлена на рисунке 8.

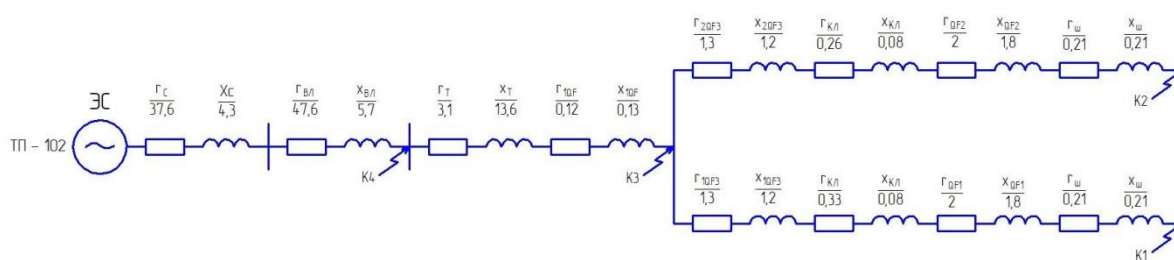


Рисунок 8 – Схема замещения ТП-102

По составленной схеме замещения производится расчёт токов КЗ. Методика расчёта ведется по материалам данного учебного пособия – «Расчёт и проектирование схем электроснабжения В.П. Шеховцов» [18], а

также с помощью учебного материала – «Расчёт токов короткого замыкания в электрических сетях А.Д. Эрнст» [19].

Исходные данные для полноценного расчёта сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчёта токов КЗ

Исходные данные												
Линия 6 кВ					Линия 0,4 кВ					Трансформатор 630 кВА		
U _с , кВ	U _{вн} , кВ	L _{вн} , км	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	L _{кЛ1} , м	L _{кЛ2} , м	U _{нн} , кВ	r ₀	x ₀ , Ом/км	R _т , мОм	X _т , мОм	Z _т , мОм
6	6	3,2	0,4	3,33	427	223	0,4	0,33	0,08	3,1	13,6	14

По формуле 23 находится ток системы:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_c}. \quad (23)$$

Находятся активные и индуктивные сопротивления для воздушной линии 6 кВ, по формуле 24 и 25 соответственно:

$$x_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$X'_c = x_0 \cdot L_c, \quad (24)$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 10} = 3,33 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$R'_c = r_0 \cdot L_c. \quad (25)$$

Сопротивления приводятся к стороне низкого напряжения по формулам 26 и 27 соответственно:

$$R_c = R'_c \cdot \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2, \quad (26)$$

$$X_c = X'_c \cdot \left(\frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}}\right)^2. \quad (27)$$

Для автоматических выключателей защиты приняты следующие стандартные значения, на основании методического пособия:

Для 1QF:

$$R_{1QF} = 0,12 \text{ мОм}; x_{1QF} = 0,13 \text{ мОм}; R_{n1QF} = 0,25 \text{ мОм};$$

Для 1QF3 и 2QF1:

$$R_{1QF3} = 1,3 \text{ мОм}; x_{1QF3} = 1,2 \text{ мОм}; R_{n1QF3} = 0,75 \text{ мОм};$$

$$R_{2QF1} = 1,3 \text{ мОм}; x_{2QF1} = 1,2 \text{ мОм}; R_{n2QF1} = 0,75 \text{ мОм};$$

Для QF1 и QF2:

$$R_{QF1} = 2 \text{ мОм}; x_{QF1} = 1,8 \text{ мОм}; R_{nQF1} = 0,90 \text{ мОм};$$

$$R_{QF2} = 2 \text{ мОм}; x_{QF2} = 1,8 \text{ мОм}; R_{nQF2} = 0,90 \text{ мОм};$$

Находятся сопротивления для двух кабельных линий 0,4 кВ по формуле 28 и 29 соответственно. Жила кабеля выполнена из алюминия. Для электроцеха кабельная линия 1, для арматурного цеха кабельная линия 2.

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot L_{\text{кл}}, \quad (28)$$

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot L_{\text{кл}}. \quad (29)$$

Для расчёта сопротивлений шинпровода, выбран ШРА 250. Исходные данные также взяты из методического пособия, длина шинпровода $L_{\text{ш}}=1,25$ (м). Расчёт сопротивления ведётся по формуле 30 и 31 соответственно:

$$r_0 = 0,21 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,21 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$r_{0\text{п}} = 0,42 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_{0\text{п}} = 0,42 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш}, \quad (30)$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш}. \quad (31)$$

Вычисляются эквивалентные сопротивления путём сложения всех полученных ранее сопротивлений на участках между выбранными точками коротких замыканий. Полученные значения наносятся на схему замещения, представленную на рисунке 8. По полученным данным составляется упрощенная схема замещения, представленная на рисунке 9. Расчёт эквивалентных сопротивлений ведется по формулам 32 и 33 соответственно:

$$R_{\text{э}} = \sum R, \quad (32)$$

$$X_{\text{э}} = \sum X. \quad (33)$$

Приводится пример расчёта для второго участка между точками К3 и К4:

$$R_{\text{э}1} = R_{\text{T}} + R_{1\text{QF}} + R_{n1\text{QF}} = 3,1 + 0,12 + 0,25 = 3,47 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э}1} = X_{\text{T}} + X_{1\text{QF}} = 13,6 + 0,13 = 13,73 \text{ мОм}$$

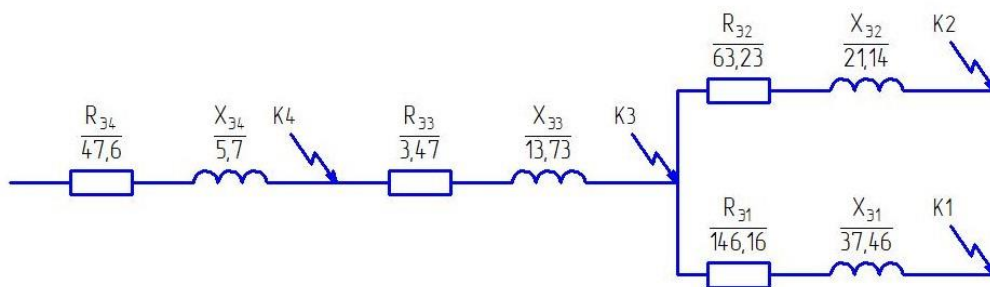


Рисунок 9 – Упрощенная схема замещения ТП-102

Аналогичный расчёт производится и для остальных участков.

