

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электроснабжение мультибрендового завода по производству автомобилей
Changan, Chery, Haval в г. Алматы

Обучающийся

А. Б. Зелёный

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А. В. Бычков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы «Электроснабжение мультибрендового завода по производству автомобилей Changan, Chery, Haval в г. Алматы». Строительство подобного объекта позволит создать 2600 рабочих мест, обеспечить современными автомобилями внутренний рынок страны, а также наладить поставки в страны Евразийского экономического союза.

Работа состоит из пояснительной записки (объемом 81 листов) и графических документов (планы, схемы).

Целью данной работы является проектирование системы внутреннего электроснабжения кузовного (сварочного) цеха завода.

Для достижения поставленной цели решены задачи:

- расчет электрических нагрузок контактной сварки, прочего технологического оборудования кузовного цеха, оборудования смежных разделов;
- выбор оптимальной схемы электроснабжения;
- расчет и выбор силовых трансформаторов, магистральных и распределительных шинопроводов, устройств компенсации реактивной мощности;
- расчет и выбор аппаратов защиты, проводников, комплектного оборудования;
- разработка и оформление проектной документации.

Структура работы включает краткое описание общей схемы электроснабжения завода, технологических процессов. Подробно рассмотрена технология контактной сварки и ее особенности. Далее идет расчетная часть, на основе которой принимаются обоснованные технические решения.

Итогом работы является рабочий проект кузовного цеха (раздел «Силовое электрооборудование»).

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта проектирования	6
1.1 Общее описание проектируемого завода в целом	6
1.2 Потребность в электрической энергии	8
1.3 Схема внешнего электроснабжения.....	9
1.4 Кузовной цех	12
2 Разработка системы электроснабжения кузовного цеха.....	18
2.1 Схема электроснабжения цеха.....	18
2.2 Расчет электрических нагрузок контактной сварки	21
2.3 Расчет электрических нагрузок прочего электрооборудования	355
2.4 Выбор схем питания и питающих сетей.....	43
2.5 Компенсация реактивной мощности.....	50
3 Расчет и выбор аппаратов защиты, линий электроснабжения	64
Заключение	67
Список используемой литературы и используемых источников.....	68

Введение

В сентябре 2022 года компания «Астана Моторс» подписала меморандумы с тремя китайскими автомобильными концернами, что позволило приступить к разработке проекта строительства мультибрендового автомобильного завода в индустриальной зоне города Алматы. Технико-лицензионные соглашения, подписанные в рамках визита президента Казахстана Касым-Жомарта Токаева в Сиан (КНР) весной 2023 года, дают «Астана Моторс» право производить мелкоузловым методом автомобили брендов Chery, Changan и Haval. Площадь производства составит 150 тыс. квадратных метров, а общая стоимость проекта превышает 20 миллиардов рублей. Планируется создать 2600 рабочих мест. Строительство планируют завершить в конце 2024 года.

Проектирование подобного объекта представляет собой серьезный вызов, так как это первый крупный автомобильный завод с высокой степенью локализации производства в Казахстане. Район строительства является опасным в сейсмическом отношении (9 баллов), а для обеспечения пожарной безопасности разработаны специальные технические условия, предусматривающие дополнительные противопожарные мероприятия.

Современное производство невозможно без электроэнергии, а к электрическим сетям и системам предъявляются определенные требования:

- электробезопасность для людей и оборудования;
- пожаро- и взрывобезопасность;
- достаточная надежность (уменьшение или отсутствие перерывов в питании потребителей);
- обеспечение требуемого качества электроэнергии;
- обеспечение оптимальных затрат на сооружение и эксплуатацию.

Создание системы электроснабжения промышленного предприятия определяется технологиями производства, взаимным расположением и

количеством потребителей, требуемой надежностью электроснабжения электроприемников, удобством эксплуатации, а также требованиями защиты и автоматики.

Проектируемое предприятие состоит из пяти основных цехов, таких как цех окраски кузовов, цех окраски пластиковых деталей, кузовной цех (сварочный), цех сборки, цех логистики (склады). В рамках данной выпускной квалификационной работы дан поверхностный обзор системы электроснабжения завода в целом, а основной объем работы посвящен кузовному цеху, так как он является наиболее энергоемким и сложным с точки зрения расчетов нагрузок и выбора оборудования.

Цель данной работы: спроектировать систему электроснабжения кузовного цеха (раздел «Силовое электрооборудование») для успешного прохождения экспертизы проекта и завершения строительства.

Задачи:

- изучить и изложить краткие сведения о технологическом процессе, особенностях основных электроприемников.
- определить оптимальную схему электроснабжения кузовного цеха.
- рассчитать и выбрать силовые трансформаторы, магистральные и распределительные шинопроводы, устройства компенсации реактивной мощности цеховых трансформаторных подстанций.
- рассчитать и подобрать аппараты защиты, проводники.
- разработать и оформить проектную документацию.

1 Характеристика объекта проектирования

1.1 Общее описание проектируемого завода в целом

В соответствии с заданием на проектирование от Заказчика, на отведенной территории (30,9 га) в Индустриальной зоне города Алматы планируется разместить завод по производству автомобилей марок CHANGAN, CHERY, HAVAL.

Автомобильный завод предназначен для сборки легковых автомобилей из комплектующих, поставляемых из-за границы, и от местных поставщиков.

Технологическим ядром завода является производственный корпус, который представляет собой комплекс из примыкающих друг к другу блоков:

- блок 1. Первый этаж - Склад деталей/компонентов с 18 фронтальными доками для подачи и разгрузки, 6 уличными воротами для въезда\выезда техники, 8 лифтами подачи компонентов на второй этаж. Второй этаж- Склад штампованных деталей;
- блоки 2, 3. Первый этаж - Цех сборки, разделенный на три сборочных цеха. Второй этаж – Кузовной цех (цех сварки), разделенный на три сварочных цеха и Линию навески и ремонта), санитарно-бытовые помещения и офисы персонала завода, складские помещения;
- блоки 4, 5, 6 - Цеха Окраски кузовов и Цех окраски пластиковых деталей с санитарно-бытовыми помещениями и офисами сотрудников.

Так же в состав входят: административно-бытовой корпус, вспомогательные блоки для инженерного оборудования (компрессорная, котельная, градирни, насосная, заправочная станция для двух видов топлива, резервуары автоматического пожаротушения, очистные сооружения (включая очистные сооружения для автопарковки и склада готовой продукции), трансформаторные и распределительные подстанции, склад для

лакокрасочной продукции и легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, 2 склада для отходов, склад баллонов сжиженного газа, резервуары для приема дождевых вод, помещение пожарного поста, службы безопасности, мойки автомобилей, гаражей для автомобилей и техники, контрольно-пропускные пункты, здание предпродажной подготовки автомобилей, весовая для автомобилей, перевозящих отходы и побочную продукцию, склад готовой продукции с офисными зданиями, тестовая дорога.

Конструкция производственного комплекса – металлический каркас, стены и крыша сэндвич-панели. Здания и сооружения должны иметь сейсмостойкость 9 баллов по шкале MSK-64.

Режим работы производства:

- количество рабочих дней в году – 250;
- рабочая неделя периодическая – 5 дней;
- количество смен в сутки – 2;
- продолжительность смены – 8 часов.

Кузовной цех (цех сварки).

Кузовной цех будет рассмотрен детально в следующих разделах работы.

В кузовном цехе предусматривается:

- доставка комплектующих на линии сварки;
- сварка платформы кузова;
- сварка основных частей кузова;
- проверка качества сварных точек;
- выборочная трехмерная проверка геометрии кузова;
- подготовка кузова к отправке в цех окраски;
- отправка кузова в цех окраски.

Цех окраски.

Цех окраски предназначен для защитно-декоративной окраски кузовов и подготовки окрашенных кузовов к полнокомплектной сборке. Кузова автомобилей, поступившие из кузовного цеха, проходят все стадии защитно-

декоративной окраски и герметизации. Для этого используется специальное технологическое оборудование – камеры, обеспеченные необходимым инструментом и оборудованием для осуществления технологического процесса. Линии по окраске механизированы и автоматизированы с применением пневматических подъемников, напольных и подвесных конвейерных систем.

Цех сборки.

В цехе проводятся операции по сборке и установке комплектующих и оборудования, в результате чего из цеха выходят автомобили, пригодные к эксплуатации. Предусматривается выполнение следующих технологических операций:

- доставка каркасов кузовов на линии сборки из цеха окраски;
- доставка комплектующих элементов на линии сборки;
- подсборка отдельных узлов;
- сборка автомобиля;
- заправка автомобиля топливом и технологическими жидкостями.

1.2 Потребность в электрической энергии

Потребителями электроэнергии являются силовые и осветительные электроприемники завода.

К силовому электрооборудованию относятся установки электрофореза; электродвигатели; электроприемники технологической части; сантехническое электрооборудование; системы связи, сигнализации и диспетчеризации инженерного оборудования; технические средства противопожарной защиты (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре).

По степени обеспечения надёжности электроснабжения электроприёмники отнесены к I особой, I, II, III категориям.

Величина заявленных электрических нагрузок составляет 22 000 кВт с разрешенным коэффициентом мощности $\geq 0,92$.

1.3 Схема внешнего электроснабжения

Варианты схемы внешнего электроснабжения объекта разработаны на основании анализа существующих электрических сетей. Для реализации выбрана схема с применением двух распределительных пунктов 10 кВ (РП). Распределительные пункты подключены по двум кабельным линиям 10 кВ непосредственно от ПС-110/10кВ.

Применение РП даст следующие преимущества:

- высокий уровень надежности распределительной сети 10кВ;
- возможность надежного электроснабжения уже при вводе первых объектов строительства;
- свободный выбор трансформаторных подстанций по мощности и токам короткого замыкания.

К выполнению принято строительство одного сдвоенного распределительного пункта 10 кВ и десяти ТП 10/0,4 кВ. Исходя из топологии и наличия существующих электрических сетей, рассматривались несколько вариантов схемы подключения.

В качестве основных вариантов рассматривались схемные решения с минимизацией капитальных вложений и возможности использования их в перспективе. Из всех возможных вариантов наиболее предпочтительными, удовлетворяющими вышеуказанным критериям, является вариант с подключением к подстанциям 110/10 кВ, таковыми являются ПС-110/10/10кВ № 12А «Бак» и ПС-110/10/10кВ №11 «АЗИ».

На расстоянии порядка 1 км расположена ПС-110/10/10кВ №11А «АЗИ». Установленная мощность силовых трансформаторов 2×63 МВА.

Место расположения существующей подстанции и примерное расположение проектируемых РП указаны на рисунке 1.