Вычисляются полные сопротивления до каждой выбранной точки короткого замыкания и также заносятся в сводную ведомость. Расчёт ведется согласно формуле 34, записанной ниже:

$$Z_{Kn} = \sqrt{R_{Kn}^2 + X_{Kn}^2}. \quad (34)$$

Приводится пример расчёта для точки К4:

$$R_{K4} = R_{Э4} = 47,6 \text{ мОм}; X_{K4} = X_{Э4} = 5,7 \text{ мОм}$$

$$Z_{K4} = \sqrt{R_{K4}^2 + X_{K4}^2} = \sqrt{47,6^2 + 5,7^2} = 47,9 \text{ мОм}$$

Аналогичный расчёт производится и для остальных точек.

Для нахождения ударных токов приняты следующие ударные коэффициенты, согласно методическому пособию и формуле 35:

$$K_1 = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(3,3) = 1,0. \quad (35)$$

Для нахождения оставшихся коэффициентов расчёт ведется аналогично.

Определяются 3-х и 2-х фазные токи коротких замыканий в выбранных точках. Для этого по формуле 36 определяется ток трехфазного короткого замыкания, затем согласно формуле 37 находится ударный ток. После, по формуле 38, находится ток двухфазного короткого замыкания.

$$I_{Kn}^{(3)} = \frac{U_{Kn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kn}}, \quad (36)$$

$$i_{уkn} = \sqrt{2} \cdot K_{yn} \cdot I_{Kn}^{(3)}, \quad (37)$$

$$I_{Kn}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot K_{yn} \cdot I_{Kn}^{(3)}. \quad (38)$$

Все полученные значения сводятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Сводная ведомость токов КЗ для ТП-102

Точка КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к /X _к	K _у	q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _у , кА	I _к ⁽²⁾ , кА
К1	260,46	78,03	271,9	3,3	1,0	1	0,85	1,2	0,74
К2	114,3	40,57	121,3	2,8	1,0	1	1,9	2,69	1,65
К3	51,07	19,43	54,6	2,6	1,0	1	4,23	5,98	3,66
К4	47,6	5,7	47,9	8,4	1,0	1	4,82	6,82	1,65

Аналогичный расчёт производится для ТП-101 и для ТПЗ. Расчеты по двум оставшимся подстанциям сводится в таблицу 9 и 10 соответственно.

Таблица 9 – Сводная ведомость токов КЗ для ТП-101

Точка КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к /X _к	K _у	q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _у , кА	I _к ⁽²⁾ , кА
К1	162,12	49,27	169,4	3,3	1,37	1	1,36	2,63	1,18
К2	87,24	29,09	92	3	1,32	1	2,51	4,69	2,17
К3	63,27	20,03	66,4	3,2	1,33	1	3,48	6,55	3,01
К4	60,9	7,3	61,3	8,3	1,6	1	3,77	8,53	2,17

Таблица 10 – Сводная ведомость токов КЗ для ТПЗ

Точка КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к /X _к	K _у	q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _у , кА	I _к ⁽²⁾ , кА
К1	184,95	81,71	202,2	2,3	1,2	1	1,14	1,93	0,99
К2	62,22	49,93	79,8	1,2	1,04	1	2,89	4,25	2,5
К3	56,97	46,63	73,6	1,2	1,04	1	3,14	4,62	2,72
К4	40	4,8	40,3	8,3	1,6	1	5,73	12,97	3,2

Вывод: произведен расчёт токов трёхфазных и двухфазных коротких замыканий для последующего выбора электрооборудования.

6 Выбор основного электрооборудования исследуемого предприятия

6.1 Выбор типа трансформаторной подстанции

На основании анализа системы электроснабжения предприятия и характеристик, полученных в ходе расчёта параметров нового электрооборудования, проведено сравнение данных до реконструкции и оптимизации, и после. В ходе обработки данных, принято произвести демонтаж и полную реконструкцию трансформаторных подстанции в текущем виде. На данный момент состояние всех подстанции на данном заводе – неудовлетворительное. Общая строительная часть подстанций пришла в непригодное состояние, разрушается материал кровли подстанций. На ТП-102 заметны участки разрушения кирпичной кладки, двери, закрывающие силовое оборудование пришли в негодность, к тому же выполнены из древесины и увеличивает тем самым возникновение пожара на подстанции. На ТП-101 нет никакого защитного сооружения для силовых трансформаторов и коммутационного оборудования. На ТП-3 аналогичная ситуация, как и на ТП-101, помимо этого, на корпусе подстанции заметна прогрессирующая коррозия. Исходя из всего выше написанного, необходимо произвести снос установленных на предприятии трансформаторных подстанций и установить новые и современные подстанции.

Проанализировав рынок и текущие предложения, решено устанавливать блочные комплектные трансформаторные подстанции. Данные сооружения довольно современны, устанавливаются на многие промышленные, а также жилищно-коммунальные и общественные здания. Данный тип подстанции имеет ряд преимуществ по сравнению с подстанциями обычного типа. Все элементы КТП производят на одном предприятии и в виде отдельных ячеек, что упрощает транспортировку и монтаж самого электрооборудования уже на территории самого завода. Потребителю останется лишь всё присоединить. Установка такого типа

подстанции возможна в любом месте на производстве, не занимая много полезного пространства, также есть возможность выбора индивидуального оборудования и исключение некоторых затрат на проектировании. Также такой тип подстанции дешев в обслуживании и при эксплуатации, благодаря своей простоте. На основе всего выше перечисленного, выбор такого типа подстанции позволит повысить качество производства, позволит использовать оборудование ещё большей надежности и производить его быстрый монтаж и демонтаж.

Произведен анализ сортировка рынка на сегодняшний момент. Выбраны два производителя наиболее подходящие под условия, это: «ЭЗОИС Поволжье» и «ПСК Профи». Обе компании давно занимаются производством КТП, крайне положительно зарекомендовали себя на рынке по изготовлению силового электрооборудования. Все оборудование проходит детальные испытания и наладку в строгих заводских условиях. Имеются множества сертификатов качества и гарантий на производство и поставку. Продукция обеих компаний отвечает всем современным нормам и качествам безопасности.

На основе более глубокого анализа по выбору между двумя производителями, принято решение выбрать оборудование у компании – «ЭЗОИС Поволжье» [20]. Такое решение принято в связи с тем, что компания «ЭЗОИС» ведет поставки своей продукции уже с готовым фундаментом и приямком, в отличие от своего конкурента. Также немало важный фактор – место поставки готовой продукции, один из офисов и складских помещений «ЭЗОИС» располагается в городе Самара, а ПСК «Профи» в городе Ярославль. Условия по срокам и стоимости доставки очевидно более выгодные у компании «ЭЗОИС». Параметры оборудования произведенного на данном заводе полностью соответствуют заявленным требованиям. По климатическим условиям, работа изготовления возможна от минус 45 °С до плюс 60 °С, в северном исполнении, что выше, чем у конкурента. Срок службы агрегатов, заявленный производителем выше на 5

лет. Сроки доставки также ниже, есть дополнительная гарантия по монтажным работам. Произведен дополнительно технико-экономический расчёт, стоимость КТП 630/10(6)/0,4 для ТП-102 производства «ЭЗОИС Поволжье», без покупки трансформаторов, составит 219 тысяч рублей, что на 37 тысяч дешевле, чем у «ПСК Профи», в одной и той же комплектации. Степень защиты сооружения – IP23.

На основании всего выше изложенного, принято решение установить на производстве КТП, блочного исполнения, производства «ЭЗОИС Поволжье». Параметры блочной комплектной трансформаторной подстанции 2КТПН-К/К-6/0,4 сведены в таблицу 11.

На подстанции ТПЗ устанавливается: КТПН – К/К – 160/6/0,4. На подстанции ТП - 102 устанавливается: 2КТПН – К/К – 630/6/0,4. На подстанции ТП - 101 устанавливается: 2КТПН – К/К – 1000/6/0,4. Конфигурация БКТП реализована с высоким колпаком и приямком. Внешняя отделка, согласно комплектации – стандартная, без внесения каких либо индивидуальных изменений. Крыша выполнена в двухскатном исполнении, материал из которого выполнена кровля – железобетон.

Таблица 11 – Параметры устанавливаемых подстанций

Общие сведения					
Номер подстанции	Тип объекта	Описание Подстанции	Напряжение на стороне ВН, кВ	Напряжение на стороне НН, кВ	Маркировка проводников
ТП-101	БКТП	2КТПН-К/К-1000/6/0,4	6	0,4	МКС (ЖЗК/АВС)
ТП-102	БКТП	2КТПН-К/К-630/6/0,4	6	0,4	МКС (ЖЗК/АВС)
ТПЗ	БКТП	КТПН-К/К-160/6/0,4	6	0,4	МКС (ЖЗК/АВС)

Оборудование, которое серийно устанавливается на выбранные КТП: распределительное устройство высокого и низкого напряжения, ящик

собственных нужд ЯСН – ВФ и шкаф учета электроэнергии, на котором уже с завода установлены счётчики «Меркурий 230 ART2-00».

Компактное распределительное устройство высокого напряжения выбрано типа RM6 NE-III с элегазовой изоляцией. Довольно компактное и надежное устройство, имеет встроенную релейную защиту и выключатели нагрузки марки «Metasol AN-08D3-08A», которые выполняют отключение трансформаторов мощность до 2000 кВА. Оборудование имеет газонепроницаемую защиту, оболочку из нержавеющей стали и сборные шины со степенью защиты IP67. Также есть защитные кожухи для трех отдельных предохранителей, защищая их от грязи и пыли. Отличные показатели по виброустойчивости и сейсмостойкости. Технические данные сведены в таблицу 12.

Распределительное устройство низкого напряжения выбрано типа ЩО-70. На панелях установлено защитное коммутационное оборудование, измерительные приборы, а также устройство АВР, которое входит в состав РУ-НН. Типы выключателей – автоматические, с моторным приводом. Параметры оборудования сведены аналогично в таблицу 12.

Вывод: произведен полноценный выбор нового типа трансформаторной подстанции. К установке на предприятии решено выбрать продукцию от компании «ЭЗОИС Поволжье».

Таблица 12 – Параметры оборудования устанавливаемого на новых подстанциях КТПН – К/К – 6/0,4

Общие сведения		ТП-101	ТП-102	ТПЗ
		2КТПН-К/К-1000/6/0,4	2КТПН-К/К-630/6/0,4	КТПН-К/К-160/6/0,4
РУ-ВН	Тип ячеек	RM6 NE-IIID1	RM6 NE-IIID1	RM6 NE-IIID1
	Номинальный ток сборных шин, А	630	630	630
	Число секций РУ	2	2	2
	Наличие ячейки измер. ТН	есть	есть	есть
	Наличие ячейки ЗСШ	есть	есть	есть
Силовой трансформатор	Тип	2ТМГ-1000/10(6)-У1	2ТМГ-630/10(6)-У1	ТМГ-160/10(6)-У1
	Тип изоляции	Масляный	Масляный	Масляный
	Мощность, кВА	2/1000	2/630	160
	Гр. соединений	Y/Y0-12(0)	Y/Y0-12(0)	Y/Y0-12(0)
РУ-НН	Тип аппаратов В1(В2)	Авт. выключатель	Авт. выключатель	Авт. выключатель
	Марка выключателя	Metasol AN-16D3-08A M2D2D2BX AC6UOAL	Metasol AN-10D3-08A M2D2D2BX AC6UOAL	Metasol AN-06D3-08A M2D2D2BX AC6UOAL
	Номинальный ток В1(В2), А	1600	1000	400
	Наличие АВР	есть	есть	нет

6.2 Выбор ВРУ устанавливаемых внутри цехов и зданий

Вводно-распределительное устройство необходимо для распределения, а также приема электрической энергии внутри зданий и цехов. ВРУ обеспечивает надежную коммутацию и защиту электрооборудования и освещения.

При выборе данного устройства необходимо руководствоваться следующими положениями: протяженность линии питания должна быть минимальной, а сама питающая трасса должна быть ремонт пригодной и удобной при каждодневной эксплуатации; также необходимо, чтобы были исключены или сведены к минимуму случаи обратного питания электрооборудования; установка ВРУ внутри помещения или цеха не должна мешать производственному процессу, загромождать эвакуационные проходы, а также место установки должно быть как можно более удобным для обслуживания рабочим персоналом. При выборе стоит учитывать степень защищённости оборудования от окружающей среды, количества и тип выключателей, наличие рубильников или групп предохранителей.