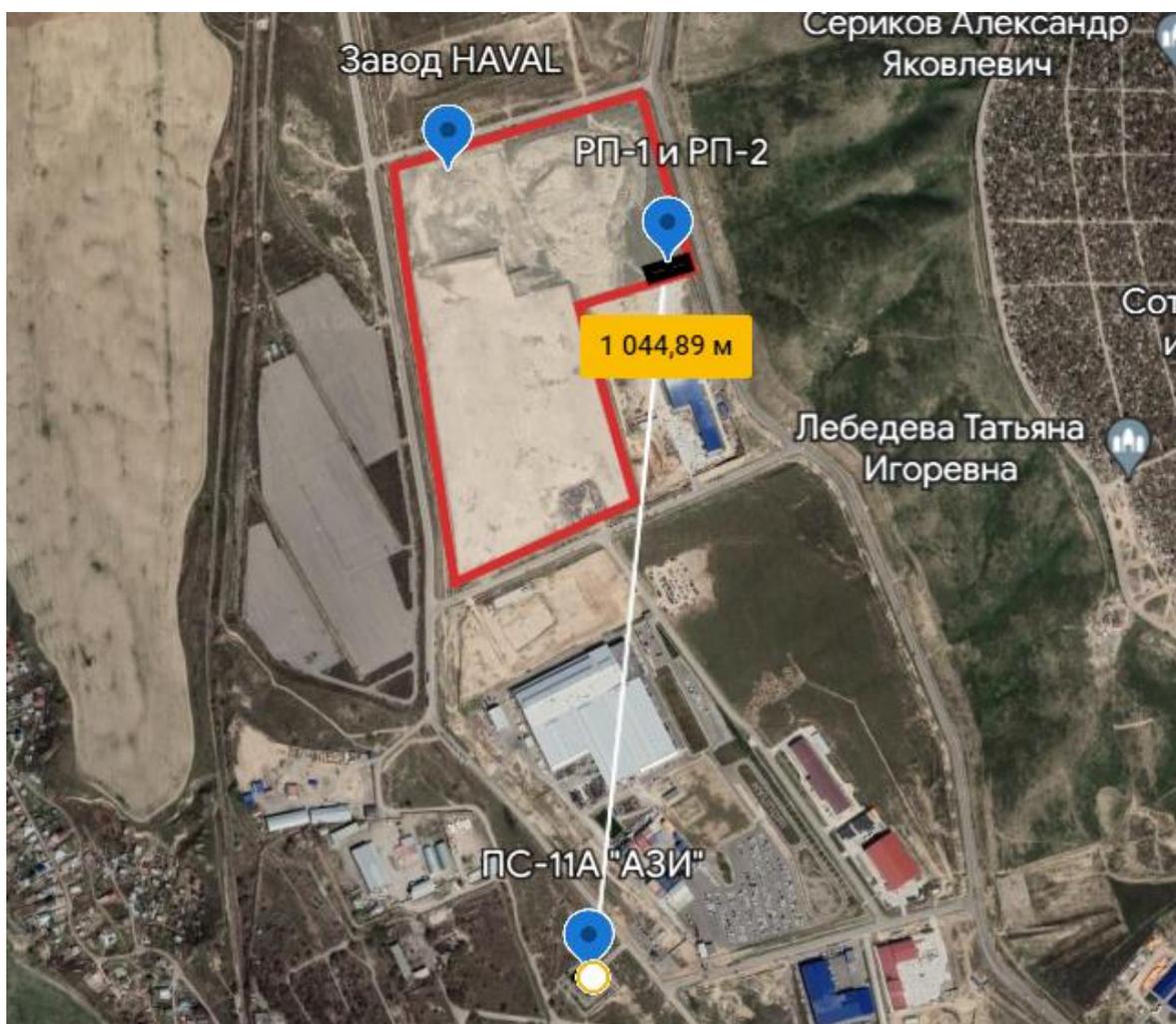


Рисунок 1 – Карта расположения объектов

Необходимо выполнить строительство четырех кабельных линии 10кВ сечением не менее 630 мм² протяженностью по 1,5 км, каждая с подключением к ЗРУ-10кВ ПС-110/10/10кВ №11А «АЗИ». Схема приведена на рисунке 2.

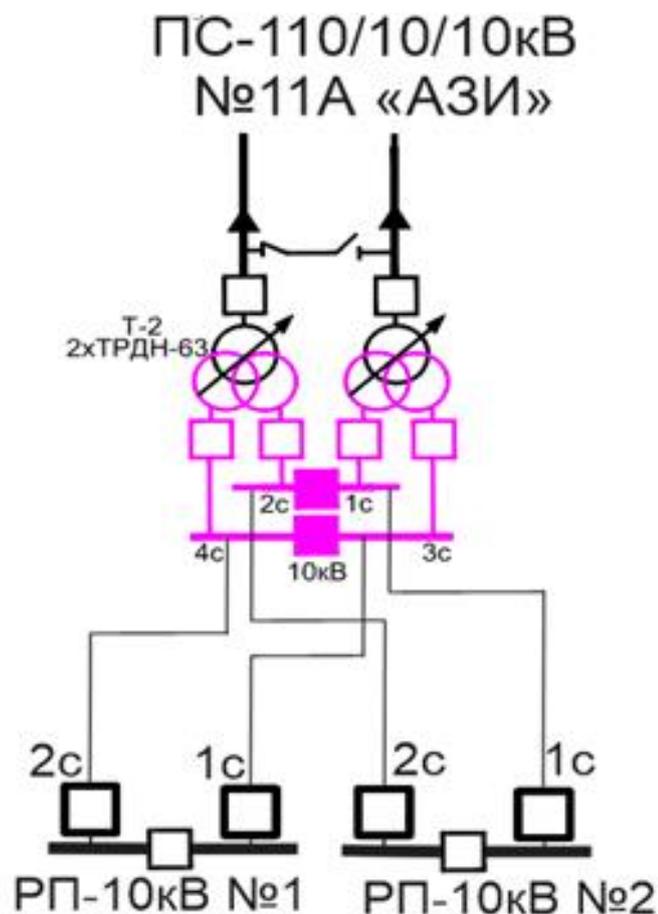


Рисунок 2 – Схема внешнего электроснабжения завода

Данный вариант был выбран в виду весомых преимуществ, таких как территориальная близость, наличие существующего кабельного канала, отсутствие необходимости инженерных изысканий трассы КЛ.

Таким образом, на территории предприятия планируется расположить два РП 10 кВ, от которых по радиальной схеме запитывают цеховые и отдельно стоящие ТП 10/0,4 кВ. Также, согласно специальным техническим условиям по пожарной безопасности, для электроснабжения противопожарных и аварийных систем необходимо предусмотреть третий независимый источник электроснабжения - автономные дизель-генераторные установки (далее – ДГУ) с их автоматическим включением при отключении основных источников питания.

1.4 Кузовной цех

Кузовной цех располагается на втором этаже в блоках 2, 3, уровень чистого пола +10,500 м.

Общая площадь – 41168,0 м² включая офисные и вспомогательные помещения, относящиеся к кузовному цеху.

Кузовной цех предназначен для сварки и сборки кузовов автомобилей брендов Chery, GWM, Changan на базе полнокомплектной поставки деталей, компонентов, вспомогательных материалов соответствующими брендами.

В состав кузовного цеха входят:

- цех сварки Chery (Chery Automobile Co., Ltd.),
- цех сварки GWM (Great Wall Motor, Ltd.),
- цех сварки Changan (Changan Automobile Co., Ltd.),
- подвесной конвейер,
- линия навески и ремонта,
- офисные, складские, производственные помещения.

Детали поступают в кузовной цех со склада комплектующих, с последующей их сваркой в единую конструкцию кузова. В каждом цехе размещается основное технологическое оборудование, используемое для сварки кузовов автомобиля. Схема цеха приведена на рисунке 3.

Для транспортировки сваренного кузова в сборе на транспортировочных паллетах с конечной станции «главной линии» каждого цеха до «линии навески и ремонта» и возврата пустых транспортиров паллет предусмотрен подвесной конвейер. Конвейер работает автономно по заданному алгоритму, без участия операторов. Нижний уровень подвесного конвейера +15,000м.

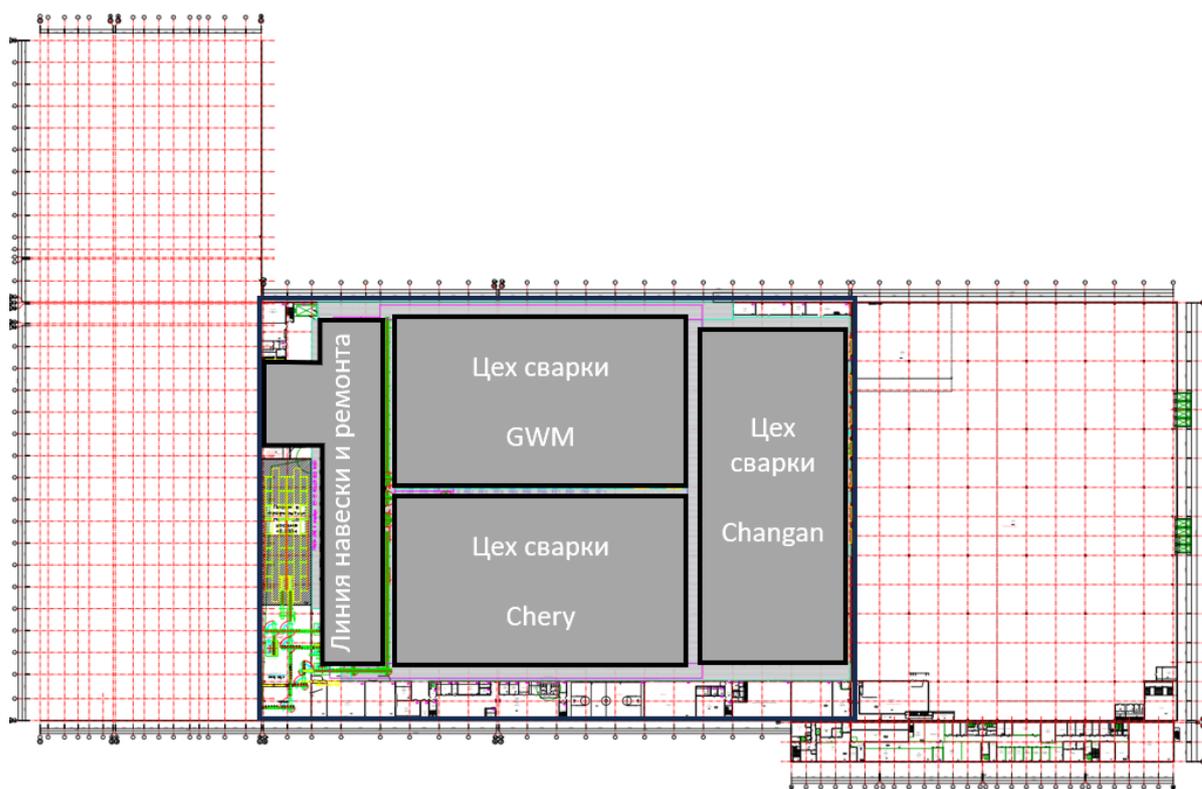


Рисунок 3 – Ситуационная схема кузовного цеха

Линия навески и ремонта предназначена для проведения завершающего этапа сварочных работ (полуавтоматическая сварка в среде защитных газов) и для установки на кузов навесных элементов (дверей, крышки капота, крышки багажника, крыльев), проверки качества, выполнения ремонта в случае необходимости.