На основании всего выше изложенного, требования, предъявляемые к установке нового оборудования следующие: надежные и современные компоненты от востребованных поставщиков, степень защиты не ниже IP31, строгое соблюдение всех нормативных документов и ГОСТов при производстве продукции и при ее монтаже. Также необходимо наличие современной системы защиты с автоматическими выключателями и наличие системы учета электроэнергии.

Для расчёта комплектующих панели необходимо учитывать расчётный ток всей группы электроприемников, который не должен быть больше тока самого вводно-распределительного устройства. Также учитываются ранее рассчитанные токи короткого замыкания и нагрузки по каждому из цехов.

Учитывается номинальное напряжение автоматического выключателя, согласно формуле 39:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст}}, \quad (39)$$

где $U_{\text{ном.уст}}$ - номинальное напряжение уставки.

Номинальные токи автомата $I_{\text{н.а.}}$ и его расцепителей $I_{\text{н.р.}}$ выбирают по максимальному расчетному току кабельной линии, согласно формулам 40 и 41 соответственно:

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_{\text{р}}, \quad (40)$$

$$I_{\text{н.р.}} \geq I_{\text{р}}. \quad (41)$$

После проверяется ток срабатывания расцепителя по максимальному кратковременному току линии, расчёт ведется согласно формуле 42:

$$I_{\text{ор.э}} \geq 1,25. \quad (42)$$

Производится проверка автоматических выключателей на отключающую способность, по предельному сквозному току, на термическую и динамическую стойкость. Аналогично проверку проходит и остальная аппаратура используемых панелей.

Проанализировав текущее состояние рынка и ценовую политику компаний, аналогично пункту 6.1, была выбрана продукция от компании по производству электрощитового оборудования и шкафов управления для различных отраслей производства – «Стандарт – Энерго» [21]. Данная компания, ведущая на рынке, по производству электрооборудования для распределения и управления, шкафов, щитов автоматики и многое другое. Предприятие имеет множество сертификатов проверок, в числе которых такие как «Legrand» и ОАО «Контактор». Продукция производимая данной компанией проходит многочисленные испытания и разработана в

соответствии с требованиями ГОСТ Р 51732 «Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий», также все панели ВРУ соответствуют ТУ 3434-001-95246270-2006.

К установке на проектируемом предприятии выбраны панели ВРУ-4СЭ, ВРУ-1 и ВРУ-3, в зависимости от необходимого типа исполнения и исходя из количества вводов приходящие на цеха и здания. Стандартная комплектация данных панелей оборудована счётчиками электрической энергии, автоматическими выключателями, контакторами, трансформаторами тока. Ошиновка данных ВРУ выдерживает ударные токи до 10 кА, без каких либо повреждения для конструкции, срок службы заявленный производителем составляет – 25 лет.

Согласно произведенным расчётам в предыдущих разделах и пунктах данной работы составляется таблица 13, с выбором ВРУ, для каждого цеха и здания. Учитывается количество вводов, для каждой ВРУ, согласно выбранным категориям надёжности. Приводятся каталожные данные оборудования. Для цехов, в которых категория надёжности вторая или первая и предусмотрено два ввода, устанавливаются две распределительные панели и одна вводная. Для цехов и зданий с одним вводом – устанавливаются одна вводная и одна распределительная панели.

Данные по типу вводно-распределительной установке ВРУ-1-11-10УХЛ4: Количество и номинальный ток вводного аппарата, А – 2х250 (А); Трансформатор тока ТШЛ-СЭЩ 0,66 кВ (50/5 А), производства компании «Электрощит Самара»; Предохранители ПН-2 250 (А); Счетчики электрической энергии ЦЭ6803 5 (А); Переключатели ВД-1-355 (250 А); Автоматический выключатель ВА47-29 1р 6 (А).

Все артикулы и типы остальных ВРУ сведены в таблицу 13.

Вывод: произведен выбор панелей ВРУ различного типа, к установке на предприятии решено использовать продукцию от компании «Стандарт – Энерго».

Таблица 13 – Тип и наименование выбранного ВРУ для каждого из цехов предприятия

Наименование цеха	Кол-во вводов	Наименование ввода	Мощность Р, кВт	Номинальный ток I, А	Вводная панель, тип	Распредел. панель, тип	Вводно-распредел. панель, тип
Лаборатория	1	3П-ф.3	61	36,8	-	-	ВРУ1-22-53А УХЛ4
Арматурный цех	2	102П-ф.1	102,5	50,4	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-50-01А УХЛ4	-
		102П-ф.2	137,5	87,6			
Ремонтно-механический цех	2	102П-ф.3	67,5	47,6	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-47-00 УХЛ4	-
		102П-ф.4	74	59,2			
Опалубочный цех	2	102П-ф.5	39,5	73,1	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-50-01А УХЛ4	-
		3П-ф.2	45,1	82,4			
Слесарный цех	1	102П-ф.7	104,4	76,4	-	-	ВРУ1-22-53А УХЛ4
Электроцех	1	102П-ф.8	120,8	101,9	-	-	ВРУ1-22-53А УХЛ4
Деревообрабатывающий цех	2	102П-ф.9	67,4	39,8	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-48-03А УХЛ4	-
		102П-ф.10	82	63,8			
Компрессорная станция	2	101П-ф.1	43,8	43,8	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-48-03А УХЛ4	-
		101П-ф.2	64,3	64,3			
Цех по изг. ж/б изделий	2	101П-ф.3	152	152	ВРУ1-13-20УХЛ4	2ВРУ1-50-01А УХЛ4	-
		101П-ф.4	167,5	167,5			
Бетонно-смесительный цех	2	101П-ф.5	124,1	74,5	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-50-01А УХЛ4	-
		101П-ф.8	167,7	102,6			
Котельная	2	101П-ф.7	67,9	24,2	ВРУ1-11-10УХЛ4	2ВРУ1-48-03А УХЛ4	-
		101П-ф.6	89,3	67			

6.3 Выбор и проверка кабельной линии 0,4 кВ

На основании полученных данных в ходе расчёта предыдущих пунктов, производится выбор и проверка кабельной продукции от трансформаторных подстанций до питающих цехов и сооружений. Выбор выполняется на основе, рекомендованной для проектирования документации – ПУЭ (изд.7) [12].