Основная технология сварки, применяемая в кузовном цехе и определяющая построение системы электроснабжения цеха - контактно-точечная сварка.

Контактно-точечная сварка деталей кузова осуществляется посредством комплекта оборудования производства Obara, состоящего из портативного пистолета контактно-точечной сварки (рисунок 4), сварочного трансформатора и блока управления сваркой (далее контроллер).

Сварочный пистолет со встроенным трансформатором, IT – gun (Integrated timer) слева, Сварочный пистолет без встроенного трансформатора PSW –gun (portable spot welding) справа.

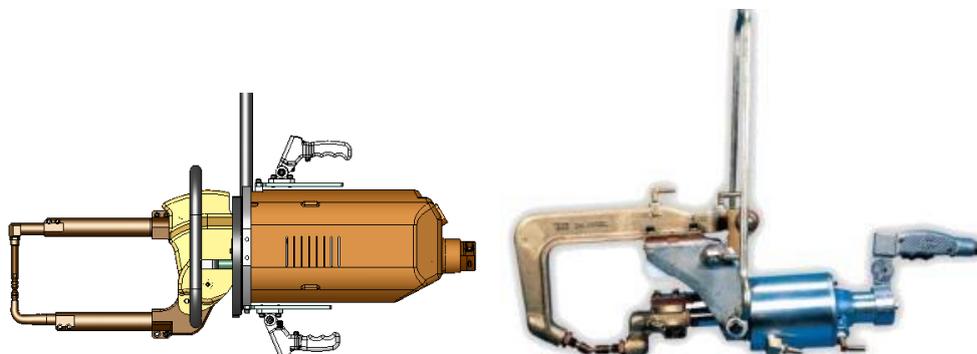


Рисунок 4 – Типы сварочных пистолетов

Сама контактная точечная сварка на данном производстве выполняется с помощью двух разных основных сварочных машин (АС и MFDC).

Модель MFDC 85KVA SIV32C-6A-I без встроенного трансформатора, используется совместно со сварочными пистолетами IT-gun. MFDC означает среднечастотный постоянный ток. Это система управления и электропитания, которая принимает входную мощность переменного тока и преобразует её в инвертированную выходную мощность более высокой частоты. Подаётся первичный трёхфазный переменный ток 400 В с частотой 50 Гц. Он инвертируется и преобразуется несколько раз в блоке управления и трансформаторе, чтобы в итоге получить частоту 1000–1800 Гц. Сварочный ток не имеет перехода через ноль, который мог бы охладить деталь, поэтому деталь быстро нагревается. Сварные швы выполняются быстро, за несколько миллисекунд.

Сварочные контроллеры типа АС (переменный ток), со встроенным трансформатором, используются совместно со сварочными пистолетами типа PSW – gun. Сварочный трансформатор служит для преобразования первичного переменного тока промышленной частоты с напряжением 400 В в

переменный ток промышленной частоты с низким напряжением. Вторичное напряжение холостого хода сварочного трансформатора составляет 26,6 В постоянного тока (для 200 кВА) и 25,0 В постоянного тока (для 180 кВА).

Сварочный трансформатор с контроллером подвешиваются к опорным балкам при помощи роликовых тележек (рисунок 5), посредством которых они могут перемещаться в двух направлениях. Высота подвеса трансформатора с контроллером (от пола до нижней точки) составляет 2,7 м.

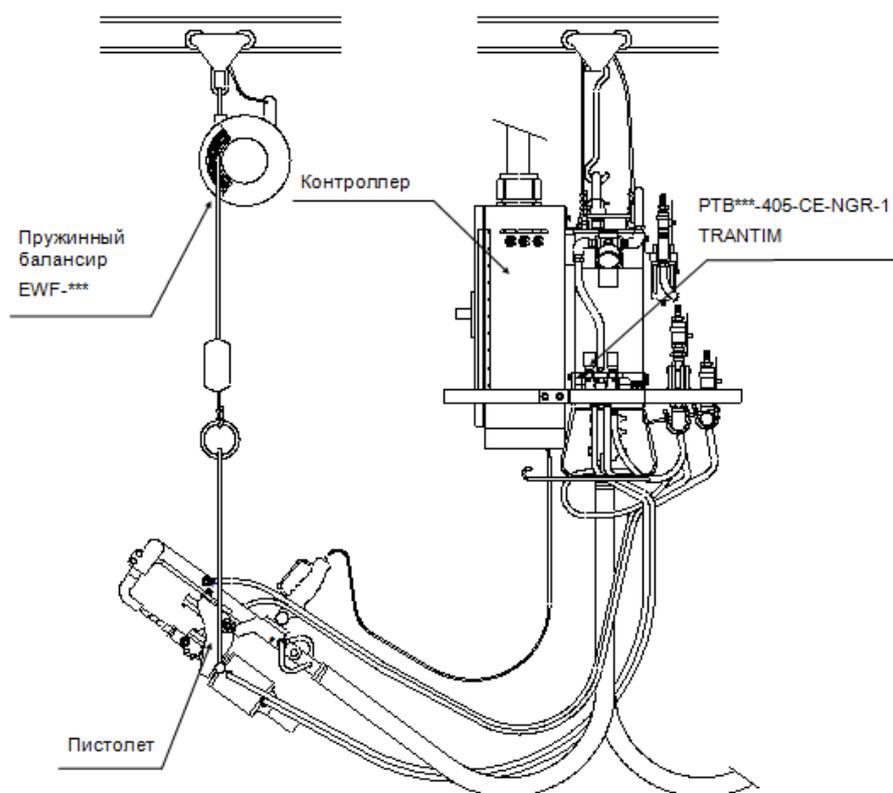


Рисунок 5 – Подвес сварочного аппарата

Сварочные клещи портативного пистолета предназначены для сжатия деталей и подачи электрического тока в точку контактной сварки. Клещи состоят из двух клещевин, одна из которых в процессе работы неподвижна, а другая имеет возможность поступательно перемещаться при помощи пневматического механизма. На конце клещевин устанавливаются сменные

сварочные электроды, изготовленные из меди в виде цилиндрического колпачка с плоской рабочей поверхностью.

Электрический ток подводится к сварочным клещам пистолета от трансформатора посредством гибких кабелей. Для охлаждения трансформатора, сварочного пистолета, контроллера предусмотрена система обратного водяного охлаждения.

Контактно-точечная сварка осуществляется следующим образом: оператор (сварщик) производит позиционирование сварочного пистолета в позиции указанной в карте стандартной операции. При нажатии пускового переключателя на ручке сварочных клещей происходит сжатие свариваемых деталей с двух сторон электродами сварочных клещей в точке сварки, и затем производится кратковременное протекание сварочного тока через электроды от сварочного трансформатора. Продолжительность протекания тока через точку контактной сварки составляет до 0,5 с. При этом точка контакта мгновенно разогревается вследствие резкого выделения тепла. Температура в точке контакта достаточна для прочного неразъемного соединения свариваемых стальных поверхностей. Регулирование параметров сварки производится посредством сварочного контроллера, который автоматически прерывает подачу тока через заданный временной интервал. Продолжительность сварки одной точки (сжатие клещей –сварка- разжимание клещей) - около 2 с.

Работа на машинах контактно-точечной сварки производится с применением открытых токоведущих частей, что требует соблюдения правил электробезопасности.

Также в относительно небольших количествах используются аппараты приварки шпилек HONGBAI, производства Китай. Это контактно-рельефная сварка с разогревом до пластического состояния торцов свариваемого изделия возбужденной дугой, с последующим контактным соединением их под давлением. В комплект входит: пистолет для приварки шпилек, подающее устройство, блок управления и питания. Ток от блока управления и питания

подается к сварочному пистолету посредством питающего кабеля. Время приварки шпильки на поверхность детали – 0,12–0,15 с.

Основная часть сварочных работ выполняется вручную с применением АС или MFDC машин. Однако, также применяются сварочные роботы, установки с которыми полностью автоматизированы (технология сварки – контактно-точечная MFDC).

Стоит отметить, что технология MFDC гораздо меньше нагружает питающую сеть и силовые трансформаторы, не ухудшает качество электроэнергии, также позволяет добиться более качественной сварки. Единственным недостатком является значительно более высокая стоимость.

Вывод по разделу 1. Было произведено ознакомление с объектом проектирования, изучено основное технологическое оборудование. Проведен анализ вариантов внешнего электроснабжения предприятия и выбрано оптимальное решение.

2 Разработка системы электроснабжения кузовного цеха

2.1 Схема электроснабжения цеха

При разработке схемы электроснабжения необходимо учитывать особенности технологии производства, взаимное расположение и количество потребителей, требуемую надежность, удобство эксплуатации, требования нормативных документов и технического задания.

Потребителями электроэнергии в кузовном цехе являются:

- сварочное технологическое оборудование (сварочные трансформаторы, аппараты приварки шпилек, сварочные контроллеры роботизированной сварки);
- силовое технологическое электрооборудование (подъемники, вытяжные агрегаты, роботы, аппараты полуавтоматической сварки, зарядные устройства аккумуляторов, электроприводы конвейеров);
- сантехническое оборудование (системы отопления и вентиляции);
- системы связи, сигнализации и диспетчеризации инженерного оборудования;
- технические средства противопожарной защиты (системы дымоудаления и подпора воздуха, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре);
- светильники внутреннего освещения;
- ремонтное электрооборудование, включаемое в розеточные сети;
- групповые розеточные сети, для подключения бытового и офисного оборудования.

Совместно с технологами и разработчиками специальных технических условий по пожарной безопасности классифицировали помещения по взрывопожарной опасности и по опасности поражения электрическим током.

Определили категории надежности электроснабжения. Результаты сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Классификация помещений цеха согласно ПУЭ [18]

Наименование помещений	Классификация помещений	
	в отношении опасности поражения электрическим током	по взрывопожарной опасности (класс помещения/зоны)
Кузовной цех, зона накопления кузовов, склады расходного сырья, ремзона ОТО, тренинг рум	Особо опасные	II-IIa
Мужские и женские санузлы	Влажные, С повышенной опасностью	-
Остальные помещения	Без повышенной опасности	-

Таблица 2 – Классификация электроприемников по требованиям надежности электроснабжения

Наименование электроприемника	Категория электроснабжения по требованиям надежности
Сварочное технологическое оборудование (сварочные трансформаторы)	III категория
Силовое технологическое электрооборудование (подъемники, вытяжные агрегаты, роботы, аппараты полуавтоматической сварки), сантехническое оборудование, рабочее освещение	II категория
Системы связи, сигнализации и диспетчеризации инженерного оборудования	I категория
Технические средства противопожарной защиты, аварийное эвакуационное освещение	I особая категория
Остальные электроприемники	III категория

Машины контактной сварки имеют резкопеременный график нагрузки, что приводит к появлению в питающей сети отклонений и колебаний напряжения, также сварочные машины являются источниками высших

гармоник. В связи с этим, наиболее верным решением является осуществлять питание сварочных машин от отдельных силовых трансформаторов.

Согласно СП РК 4.04-109-2013 Правила проектирования силового и осветительного оборудования промышленных предприятий и с учетом рекомендаций по расчету электрических нагрузок и выбору сетей, питающих установки для контактной сварки М788-917 «для питающих сетей следует применять магистральные схемы, в том числе схемы блоков трансформатор-магистраль, по возможности без распределительных щитов на подстанциях и с возможно малым числом промежуточных распределительных пунктов и ступеней защиты в цеху. По возможности должно быть исключено питание по магистрали электроприемников различного технологического назначения» [23].

Таким образом, с учетом взаимного расположения и количества потребителей питающая сеть сварки будет выполняться магистральными и распределительными шинпроводами от отдельных силовых трансформаторов. Остальные электроприемники планируется запитывать по преимущественно радиальной схеме. Предварительная структурная схема электроснабжения цеха приведена на рисунке 6.

Дополнительно, по требованию заказчика, нужно предусмотреть один силовой трансформатор, находящийся в холодном резерве для питания сварочного оборудования.

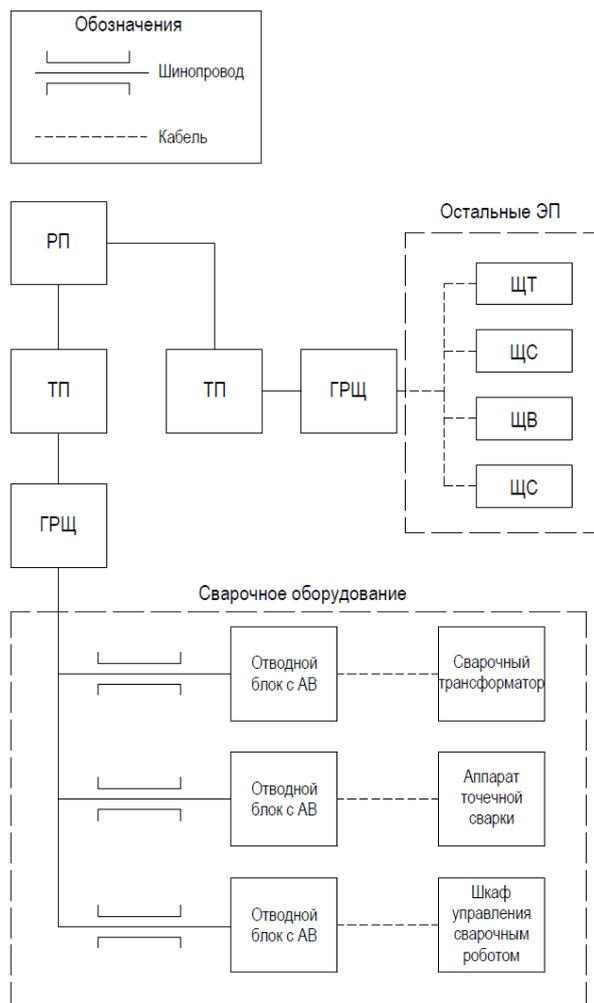


Рисунок 6 – Структурная схема ЭС кузовного цеха

2.2 Расчет электрических нагрузок контактной сварки

В качестве основной методики расчета для сварочного оборудования использованы «Рекомендации по расчету электрических нагрузок и выбору сетей, питающих установки для контактной сварки М788-917». Данная методика расчета электрических нагрузок предназначена для различных машин контактной сварки металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности. Методика также может быть использована для расчета любых нагрузок, характеризуемой большой частотой и малой продолжительностью включения.

Расчет нагрузок выполнен исходя из следующих технологических данных:

- метод производства – партиями. В каждом цехе (Chery, GWM, Changan) одновременно производится по одной модели. Сварочные трансформаторы других моделей не участвует в работе;
- учтено сварочное оборудование для расширения (увеличение локализации, количества операций на заводе в дальнейшем).

Величины, используемые в расчете:

S_y – установленная мощность сварочных трансформаторов машины при номинальной паспортной продолжительности включения, указывается в паспорте машины, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки данной машины, выражающий отношение пиковой потребляемой мощности к установленной, отн. ед.;

K_B – коэффициент включения, отражающий длительность включения машины в полном цикле сварки, отн. ед.;

$$K_B = \frac{tc}{tц}, \quad (1)$$

где tc – продолжительность сварки, с;

$tц$ – продолжительность цикла сварки, с;

S_c – средняя мощность, кВА;

$S_э$ – эффективная мощность, кВА;

$S_{п}$ – пиковая мощность, кВА; это кратковременная мощность, потребляемая машиной из сети при сварке изделий заданных размеров и марки металла.

$i_{п}$ – индивидуальный пиковый ток сварочной машины, А;

$I_э$ – эффективная нагрузка группы сварочных машин;

DI – дисперсия нагрузки фазы, A^2 ;

β – вероятностный коэффициент, определяемый по графику (рисунок 7) для значений $n_3 \overline{K_B}$;

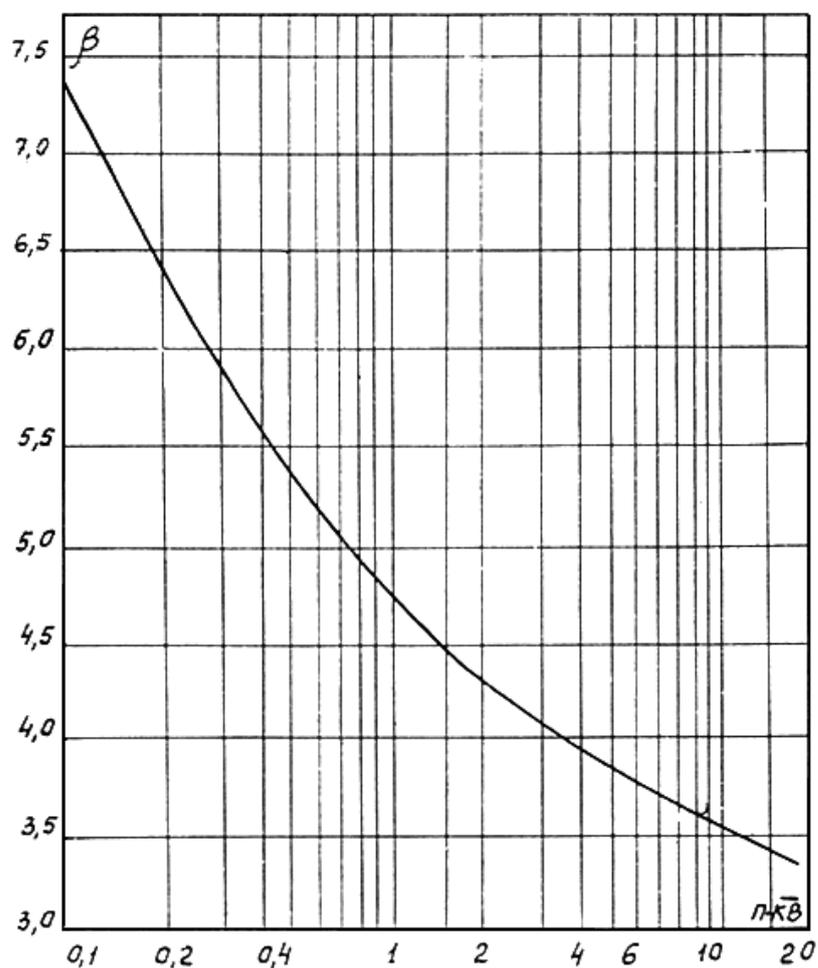


Рисунок 7 – Кривая для определения вероятностного коэффициента β

Один цикл работы точечного сварочного аппарата представляет собой периоды, изображенные на рисунке 8.

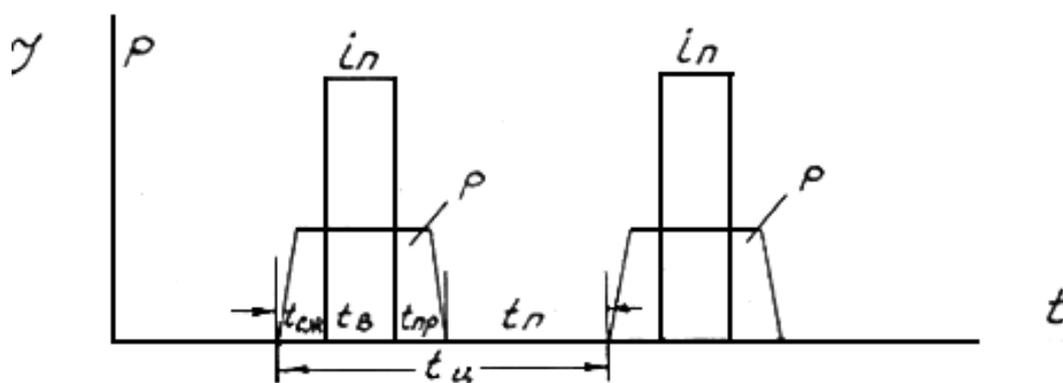


Рисунок 8 – График работы машины контактной сварки

Расшифровка обозначений рисунка 8 представлена ниже.

P – усилие сжатия электродов,

$t_{ц}$ – время цикла одной сварки,

$t_{сж}$ – время сжатия электродов,

$t_{в}$ – время сварки,

$t_{пр}$ – время проковки (остывания),

$t_{п}$ – время паузы.

«При отсутствии расчетных технологических данных или графиков нагрузки машин за цикл сварки расчет нагрузок производится с помощью среднестатистических коэффициентов загрузки и включения» [13].

«Паспортная продолжительность включения для отечественных машин в основном составляет 20%, для импортных – 50%.

Коэффициент мощности сварочных машин на основании результатов экспериментальных обследований машиностроительных предприятий принят равным 0,6.» [13].

Согласно представленным данным от технологов, таких как время цикла сварки, количество сварочных точек и времени сварки, расчетный коэффициент включения оказался близок к среднестатистическому. В виду отсутствия точных данных по оборудованию, принято решение использовать максимальные значения среднестатистических данных для запаса.

Таким образом коэффициент включения K_B принят 0,05; коэффициент загрузки K_3 принят 2; коэффициент мощности однофазных АС машин принят 0,6, а трехфазных MFDC машин и роботов 0,9 (в среднем такие машины имеют $\cos \varphi = 0,9 - 0,95$).

Номинальное напряжение на низкой стороне согласно п. 5.3.2 [23] принимается 400/230 В.

«При пользовании среднестатистическими коэффициентами загрузки и включения, приведенными в таблице 1.1, потребляемые средняя S_c , эффективная $S_э$ и пиковая S_{II} мощности определяются соответственно по следующим формулам, кВА:

$$S_c = S_y \cdot K_3 \cdot K_B, \quad (2)$$

$$S_э = S_y \cdot K_3 \cdot \sqrt{K_B}, \quad (3)$$

$$S_{II} = S_y \cdot K_3. \quad (4)$$

При пользовании в качестве исходных данных установленной мощности сварочных трансформаторов и среднестатистических коэффициентов загрузки и включения индивидуальные пиковые токи машин определяются следующим образом, А:

Для однофазных машин

$$i_{II} = \frac{S_y \cdot K_3}{U_H} \quad (5)$$

Для трехфазных машин». [13]

$$i_{II} = \frac{S_y \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (6)$$

По методике расчет нагрузок рекомендуется выполнять в два этапа. На первом этапе определяется ориентировочная эффективная мощность машин контактной сварки. На основании этой мощности намечается схема внутрицехового электроснабжения, выбираются количество и мощность трансформаторов, решается вопрос о применении устройств компенсации реактивной мощности, производится размещение подстанций и элементов питающей сети 400 В.