Выбор сечения и типа кабеля основывается на ранее полученных данных: расчётная передаваемая активная мощность, расчётный ток кабельной линии в нормальном и аварийном режиме работы. Правильность выбора сечения и типа кабеля проверяется по следующей методике:

Производится проверка кабельной линии на потери напряжения в конце кабельной линии, согласно формуле 43:

$$U_{\Delta} = \frac{P_{\text{пер}} \cdot (r_0 + tg_{\varphi} x_0)}{n_{\text{пар}} \cdot U_{\text{ном}}} \cdot l_{\text{л}}, \quad (43)$$

где $P_{\text{пер}}$ – передаваемая по линии активная мощность, кВт;

$l_{\text{л}}$ – длина линии, км;

r_0, x_0 – активное и реактивное удельное сопротивление, Ом/км;

$n_{\text{пар}}$ – число параллельных кабелей в линии.

Согласно документу РД 34.20.185-94 (Глава 5.2, пункт 5.2.2) [22] потери напряжения преобразуются в процентное соотношение и отклонение напряжения не должно превышать плюс минус 5 % от номинального напряжения сети в нормальном режиме работы.

Производится проверка кабельной линии на термическую стойкость, которая производится на основании с нормами согласно ГОСТ Р 52736-2007 «Методы расчёта электродинамического и термического действия тока короткого замыкания» [23]. Принимаются значения постоянной времени цепи КЗ и полное время отключение выключателя. Согласно формуле 44

определяется допустимый ток по термической стойкости для кабельной линии:

$$I_{\text{терм}} = \frac{S \cdot C_T}{\sqrt{(t_{\text{откл}} + t_a)}}, \quad (44)$$

где S – минимальное сечение кабеля, мм²;

C_T – коэффициент равный 90 А·с/мм² при напряжении 0,4 кВ (Согласно ГОСТ 52736-2007);

$t_{\text{откл}}$ – полное время отключение выключателя, с;

t_a – значение постоянной времени цепи КЗ для системы, с.

Полученные значения не должны превышать нормально допустимые, согласно условию: $I_{\text{терм}} > I_{\text{норм.доп}}$.

Также производится проверка кабельной линии на не возгорание. Расчёт выполняется, опираясь на нормативную документацию – «Расчёт кабелей на не возгорание; Циркуляр № Ц-02-98 (Э)» [24]. Для полноценного расчёта данного пункта, необходимо значение первоначальной температуры жилы до КЗ и после КЗ. Значение температуры кабельной жилы до КЗ, рассчитывается согласно формуле 45:

$$Q_{\text{н}} = Q_0 + (Q_{\text{дд}} - Q_{\text{окр}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{норм.расч}}}{I_{\text{длит.доп}}} \right)^2, \quad (45)$$

где Q_0 – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, °С;

$Q_{\text{дд}}$ – расчётное значение длительно-допустимой температуры жилы, °С;

$Q_{\text{окр}}$ – значение расчётной температуры окружающей среды, °С.

Значение температуры кабельной жилы после КЗ, рассчитывается согласно формуле 46:

$$Q_k = Q_n \cdot \exp(K) + a(\exp(x) - 1), \quad (46)$$

где K – коэффициент, определяемый по формуле: $K = \frac{(b \cdot Bk)}{S^2}$;

a – величина обратная коэффициенту электрического сопротивления при 0°C , равная $228 Q_k$;

b – постоянная характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, для алюминиевой жилы равна $45,65$.

Предельно допустимая температура нагрева кабеля с видом изоляции – ПВХ, при КЗ не должно превышать $Q = 70^\circ\text{C}$. Согласно этим данным, должно соблюдаться следующие условие, для прохождения успешной проверки: $Q > Q_k$.

Проанализировав текущее состояние рынка и ценовую политику компаний, аналогично пункту 6.1 и 6.2, были выбраны несколько компаний по производству и продаже кабельной продукции. На основе более глубокого анализа предпочтение отдано в пользу компании – «Севкабель» [25]. Это первый кабельный завод в России, с многолетней историей и огромным опытом по производству кабельной продукцией. На предприятии установлено самое современное оборудование европейских компаний, готовая продукция изготавливается по соответствующим ГОСТам и проходит строгие проверки качества. Также выбор данной компании в качестве поставщика, обоснован в более кратчайших сроках поставки с минимальными на это затратами, по сравнению с конкурентами, а также более низкая стоимость самой продукции и высокий гарантийный срок эксплуатации.

К прокладке на предприятии принято решение выбрать силовой кабель марки АВБШв. Данный кабель имеет в основе токопроводящую жилу из алюминия, изоляция выполнена из высококачественного поливинилхлорида (поливинилхлоридный пластикат И40-13А), изготовление имеет бронированную стальную оболочку, состоящую из двух лент, между

проводниками и слоем брони имеется специальная защитная подушка, также общая оболочка кабеля имеет защиту из ПВХ (поливинилхлоридный пластикат О-40). Данный тип кабеля применяется для передачи электрической энергии на напряжение до 2,4 кВ при частоте в 50 Гц. Условия эксплуатации такого кабеля, а также его прокладка могут быть совершенно различные, есть возможность использования кабеля, как в сухих помещениях, так и в зданиях с повышенной влажностью, до 98% при плюс 35°С. АВБШв очень компактен, что связано с плотным расположением токопроводящих жил, любое свободное пространство стараются заполнить поливинилхлоридным материалом. Максимальная температура окружающей среды при эксплуатации от минус 50°С до плюс 50°С. Предельно допустимая рабочая температура жил 70°С. Максимальная температура жил при проверке на не возгорание 350°С. Максимальная температура нагрева жил при коротком замыкании 160°С. Срок службы кабеля, заявленный заводом изготовителем - 30 лет.

На основании всего выше написанного производится выбор и проверка кабельной продукции на 0,4 кВ. Выбор основывается на предыдущие расчёты активной мощности, токов нагрузки и токов коротких замыканий. Производится проверка, согласно формулам 43 – 46.

Параметры кабелей для каждого цеха и здания исследуемого предприятия сведены в таблицу 14.

Вывод: произведен выбор и проверка кабельной продукции, к установке на предприятии решено использовать продукцию от компании «Севкабель».