На втором этапе расчетов производится распределение сварочных машин по фазам питающей сети, выполняется окончательный расчет намеченной схемы электроснабжения и отдельных ее элементов, выполняется проверка по потерям напряжения.

Исходные данные от технологов по сварочному оборудованию приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Исходные данные от технологов по сварочному оборудованию

№ на чертеже	Маркировка оборудования на плане	Наименование оборудования	Тип, модель, или № чертежа	Краткая характеристика, габариты	Электроэнергия: кВт, А, Гц					Total (всего)			Total (всего) (под расширение)	
					Кол-во фаз	Напряжение, В	Частота (Гц)	Мощность		Текущее кол-во (а)	Кол-во под расширение (b)	Всего (a+b)	Мощность	
								кВт	кВа				кВт	кВа
Сварочное оборудование CHERY														
Ch.1	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-ТХХ	Контроллер с трансформатором тип РТВ200-405-CE-NGR-1	«ОВАРА», Корея	Ш740*Г800*В823, масса 230 кг	1 Ф	400	50	-	180	71	117	188	-	37600
Ch.2	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-ТХХ	Сварочный трансформатор MFDC	-	-	3 Ф	400	50	-	85	90	94	184	-	15640
Ch.5*	-	Сварочные клещи TRCN-6015303-A-R с трансформатором R91-445C5S	«DENGENSHA MFG..LTD», Япония	Масса клещей 121кг Масса трансф. 37кг	3 Ф	400	50 Гц	-	80	4	0	4	-	320
Ch.9	ASWM.XX	PIDS Stud Robotic Welding Machine PIDS-A20	«Hongbai Technology», Китай	-	3 Ф	400	50 Гц	-	90	15	0	15	-	1800
Ch.10	ASWM.XX	PIDS Stud Robotic Welding Machine PIDS-A20	«Hongbai Technology», Китай	-	3 Ф	400	50 Гц	-	90	0	0	0	-	0
-	-	Sub-total	-	-	-	-	-	-	-	180	211	391	-	55360
Сварочное оборудование GWM														
GWM.1	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-ТХХ	Контроллер с трансформатором тип РТВ200-405-CE-NGR-1	«ОВАРА», Корея	Ш740*Г800*В823, масса 230 кг	1	400	50	-	180	134	133	267	-	53400
GWM.2	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-ТХХ	Сварочный трансформатор MFDC	-	-	3	400	50	-	85	22	28	50	-	4250
GWM.3	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-RXX	Сварочные клещи TRCN-6015303-A-R с трансформатором R91-445C5S	«DENGENSHA MFG..LTD», Япония	Масса клещей 121кг Масса трансф. 37кг	3	400	50	-	80	5	0	5	-	400
GWM.6	ASWM.XX	Аппарат приварки шпилек PIDS	«Hongbai Technology», Китай PIDS-A20	-	3	400	50	-	90	6	0	6	-	720
-	-	Sub-total	-	-	-	-	-	-	-	167	161	328	-	58770
Сварочное оборудование CHANGAN														
CGN.1	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-ТХХ	Сварочный трансформатор MFDC	-	-	3	400	50	-	85	186	118	304	-	25840
CGN.2	ЦЕХ-УЧАСТОК-СТАНЦИЯ-RXX	Сварочные клещи TRCN-6015303-A-R с трансформатором R91-445C5S	«DENGENSHA MFG..LTD», Япония	Масса клещей 121кг Масса трансф. 37кг	3	400	50	-	80	8	0	8	-	640
CGN.6	ASWM.XX	Аппарат приварки шпилек PIDS	«Hongbai Technology», Китай	-	3	400	50	-	90	6	0	6	-	720
-	-	Sub-total	-	-	-	-	-	-	-	202	118	320	-	27200

Первый этап.

«Все сварочные машины считаются равномерно распределенными по фазам (по эффективной мощности) и рассматриваются как однофазные.

Для каждой сварочной машины определяются величины:

$$S_c = S_{\Pi} \cdot K_B, \quad (7)$$

$$S_3^2 = S_{\Pi}^2 \cdot K_B. \quad (8)$$

Ориентировочная расчетная сварочная нагрузка, кВА:

$$S_3 = \sqrt{(\sum S_c)^2 + 3 \sum S_3^2} \quad (9)$$

». [13]

В связи с большой трудоемкостью расчетов для крупных сварочных цехов и высокой вероятностью ошибки все расчеты выполнены с помощью программы MS Excel. Результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Первый этап расчета (вариант 1)

CHERY									
Сварочная машина		Исходные данные			Расчетные данные				
Тип	Кол-во	Sy	Kз	Kв	SyΣ	SπΣ=Sy·Kз	Sπ	ScΣ=SπS·Kв	Sэ²=Sπ²·Kв
Сварочный транс AC	110	180	2	0,05	19800	39600	360	1980	712800
Сварочный транс MFDC	123	85	2	0,05	10455	20910	170	1045,5	177735
Аппарат приварки шпилек	9	90	1,5	0,03	810	1215	135	36,45	4920,75
Робот PRC 7300	4	80	2	0,2	320	640	160	128	20480
Итого	-	-	-	-	31385	-	-	3189,95	915935,75
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3594,939256	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

GWM									
Сварочная машина		Исходные данные			Расчетные данные				
Тип	Кол-во	Sy	Kз	Kв	SyΣ	SπΣ=Sy*Kз	Sπ	ScΣ=SπS×Kв	Sэ^2=Sπ^2×Kв
Сварочный транс AC	204	180	2	0,05	36720	73440	360	3672	1321920
Сварочный транс MFDC	22	85	2	0,05	1870	3740	170	187	31790
Аппарат приварки шпилек	6	90	1,5	0,03	540	810	135	24,3	3280,5
Робот PRC 7300	4	80	2	0,2	320	640	160	128	20480
Итого	-	-	-	-	39450	-	-	4011,3	1377470,5
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4496,992238	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHANGAN									
Сварочная машина		Исходные данные			Расчетные данные				
Тип	Кол-во	Sy	Kз	Kв	SyΣ	SπΣ=Sy*Kз	Sπ	ScΣ=SπS×Kв	Sэ^2=Sπ^2×Kв
Сварочный транс AC	0	180	2	0,05	0	0	360	0	0
Сварочный транс MFDC	218	85	2	0,05	18530	37060	170	1853	315010
Аппарат приварки шпилек	6	90	1,5	0,03	540	810	135	24,3	3280,5
Робот PRC 7300	8	80	2	0,2	640	1280	160	256	40960
Итого	-	-	-	-	19710	-	-	2133,3	359250,5
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2372,492443	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Из расчета по варианту 1 видно, что эффективная нагрузка сварочных машин превышает номиналы стандартных силовых трансформаторов 2500 и 3150 (3200) кВА. Включение трансформаторов на параллельную работу решено не применять в связи с усложнением схемы и требуемой высокой электродинамической стойкостью электрооборудования. Итого для питания оборудования контактно-точечной сварки необходимо предусмотреть КТП с шестью силовыми трансформаторами, каждый из которых питает один магистральный шинопровод. Результаты сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета

Сварочная машина		Исходные данные			Расчетные данные				
Тип	Кол-во	Sy	Kз	Kв	SyS	SπS=Sy·Kз	Sπ	ScS=SπS·Kв	Sэ ² =Sπ ² ·Kв
Сварочный транс AC	114	180	2	0,05	20520	41040	360	2052	738720
Сварочный транс MFDC	0	85	2	0,05	0	0	170	0	0
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	270	405	135	12,15	1640,25
Робот PRC 7300	0	80	2	0,2	0	0	160	0	0
Итого	-	-	-	-	20790	-	-	2064,15	740360,25
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2545,93715	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	90	180	2	0,05	16200	32400	360	1620	583200
Сварочный транс MFDC	22	85	2	0,05	1870	3740	170	187	31790
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	270	405	135	12,15	1640,25
Робот PRC 7300	4	80	2	0,2	320	640	160	128	20480
Итого	-	-	-	-	18660	-	-	1947,15	637110,25
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2388,037661	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	52	180	2	0,05	9360	18720	360	936	336960
Сварочный транс MFDC	63	85	2	0,05	5355	10710	170	535,5	91035
Аппарат приварки шпилек	0	90	1,5	0,03	0	0	135	0	0
Робот PRC 7300	4	80	2	0,2	320	640	160	128	20480
Итого	-	-	-	-	15035	-	-	1599,5	448475
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975,810024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	58	180	2	0,05	10440	20880	360	1044	375840
Сварочный транс MFDC	60	85	2	0,05	5100	10200	170	510	86700
Аппарат приварки шпилек	9	90	1,5	0,03	810	1215	135	36,45	4920,75
Робот PRC 7300	0	80	2	0,2	0	0	160	0	0
Итого	-	-	-	-	16350	-	-	1590,45	467460,75
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982,905306	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	0	180	2	0,05	0	0	360	0	0
Сварочный транс MFDC	104	85	2	0,05	8840	17680	170	884	150280
Аппарат приварки шпилек	2	90	1,5	0,03	180	270	135	8,1	1093,5
Робот PRC 7300	8	80	2	0,2	640	1280	160	256	40960
Итого	-	-	-	-	9660	-	-	1148,1	192333,5
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1376,6387	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	0	180	2	0,05	0	0	360	0	0
Сварочный транс MFDC	114	85	2	0,05	9690	19380	170	969	164730
Аппарат приварки шпилек	4	90	1,5	0,03	360	540	135	16,2	2187
Робот PRC 7300	0	80	2	0,05	0	0	160	0	0
Итого	-	-	-	-	10050	-	-	985,2	166917
Sэ	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Второй этап.

На данном этапе производится распределение однофазных сварочных машин по фазам питающей и распределительной сети, выполняется окончательный расчет намеченной схемы электроснабжения и выбор всех элементов сети.

«При этом рекомендуется: при установке в цехе сварочных машин с незначительно отличающимися коэффициентами включения допускается распределять по фазам пиковую мощность сварочных машин $S_{\text{п}}$.» [13]

«Определение средней, эффективной и пиковой нагрузки производится для одной наиболее загруженной фазы.

Средний ток питающей линии получается как арифметическая сумма средних токов всех машин, подключенных к этой фазе, A :

$$\bar{I} = \Sigma \bar{i} \quad (10)$$

где $\bar{i} = i_{\text{п}} \cdot K_{\text{в}}$ – средняя нагрузка отдельной сварочной машины.» [13]

«Эффективная нагрузка группы сварочных машин:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\bar{I}^2 + DI} \quad (11)$$

где DI – дисперсия нагрузки фазы, A^2 .