Таблица 14 – Параметры выбранной кабельной продукции на 0,4 кВ

Наименование цеха или сооружения	Кол-во вводов	Мощность Р, кВт	Номинальный ток I, А	Марка/размер кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Кол-во жил, шт	Диаметр, мм	Вес, кг/м
Лаборатория	1	61	36,8	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
Арматурный цех	2	102,5	50,4	АВБШв 4х95мс(N)-1	95	4	40,8	2,33
		137,5	87,6	АВБШв 4х120мс(N)-1	120	4	40,8	2,75
Ремонтно-механический цех	2	67,5	47,6	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
		74	59,2	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
Опалубочный цех	2	39,5	73,1	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
		45,1	82,4	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
Слесарный цех	1	104,4	76,4	АВБШв 4х95мс(N)-1	95	4	40,8	2,33
Электроцех	1	120,8	101,9	АВБШв 4х120мс(N)-1	120	4	40,8	2,75
Деревообрабатывающий цех	2	67,4	39,8	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
		82	63,8	АВБШв 4х70мс(N)-1	70	4	33,4	1,84
Компрессорная станция	2	43,8	43,8	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
		64,3	64,3	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
Цех по изг. ж/б изделий	2	152	152	АВБШв 4х185мс(N)-1	185	4	50,2	4
		167,5	167,5	АВБШв 4х185мс(N)-1	185	4	50,2	4
Бетонно-смесительный цех	2	124,1	74,5	АВБШв 4х120мс(N)-1	120	4	40,8	2,75
		167,7	102,6	АВБШв 4х185мс(N)-1	185	4	50,2	4
Котельная	2	67,9	24,2	АВБШв 4х50мс(N)-1	50	4	29,7	1,44
		89,3	67	АВБШв 4х70мс(N)-1	70	4	33,4	1,84

7 Расчёт заземляющего устройства

Для обеспечения эффективной и безопасной работы людей на электроустановках до 1000 В необходимо произвести ряд мероприятий по сооружению заземляющих устройств и по заземлению металлических частей электрооборудования. В качестве материала и вида заземлителя используются стальные трубы длиной от 1,5 до 4 метров (диаметром 25-50 мм), возможно использование металлических стержней или полос. Для того чтобы сопротивление заземлителя необходимого значения, используют совокупность нескольких труб, которые соединяются и забиваются в землю на не менее, чем 2-3 метра друг от друга. Все требования по выбору заземляющего устройства основаны на документацию – «Правила устройства электроустановок в седьмой редакции; раздел 1.7» [12].

Главной целью расчёта является главным образом выбор конструктивных параметров заземлителя, при которых устройство будет качественно работать и соблюдать все требования по электробезопасности. Расчёт ведется на примере ремонтно-механического цеха. Методика расчёта представлена ниже, исходные данные по параметрам цеха сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Исходные данные РМЦ для расчёта ЗУ

Наименование цеха	Габаритные размеры цеха, м		Удельное сопротивление грунта, Ом·м
	Длина	Ширина	
Ремонтно-механический цех	23	45	100

Согласно методическим указаниям пособия «Расчёт заземляющего устройства» [26], для начала находится сопротивление растеканию тока, через заземлитель состоящий из одной трубы, согласно формуле 47:

$$R_{\text{тр}} = 0,9 \cdot \left(\rho / l_{\text{тр}} \right), \quad (47)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·см;

$l_{\text{тр}}$ – длина трубы от 1,5 до 4 метров, м.

Затем определяется ориентировочное значение вертикальных заземлителей, не учитывая при этом экранирование. Расчёт производится согласно формуле 48:

$$n = \frac{R_{\text{тр}}}{r}, \quad (49)$$

где r – допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

На основании приведенной выше документации, на электроустановках, работающих на напряжении до 1 кВ, допустимое сопротивление заземляющего устройства не более 4 Ом.

Размещаются рассчитанные вертикальные заземлители, согласно генеральному плану предприятия, для цехов, размещенных на нем. После этого определяется расстояние между данными заземлителями и определяется коэффициент экранирования, согласно методическому пособию. Также для определения данного коэффициента необходимо выбрать расстояние между трубами, длину и число труб. Для расчётного цеха приняты следующие значения:

- расстояние между трубами – 2,75 (м);
- длина труб – 2,75 (м);
- отношение расстояние к длине труб – 1;
- число труб – 8,2 \approx 10 (шт);
- так как земляной покров в основном состоит из суглинка, то удельное сопротивление грунта принято 100 Ом/м.

Исходя из выше перечисленных данных коэффициент экранирования принят: $\eta_{\text{тр}} = 0,55$.

Далее производится пересчёт числа вертикальных заземлителей, уже с учётом поправки на коэффициент экранирование, согласно формуле 50:

$$n' = n / \eta_{\text{тр}}. \quad (50)$$

А также находится длин соединительных полос, по формуле 51, представленной ниже:

$$l_{\text{п}} = n' \cdot a, \quad (51)$$

где a – расстояние между заземлителями, м.

Так как расчётная длина полос складывается из расстояния, на которое закладывается ЗУ, а это не менее 1 метра, то длина исходит от периметра цеха. $L_{\text{п}} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = 144$ м. Тогда, исходя из полученного значения периметра, расстояние между электродами уточняется с учетом данной формы объекта. По углам устанавливаются по одному вертикальному электроду. Для равномерного распределения электродов, их число принимается равным – 20 штук.

План заземляющего устройства ремонтно-механического цеха представлен на рисунке 10.

Рассчитывается сопротивление растеканию электрического тока через соединительную полосу, согласно формуле 52, представленной ниже:

$$R_n = 2,1 \cdot \left(\frac{\rho}{l_n} \right). \quad (52)$$

Находится результирующее сопротивление растеканию электрического тока заземляющего устройства, согласно формуле 53, представленной ниже:

$$R_{\text{тр}} = R_{\text{тр}} \cdot \frac{R_n}{\eta_n \cdot R_{\text{тр}} + \eta_{\text{тр}} \cdot R_n \cdot n'}, \quad (53)$$

где η_n – коэффициент экранирования соединительной полосы, согласно методическому пособию.

Производится сравнение допустимого сопротивления и расчётного, согласно формуле 54:

$$R_{\text{зу.р}} < R_{\text{зу.д}}, \quad (54)$$

где $R_{\text{зу.р}}$ – расчётное сопротивление ЗУ;

$R_{\text{зу.д}}$ – допустимое значение сопротивления ЗУ.