При $K_{\text{в}} \leq 0,15$

$$DI = \Sigma i_{\text{п}}^2 \cdot K_{\text{в}} \quad (12)$$

Пиковая нагрузка группы сварочных машин:

$$I_{\text{п}} = \bar{I} + \beta \cdot \sqrt{DI} \quad (13)$$

где β – вероятностный коэффициент, определяемый по графику (рисунок 7).

Пиковая нагрузка определяется суммарной нагрузкой совпавших в работе сварочных машин. Для группы машин с разными индивидуальными пиковыми токами коэффициент β определяется по рисунку 7 для значений $n_{\text{э}} \cdot \overline{K_{\text{в}}}$, где $n_{\text{э}}$ – эффективное число машин с одинаковым индивидуальным пиковым током, создающим те же самые значения средней нагрузки, эффективной нагрузки и дисперсии, что и фактическое кол-во машин с разными индивидуальными пиковыми токами.» [13]

«При $K_{\text{в}} \leq 0,15$

$$n_{\text{э}} = \frac{\overline{I^2}}{DI \cdot \overline{K_{\text{в}}}}, \quad (14)$$

где $\overline{K_{\text{в}}}$ – усредненное значение коэффициента включения всех сварочных машин:

$$\overline{K_{\text{в}}} = \frac{1}{n} \cdot \Sigma K_{\text{в}} \quad (15)$$

». [13]

Рассчитаем магистральные (ШМ1-ШМ6) и распределительные (ШР1.1-ШР1.15) шинопроводы с учетом неодновременности работы и распределения по фазам однофазных машин. Распределительные шинопроводы ШР2.1-ШР2.8, ШР3.1-ШР3.9, ШР4.1-ШР4.10, ШР5.1-ШР5.8, ШР6.1-ШР6.10 рассчитаны аналогичным образом, результаты не приводятся.

Пример распределения однофазных сварочных машин по фазам распределительного шинопровода приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Пример распределения однофазной сварочной нагрузки

Наименование машины	Пики токов сварочных машин i_p , А			
	А	В	С	
GW-INR L-10-T1	900	900	-	ШП1.1
GW-WH L-10-T1	-	900	900	
GW-OTR L-20-T2	900	-	900	
GW-OTR L-10-T1	900	900	-	
*GW-INR L-10-T2	-	900	900	
*GW-WH L-10-T2	900	-	900	
*GW-OTR L-20-T4	900	900	-	
*GW-OTR L-10-T3	-	900	900	
ASWM.19	195,1	195,1	195,1	

Таким образом, определение средней, эффективной и пиковой нагрузки производится для одной наиболее загруженной фазы В.

Результаты расчетов шинопроводов ШМ1-ШМ6 представлены в таблице 7, ШП1.1-ШП1.15 рассчитываются аналогично ШМ.

Таблица 7 - Результаты расчетов шинопроводов ШМ1-ШМ6

Тип машины	Фаз-ность	Мощ-ность, кВА	Коэффициенты		Средняя нагрузка, А i	Пики сварочных машин, А ip	Дисперсия нагрузки, А	Эффектив-ная нагрузка, А	Кол-во	iS	i²S	ipS	S ip²·Кв	Средняя нагрузка, А I	Дисперсия нагрузки, А	Пики сварочных машин, А Ip	Эффектив-ная нагрузка, А
			Кз	Кв													
Сварочный транс AC	1	180	2	0,05	45,0	900,0	40500,0	206,2	76	3420	1,2E+07	68400	3078000	-	-	-	-
Сварочный транс MFDC	3	85	2	0,05	12,3	245,7	3017,6	56,3	0	0	0	0	0	-	-	b	-
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	5,9	195,1	1141,8	34,3	3	17,5578	308,276	585,26	3425,29	-	-	4,1	-
Робот PRC 7300	3	80	2	0,2	46,2	231,2	10692,0	113,3	0	0	0	0	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	79	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	Кв(ср)	0,049	-	-	пэ	77,88	-	3437,56	1,2E+07	68985,3	3081425	3437,56	3081425,29	10634,69	3859,82
-	-	-	-	-	-	-	пэ·Кв	3,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	1	180	2	0,05	45,0	900,0	40500,0	206,2	60	2700	7290000	54000	2430000	-	-	-	-
Сварочный транс MFDC	3	85	2	0,05	12,3	245,7	3017,6	56,3	22	270,231	73024,9	5404,62	66386,3	-	-	b	-
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	5,9	195,1	1141,8	34,3	3	17,5578	308,276	585,26	3425,29	-	-	3,95	-
Робот PRC 7300	3	80	2	0,2	46,2	231,2	10692,0	113,3	4	184,971	8553,58	924,855	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	Кв(ср)	0,056	-	-	пэ	71,82	-	3172,76	7371887	60914,7	2499812	3172,76	2499811,57	9418,02	3544,89
-	-	-	-	-	-	-	пэ·Кв	4,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	1	180	2	0,05	45,0	900,0	40500,0	206,2	35	1575	2480625	31500	1417500	-	-	-	-
Сварочный транс MFDC	3	85	2	0,05	12,3	245,7	3017,6	56,3	63	773,844	598834	15476,9	190106	-	-	b	-
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	5,9	195,1	1141,8	34,3	0	0	0	0	0	-	-	3,95	-
Робот PRC 7300	3	80	2	0,2	46,2	231,2	10692,0	113,3	4	184,971	8553,58	924,855	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	102	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	Кв(ср)	0,056	-	-	пэ	71,47	-	2533,82	3088013	47901,7	1607606	2533,82	1607606,17	7542,08	2833,34
-	-	-	-	-	-	-	пэ·Кв	3,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	1	180	2	0,05	45,0	900,0	40500,0	206,2	39	1755	3080025	35100	1579500	-	-	-	-
Сварочный транс MFDC	3	85	2	0,05	12,3	245,7	3017,6	56,3	60	736,994	543160	14739,9	181053	-	-	b	-
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	5,9	195,1	1141,8	34,3	9	52,6734	2774,49	1755,78	10275,9	-	-	4	-
Робот PRC 7300	3	80	2	0,2	46,2	231,2	10692,0	113,3	0	0	0	0	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	Кв(ср)	0,048	-	-	пэ	75,66	-	2544,67	3625960	51595,7	1770829	2544,67	1770829,38	7867,57	2871,61
-	-	-	-	-	-	-	пэ·Кв	3,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный транс AC	1	180	2	0,05	45,0	900,0	40500,0	206,2	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Сварочный транс MFDC	3	85	2	0,05	12,3	245,7	3017,6	56,3	104	1277,46	1631895	25549,1	313826	-	-	b	-
Аппарат приварки шпилек	3	90	1,5	0,03	5,9	195,1	1141,8	34,3	2	11,7052	137,012	390,173	2283,53	-	-	3,65	-

2.3 Расчет электрических нагрузок прочего электрооборудования

Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий выполняется по методу коэффициента расчетной мощности (или упорядоченных диаграмм) согласно указаниям по расчету электрических нагрузок РТМ 34.18.32.4-92* [21].

Расчет выполняется по форме Ф636-92. Для электроприемников до 1 кВ расчет необходимо сделать для каждого узла питания (РП, шкафа, сборки, распределительного или магистрального шинпровода, трансформаторной подстанции), а также в целом по цеху.

Исходные данные для расчета (графы 1-6) заполняются на основании полученных от технологов и других специалистов заданий на проектирование электротехнической части (графы 1-4) и согласно справочным материалам (графы 5, 6).

В качестве справочных материалов по $K_{и}$ и $\cos \varphi$ используем работу М788-1069-2 «Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок» ВНИПИ Тяжпромэлектропроект [14].

«В соответствии с ПУЭ для выбора сечения проводников потребителей, работающих в повторно-кратковременном режиме этот режим должен быть приведен к продолжительности включения ПВ=100% усножением на $\sqrt{ПВ}$.

Это правило необходимо соблюдать при определении расчетной нагрузки отдельных электроприемников, работающих в повторно-кратковременном режиме. Однако при определении расчетной нагрузки группы, в которую входят электроприемники, работающие в повторно-кратковременном режиме, в качестве установленной мощности следует принимать паспортное значение, так как фактор кратковременности работы этих потребителей учитывается коэффициентом $K_{и}$ » [16].

«Для одиночных ЭП расчетная мощность принимается равной номинальной, для одиночных ЭП повторно-кратковременного режима – равной номинальной, приведенной к длительному режиму.

Резервные электроприемники, ремонтные сварочные трансформаторы и другие ремонтные электроприемники, а также электроприемники, работающие кратковременно (пожарные насосы, задвижки, вентили и т. п.), при подсчете расчетной мощности не учитываются (за исключением случаев, когда мощности пожарных насосов и других противоаварийных ЭП определяют выбор элементов сети электроснабжения). В графах 2 и 4 указываются данные только рабочих ЭП.

Для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность не приводится к длительному режиму работы (ПВ=100%).

При наличии группы однофазных ЭП, которые распределены по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных ЭП в группе, они могут быть представлены в расчете как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью. В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы.» [21]

«Коэффициент расчетной мощности зависит от эффективного числа электроприемников, средневзвешенного коэффициента использования, а также от постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки.

Для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты, значения K_p принимаются по таблице 8.

Для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов K_p принимаются по таблице 9.

Таблица 8 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p для питающих сетей напряжением до 1000 В

n_s	Коэффициент использования K_u								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 9 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

n_s	Коэффициент использования K_u							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85

Продолжение таблицы 9

n_3	Коэффициент использования K_u							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

В проектной отрасли существует определенная проблема с неточностью заданий на электроснабжение от смежных специалистов, особенно при сжатых сроках проектирования. Например, в качестве установленной мощности оборудования с электродвигателями или сантехнических установок указывают механическую мощность на валу [10, п. 5.5.3]. При этом отсутствуют паспортные сведения по КПД, коэффициентах мощности, скорости вращения. В этих случаях остается только использовать усредненные справочные данные по аналогичному оборудованию. Поэтому, в рамках ВКР для электродвигателей небольшой мощности примем их номинальную мощность как установленную электрическую мощность, с целью упрощения расчетов и наглядности результатов [21].

Если ЭП по заданию даны в кВА, то пересчитаем их в кВт по формуле:

$$p_H = S_H \cdot \cos\varphi \quad (16)$$

«Эффективное число электроприемников n_3 рекомендуется определять по выражению:

$$n_3 = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum_1^n n p_H^2} \quad (17)$$

Найденное значение n_3 округляется до ближайшего меньшего целого числа» [21]

Согласно таблице 2, категория надежности электроснабжения прочего электрооборудования III, II, I, I особая. С учетом этого, выбираем

двухтрансформаторную подстанцию с одной секционированной автоматическим выключателем системой сборных шин без АВР. Для электроприемников I категории предусматриваем отдельную панель с АВР на 2 ввода с разных секций сборных шин. Для электроприемников I особой категории (системы противопожарной безопасности) предусматриваем панель ПЭСПЗ с АВР на 3 ввода. Схема электроснабжения цеха представлена на рисунке 9.

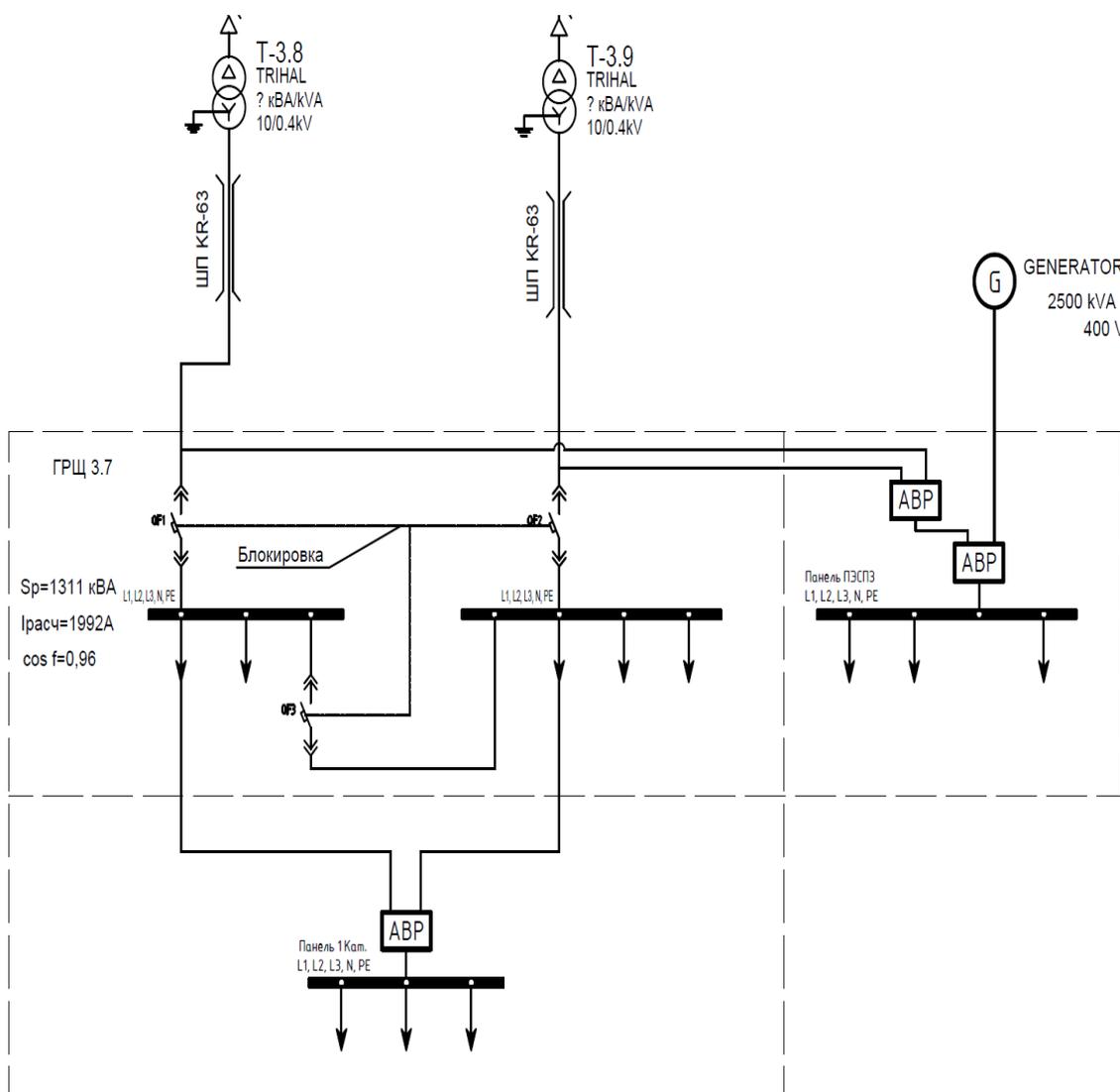


Рисунок 9 – Схема электроснабжения кузовного цеха (не сварка)

Панель ПЭСЗ подключается до вводных аппаратов ГРЩ таким образом, чтобы обеспечить независимость питания электроприемников противопожарной защиты.

По возможности равномерно распределяем нагрузки по секциям ГРЩ.

Выполним расчет электрических нагрузок оборудования, не относящегося к контактной сварке, в табличном виде по форме Ф636-92 отдельно для каждой секции и в целом по цеху для КТП-3.2 (Таблица 10). Остальные расчеты электрических нагрузок рассчитываются аналогично таблице 10. Данные по электроприемникам предоставлены технологами и инженерами смежных разделов проекта.

Расчеты произведены одновременно с выбором УКРМ, который подробно описывается в разделе 2.5 настоящей работы.

На основании результатов расчетов производится выбор оборудования КТП, определяется расчетный ток до силовых сборок.

Таблица 10 – Секция 1 расчет электрических нагрузок

Исходные данные							Расчетные величины		
по заданию технологов				по справочным данным			K _и P _и	K _и P _и tgφ	n _и ²
Наименование ЭП	Колич. ЭП, шт.* n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		Коэфф. исп-я, K _и	коэфф. реактивной мощности				
		одного ЭП, p _и	общая P _и =np _и		cosφ	tgφ			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Передвижной фильтро-вент. агрегат	20	1,10	22,00	0,65	0,80	0,75	14,300	10,725	24,2
Машина для маркировки e8-p122	2	3,00	6,00	0,20	0,65	1,17	1,200	1,403	18
Устройство дуговой сварки Panasonic YD-350FR2	20	10,80	216,00	0,35	0,60	1,33	75,600	100,800	2332,8
Устройство дуговой сварки «Fronius»	8	6,42	51,36	0,35	0,60	1,33	17,976	23,968	329,731
Стационарная техн. Вентиляция	2	45,00	90,00	0,65	0,80	0,75	58,500	43,875	4050
Локальные технологические вентиляторы	58	0,14	7,83	0,65	0,80	0,75	5,090	3,817	1,05705
Таль электрическая цепная	2	2,30	4,60	0,10	0,50	1,73	0,460	0,797	10,58
Таль электрическая цепная	52	1,09	56,68	0,10	0,50	1,73	5,668	9,817	61,7812
Привод передвижения MP 56 L	53	0,20	10,60	0,10	0,50	1,73	1,060	1,836	2,12
Робот R2000iC/210f	5	12,75	63,75	0,10	0,85	0,62	6,375	3,951	812,813
Робот R2000iB/210C	12	15,30	183,60	0,10	0,85	0,62	18,360	11,379	2809,08
Комб. уст-во для заточки и смены свар. Колпачков	12	0,80	9,60	0,10	0,85	0,62	0,960	0,595	7,68
Шкаф управления роботизированной станцией	4	1,10	4,40	0,50	0,70	1,02	2,200	2,244	4,84
Приводные столы конвейера главной линии	26	4,00	104,00	0,40	0,70	1,02	41,600	42,440	416
Шкаф управления конвейером	5	1,10	5,50	0,50	0,70	1,02	2,750	2,806	6,05
Перегрузочная станция	4	6,20	24,80	0,10	0,80	0,75	2,480	1,860	153,76
Компьютерное оборудование	23	0,60	13,80	0,90	0,70	1,02	12,420	12,671	8,28
Локальное электроосвещение	1	75,10	75,10	0,85	0,95	0,33	63,835	20,982	5640,01
Общеховое рабочее электроосвещение	1	26,00	26,00	0,85	0,95	0,33	22,100	7,264	676
UppregHead Conveyor 1	1	70,00	70,00	0,50	0,75	0,88	35,000	30,867	4900
Ворота с электроприводом	3	1,60	4,80	0,10	0,50	1,73	0,480	0,831	7,68
Лифт подъема оборудования и техники с1 эт	1	30,00	30,00	0,10	0,50	1,73	3,000	5,196	900
Аппарат приварки шпилек PIDS	2	76,50	153,00	0,30	0,85	0,62	45,900	28,446	11704,5
Сварочный полуавтомат	10	12,80	128,00	0,35	0,60	1,33	44,800	59,733	1638,4
Универсальный токарный станок CU500M	1	11,00	11,00	0,12	0,65	1,17	1,320	1,543	121
Станок термической резки с ЧПУ GP-1530 START	1	36,00	36,00	0,12	0,65	1,17	4,320	5,051	1296
Редукторный сверлильный станок	2	1,10	2,20	0,12	0,65	1,17	0,264	0,309	2,42

Продолжение таблицы 10

Исходные данные							Расчетные величины		
по заданию технологов				по справочным данным			$K_{иP_{и}}$	$K_{иP_{и}tg\varphi}$	$np_{и}^2$
Наименование ЭП	Колич. ЭП, шт.* n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		Коэфф. исп-я., $K_{и}$	коэфф. реактивной мощности				
		одного ЭП, $p_{и}$	общая $P_{и}=np_{и}$		$\cos\varphi$	$tg\varphi$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Редукторный сверлильный станок	1	1,20	1,20	0,12	0,65	1,17	0,144	0,168	1,44
Ленточнопильный станок	1	2,20	2,20	0,12	0,65	1,17	0,264	0,309	4,84
Торцевая пила	1	2,30	2,30	0,12	0,65	1,17	0,276	0,323	5,29
JET JBG-150 Заточной станок (Точило)	1	0,44	0,44	0,12	0,65	1,17	0,053	0,062	0,1936
JET JBG-200 Заточной станок (Точило)	1	0,67	0,67	0,12	0,65	1,17	0,080	0,094	0,4489
BKL-3000 двухдисковый шлифовальный станок	1	1,50	1,50	0,12	0,65	1,17	0,180	0,210	2,25
Горизонтально-фрезерный станок	1	14,13	14,13	0,12	0,65	1,17	1,696	1,982	199,657
Настольный сверлильный станок 230 В	1	0,52	0,52	0,12	0,65	1,17	0,062	0,073	0,2704
Двухстоечный подъёмник	1	2,20	2,20	0,10	0,50	1,73	0,220	0,381	4,84
Электроосвещение Finish Line	1	12,70	12,70	0,85	0,95	0,33	10,795	3,548	161,29
Шкаф систем связи	8	6,00	48,00	0,90	0,70	1,02	43,200	44,073	288
ЩРВ1	8	-	128,06	0,75	0,85	0,62	96,448	59,852	3943,65
ЩРВ2	9	-	202,10	0,77	0,84	0,63	155,680	98,722	7080,95
ЩРВ5	7	-	65,93	0,70	0,84	0,64	46,344	29,439	1817,44
Офисное рабочее место	132	0,45	59,40	0,90	0,70	1,02	53,460	54,540	26,73
Рукоосушители	11	2,00	22,00	0,15	1,00	0,00	3,300	0,000	44
Холодильники бытовые	5	0,35	1,75	0,40	0,70	1,02	0,700	0,714	0,6125
Итого по КТП	521	-	1975,72	0,46	0,78	0,81	900,92	729,70	51516,7
С учетом КРМ	521	-	1975,72	0,46	0,95	0,32	900,92	729,70	51516,7

2.4 Выбор схем питания и питающих сетей

«Разработка схем питания и питающих сетей цехов, имеющих потребители контактной сварки, осуществляется в следующей последовательности:

- путем упрощенного расчета определяется эффективная мощность нагрузки (см. п.1.5).
 - на основании предварительных расчетов определяется количество и мощность трансформаторов (см. п.3.3), места их установки и намечается схема электроснабжения (см. п.3.2).
 - согласовываются места установки трансформаторных подстанций и трассы магистральных шинопроводов.
 - выполняется уточненный расчет эффективной и пиковой нагрузок, проверка по электродинамической стойкости, потере и колебаниям напряжения с последующей корректировкой схемы.
 - выдаются стройзадания на подстанции и производится окончательная конструктивная проработка элементов схемы электроснабжения.»
- [13]

Основные рекомендации по схеме питания:

- силовые трансформаторы для питания сварочных машин следует размещать как можно ближе к центру нагрузок;
- сварочные машины следует питать от отдельных трансформаторов;
- длина магистральных шинопроводов, как правило, не должна превышать 150 м.