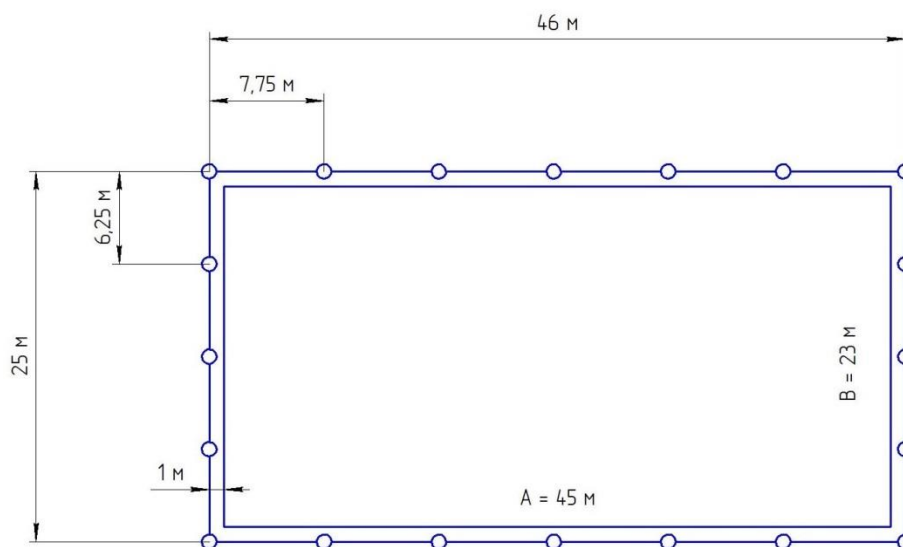


Рисунок 10 – План ЗУ ремонтно-механического цеха

Аналогичный расчёт производится для всех цехов и зданий предприятия. Все данные по параметрам заземляющих устройств РМЦ, а также всех оставшихся сооружений завода сведены в таблицу 16.

Вывод: на основании полученных расчётов и согласно нормативным документам заземлители работают эффективно.

Таблица 16 – Параметры ЗУ цехов и зданий исследуемого предприятия

Наименование цеха	Габаритные размеры цеха, м		Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Кол-во электродов, шт.	Длина между электродами, м		Периметр закладки ЗУ, м	Расчётное сопротивление ЗУ, Ом
	Длина	Ширина			По длине	По ширине		
Арматурный цех	98	48	100	20	16,7	12,5	300	3,5
Гараж спец. транспорта	70	25	100	40	5,5	3	198	2,7
РМЦ	45	23	100	20	7,75	6,25	144	3,3
Полигон №1	159	37	100	20	26,8	9,8	400	3,1
Полигон №2	161	37	100	20	27,2	9,8	404	3,1
Полигон №3	43	17	100	20	7,5	4,8	128	3,4
Полигон №4	75	74	100	20	12,8	19	306	3,2
Компрессорная	29	18	100	20	5,2	5	102	3,2
Цех по изготовлению ж/б изделий	53	21	100	20	9,2	5,8	156	3,2
Склад заполнителей	77	28	100	10	26,3	15	218	3,7
Материальный склад	83	33	100	12	28,3	35	240	3,6
Гараж	32	21	100	16	8,5	11,5	114	3,3
Опалубочный цех	7	7	100	16	2,3	4,5	36	3,4
Диспетчерская	7	5	100	16	2,3	3,5	32	3,5
Мастерская технического контроля	23	20	100	20	4,2	5,5	94	2,8
Отдел технического контроля	21	20	100	20	3,8	5,5	90	3,1
Котельная	20	12	100	20	3,7	3,5	72	3,1
Слесарный цех	34	16	100	16	9	9	108	3,3
Бытовка	13	13	100	16	5	5	60	3,3
Электроцех	44	16	100	20	7,7	4,5	128	3,4

Продолжение таблицы 16

БСЦ	13	11	100	16	3,8	6,5	56	3,2
Склад цемента	22	18	100	16	6	10	88	3,1
Административно-бытовой корпус	38	20	100	20	6,7	5,5	124	3,3
Деревообрабатывающий цех	42	15	100	20	7,3	4,3	122	3,3
Лаборатория	21	8	100	16	5,8	5	66	3,1
Главный корпус	34	15	100	20	6	4,3	106	3,6
ТП-101	19	9	100	16	5,3	5,5	64	3,2
ТП-102	10	6	100	16	3	4	40	3,2
ТПЗ	5	4	100	12	2,3	6	26	3,3

Заключение

Итогом выполнения выпускной квалификационной работы является комплексная реконструкция в части электроснабжения производственного предприятия ЗАО «ЖБК Тольяттинское».

На основании обследования характеристик системы электроснабжения предприятия, произведен расчёт силовых нагрузок методом коэффициента максимума, на примере ремонтно-механического цеха, а в дальнейшем и для всех цехов и зданий завода. Общая нагрузка составила 2034,6 кВт. На основе полученных данных решено произвести компенсацию реактивной мощности, путем использования конденсаторных установок УКРМ производства электротехнической компании «Энергозапад». Также на основе расчётов нагрузок, выбраны силовые трансформаторы типа ТМГ от промышленного комплекса – «Тольяттинский – Трансформатор». Помимо этого произведен выбор типа трансформаторной подстанции, предпочтение отдано – комплектной трансформаторной подстанции с бетонным корпусом и поддоном – приямком производства компании «ЭЗОИС Поволжье».

Произведен расчёт токов коротких замыканий, для полноценного выбора основного электрооборудования предприятия. Основываясь на данный расчёт, произведен выбор ВРУ для всех цехов и сооружений от компании «Стандарт – Энерго». Также произведен выбор и полноценная проверка кабельной продукции 0,4 кВ, поставщиком которой выбрана компания «Севкабель».

Завершительным этапом стал расчёт заземляющего устройства на примере ремонтно-механического цеха, а также приведен пример плана ЗУ и его параметров. После чего представлена таблица со всеми характеристиками ЗУ для остальных цехов и зданий.

Результатом работы стал один из примеров реконструкции системы электроснабжения промышленного предприятия ЗАО «ЖБК Тольяттинское».

Список используемой литературы

1. Bhalja B., Maheshwar R. P., Chothani N. Protection and Switchgear, 1st Edition. Oxford: Oxford University Press, 2016. 576 p.
2. Mohamed A. Ibrahim. Protection & Control for Power System. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2016. 540 p
3. Octavian Mihai Machidon, Radu Constantin Andrei, Carmen Gerigan Smart circuit breaker communication infrastructure // TEM Journal. 2017. № 6(4). С. 855-861.
4. Sajad Samadinasab, Farhad Namdari, Mohammed Bakhshipoor A novel approach for earthling system design using finite element method // Journal of Intelligent Procedures in electrical technology. 2017. №8(29). С. 54-63.
5. Upadhyaya S., Mohanty S. Fast Methods for Power Quality. Intenational Journal of Emerging Electric Power Systems. Vol 18. No. 5 2017
6. Администрация городского округа Тольятти. Официальный портал [Электронный ресурс] URL: <https://tgl.ru/structure/department/utverzhdennye-proekty-planirovok> (дата обращения 11.03.2020 г.)
7. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976> (дата обращения 02.03.2020)
8. Вводно-распределительные устройства ВРУ. Стандарт – Энерго. [Электронный ресурс]: URL: <https://st-en.ru/catalog/> (дата обращения 12.04.2020)
9. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (СТ СЭВ 3916-82). Взамен ГОСТ 14209-69; введ. 1985–07–01.– М. : Стандартинформ, 2009. – 37 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-14209-85> (дата обращения 14.11.2018)

10. ГОСТ Р 52736-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. Введ. 2008-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. 44 с.
11. Каталог кабельной продукции. Севкабель. [Электронный ресурс]: URL: <https://sevkab.ru/> (дата обращения 22.04.2020)
12. Каталог продукции. Комплектные трансформаторные подстанции. ЭЗОИС Поволжье. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.ezois.ru/solutions-and-services/products/bktp/> (дата обращения 07.04.2020)
13. Конденсаторные установки. Энергозапад. [Электронный ресурс] URL: <http://energozapad.ru/kompensatory-reaktivnoy-moschnosti-1> (дата обращения 27.03.2020)
14. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Текст]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. – М: "Инфра-Инженерия", 2018. – 148 с.
15. Номенклатурный каталог. Тольяттинский трансформатор. [Электронный ресурс] URL: [https://transformator.com.ru/docs/НК_ТТ,ООО_2019%20г.pdf\(2151561%20v1\).pdf](https://transformator.com.ru/docs/НК_ТТ,ООО_2019%20г.pdf(2151561%20v1).pdf) Дата обращения (дата обращения 20.03.2020)
16. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Текст] - взамен СН 174-75; дата актуализации 01.02.2020; М.: ТЯЖ ПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 2013
17. Паскевич В.В. Разработка методик расчета потерь электрической энергии в сетях 0,4/6/10 кВ с применением современных программных комплексов [Текст]: учебное пособие/ В.В. Паскевич –Тольятти: Изд-во ТГУ, Институт энергетики и электротехники, 2018 – 45 с.
18. Петухов С.В. Расчёт заземляющего устройства [Текст]: методические указания к выполнению контрольной работы/ С.В. Петухов,

С.В. Бутаков, В.В. Радюшин; Под ред. И.И. Соловьев. –Архангельск.: Изд-во ИПЦ САФУ, 2018 г. – 7 с.

19. Правила устройства электроустановок [Текст] : утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 8.06.02 : ввод.в действие с 01.01.03. – 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

20. Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 "О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии".

21. Приказ Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями от 13.02.2019)

22. РД 34.20. 185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Текст] – Взамен ВСН 97-83; введ.1995-01-01 – М.:Энергоатомиздат, 1995 – 37 с.

23. Рожин А.Н., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое электроснабжение [Текст]: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов/ А.Н. Рожин, Н.С. Бакшаева -Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. 258с

24. Сборник электронных конференций, статей и журналов [Электронный ресурс]: научный журнал / Международная научно-техническая конференция Smart Energy Systems 2019 (SES-2019), Университет Дамаска, кафедра Электромеханика и электрооборудование / Уорд М. О. 2019 . URL : <https://www.e3s-conferences.org/> (дата обращения: 14.04.2020 г.)

25. Сборник электронных конференций, статей и журналов [Электронный ресурс]: научная статья / Международная конференция по промышленному машиностроению (ICIE-2017), раздел - Устойчивое развитие промышленных предприятий / Хархардин А. Н. 2017 . URL : <https://www.shs-conferences.org/> (дата обращения: 14.04.2020 г.)

26. СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. М.: Стандартинформ, 2017. 78 с.
27. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: Свод правил по проектированию и строительству от 01.01.2004. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (дата обращения 02.04.2020).
28. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [Текст] - Взамен СНиП 23-05-95; введ.2017-05-08 -М.: Минрегион России, 2017
29. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. [Текст] – Взамен СНиП 41-01-2003 (с Изменением N 1); введ.2017-06-17 –М.:Стандартинформ, 2017
30. Справочник журналов и статей в открытом доступе [Электронный ресурс]: научная статья / Исследование электроснабжения промышленных предприятий / С.М. Мирзоева, М.А. Гашимов / Электротехника. 2017.URL: <https://www.doaj.org/article/75dfb9a5e01d4315bfb37b6fd9ebafc5>. (дата обращения: 16.04.2020 г.)
31. Справочник журналов и статей в открытом доступе [Электронный ресурс]: научный журнал / кафедра электрических аппаратов, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт" / Клименко Борис Владимирович, профессор 2015 . URL : <https://www.doaj.org/article/15a70e6550f14db2a6ec0c33c126ab64>(дата обращения: 13.04.2020 г.)
32. Справочник журналов и статей в открытом доступе [Электронный ресурс]: научная статья / министерство энергетики США, «Калифорнийский университет» отдел Энергетического анализа / Джулия Осборн, Корнелия Каванн 2016 . URL :<https://emp.lbl.gov/sites/all/files/report-lbnl-47043.pdf> (дата обращения: 14.04.2020 г.)

33. Циркуляр № Ц-02-98 (Э). О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания. введ.16.03.98. М.: Энергоатомиздат, 1998 – 7 с.

34. Шеховцов В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения [Электронный ресурс]: Методическое пособие для курсового проектирования. URL: <https://docplayer.ru/28024670-V-p-shehovcov-raschet-i-proektirovanie-shemzlekqyusnabzheniya.html> (дата обращения 03.04.2020)

35. Эрнст А.Д. Расчёт токов короткого замыкания в электрических системах [Текст]: учебное пособие / А.Д. Эрнст. –Нижний Новгород.: Изд-во НГГУ, 2012 г. – 10 с.