Рассчитаем мощность трансформаторов КТП-3.1.

Выбор трансформаторов для питания сварочных машин.

«Выбор мощности трансформаторов на 1 этапе расчета рекомендуется производить из условий:

- при использовании стандартных трансформаторов

$$S_{HT} \geq \frac{S_{\Sigma}}{0,2 \div 0,6}, \quad (18)$$

где S_{Σ} – расчетная эффективная мощность сварочных машин, кВА;

S_{HT} – номинальная мощность питающего трансформатора, кВА.» [13]

Проведем выбор номинальной мощности при коэффициенте запаса 0,6:

GWM Тр-р 1:

$$S_{HT} \geq \frac{2546}{0,6} = 4243 \text{ кВА}$$

Данная величина соответствует допустимой временной перегрузке для ежедневного цикла работы сухого трансформатора Trihal номинальной мощностью 3150 кВА (рисунки 10, 11) [19]. Перегрузки допускаются без сокращения срока службы, так как компенсируются рабочей (эффективной) нагрузкой меньшей, чем номинальная. Дополнительно, планируется обеспечить разгрузку питающих трансформаторов специальными компенсирующими устройствами реактивной мощности.

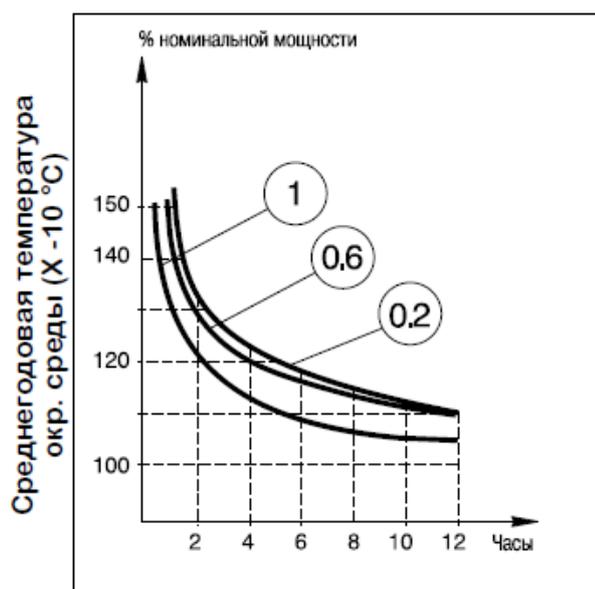


Рисунок 10 – График допустимых перегрузок для ежедневного цикла работы

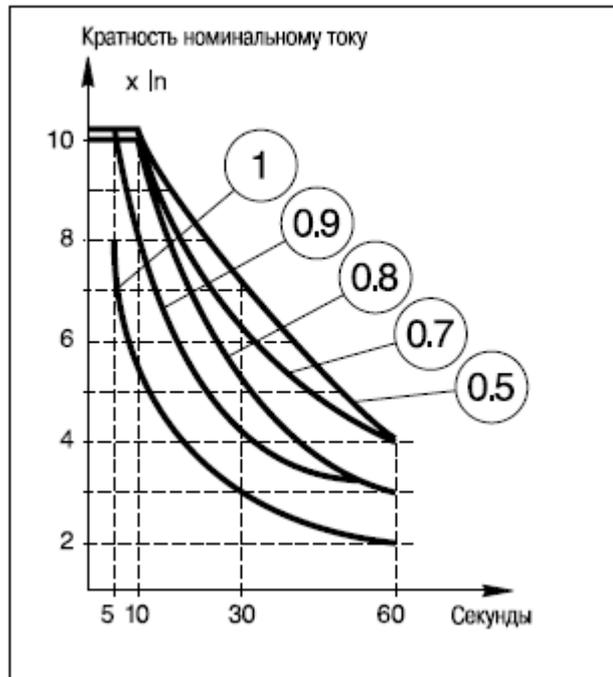


Рисунок 11 – График допустимых кратковременных перегрузок по току

GWM Тр-р 2

$$S_{HT} \geq \frac{2388}{0,6} = 3980 \text{ кВА}$$

CHERY Тр-р 1

$$S_{HT} \geq \frac{1976}{0,6} = 3293 \text{ кВА}$$

CHERY Тр-р 2

$$S_{HT} \geq \frac{1983}{0,6} = 3305 \text{ кВА}$$

CHANGAN Тр-р 1

$$S_{HT} \geq \frac{1377}{0,6} = 2295 \text{ кВА}$$

CHANGAN Тр-р 2

$$S_{HT} \geq \frac{2388}{0,6} = 2022 \text{ кВА}$$

«Определяющим условием выбора трансформаторов на 2 этапе расчета является проверка по допустимой кратности ударных толчков нагрузки.

Стандартные трансформаторы согласно ГОСТ 11766-85 допускают кратности ударных толчков в сутки:

$1,3S_{HT}$ при частоте 1000 ударных пиков;

$2S_{HT}$ при частоте 100 ударных пиков;

$4S_{HT}$ при частоте 3 ударных пиков.

С учетом вышеизложенного, а также на основании опыта эксплуатации сварочных цехов автомобильной промышленности, принимается допустимая кратность ударных толчков при эффективной нагрузке не более $1,0S_{HT}$:

Для стандартных трансформаторов - $1,3S_{HT}$.» [13]

Номинальный ток силового трансформатора 3150 кВА.

$$I_{HT} = \frac{S_{HT}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3150}{1,732 \cdot 0,4} = 4546 \text{ А} \quad (19)$$

Согласно рисунку 10, сухой трансформатор Trihal при коэффициенте загрузки 0,8 можно перегружать на $3I_{HT}$ (13638 А) в течение 60 секунд.

В итоге окончательный выбор силовых трансформаторов для контактной сварки следующий:

GWM – 2×3150 кВА;

CHERY – 2×3150 кВА;

CHANGAN – 2×2500 кВА;

Один трансформатор на 3150 кВА предусматривается в холодном резерве. Все трансформаторы сухие с литой изоляцией Trihal 10/0,4 кВ с принудительной вентиляцией.

Рассчитаем мощность трансформаторов КТП-3.2 с учетом коэффициента загрузки и КРМ. Согласно рекомендациям по выбору коэффициента загрузки цеховых трансформаторов, приведенным в [15], [17], примем $K_3 = 0,6$. Тогда мощность трансформаторов двухтрансформаторной подстанции:

$$S_T = \frac{S_p}{2 \cdot K_3} = \frac{1311}{2 \cdot 0,6} = 1093 \text{ кВА} \quad (20)$$

Выбираем сухие трансформаторы Trihal ближайšie большие по мощности на 1250 кВА.

Выполним проверку коэффициента загрузки в аварийном режиме (при питании всей нагрузки от одного трансформатора):

$$K_3 = \frac{S_p}{N_T \cdot S_T} = \frac{1311}{1 \cdot 1250} = 1,05 \quad (21)$$

Выбранные трансформаторы соответствуют расчетным нагрузкам и перегрузкам в аварийном режиме.

Выбор питающих сетей.

Выбор питающих сетей должен производиться главным образом из условий нагрева сетей по величине эффективного тока, с учетом электродинамической стойкости к кратковременным пиковым нагрузкам с последующей проверкой сети на допустимую потерю напряжения.

При выборе типа шинопроводов следует учитывать:

– шинопроводы могут допускать кратковременные перегрузки.

Допустимые кратковременные перегрузки шинопровода ШМА-68-Н-

1600А по данным треста «Электромонтажконструкция» приведены в таблице 11» [13].

Таблица 11 - Допустимые кратковременные перегрузки ШМА-68-Н-1600А

Характеристика	Величина		
	1	2	3
Допустимая кратность нагрузки	3	2,5	2,0
При частоте пиков в час	10	60	430

В данном проекте планируется применить шинопроводы серии ЕЗ компании PitON Electric. Для шинопровода ЕЗ на данный момент отсутствуют сведения о допустимой кратковременной перегрузке, однако это шинопровод последнего поколения с литой изоляцией и по своей конструкции он гораздо более совершенен, чем ШМА-68-Н, а производитель готов предоставить гарантийные обязательства. Поэтому до проведения соответствующих испытаний воспользуемся данными шинопровода ШМА-68-Н.

«С учетом вышеприведенного, а также во избежание больших потерь напряжения в сетях, при питании сварочных нагрузок с $k=5,5\%$ не следует допускать загрузку шинопроводов пиковыми токами выше $1,5 \div 2$ номинального тока шинопровода.

$$I_{\text{нш}} \leq \frac{I_{\text{п}}}{1,5 \div 2} \quad (22)$$

» [13]

Выберем номиналы магистральных шинопроводов контактной сварки с учетом пиковой нагрузки:

GWM ШМ1 – 6400 А;

GWM ШМ2 – 5000 А;

CHERY ШМ3 – 5000 А;

CHERY ШМ4 – 5000 А;

CHANGAN ШМ5 – 2500 А;

CHANGAN ШМ6 – 2500 А.

«Выбор сечений проводов и кабелей для питающих распределительных сетей осуществляется по эффективному току для группы сварочных машин

$$I_d \geq I_э \quad (23)$$

где I_d – допустимая нагрузка на проводник согласно ПУЭ.

Для отдельных сварочных машин

$$I_d \geq 1,2 \cdot i_э \quad (24)$$

где 1,2 – коэффициент запаса.

$$i_э = i_{п\sqrt{K_B}} \quad (25)$$

Провода и кабеля, выбранные по условиям нагрева, проверяются по условиям защищенности аппаратами защиты согласно требованиям ПУЭ.» [13]

Для обычных нагрузок выбор кабеля осуществляется по условию:

$$I_d \geq I_p \quad (26)$$

I_d определяется по ПУЭ, ГОСТ на кабели с учетом поправочных коэффициентов на температуру окружающей среды и условия прокладки.

Однако, в данном случае, так как в СТУ по пожарной безопасности содержится требование об обязательной защите всех сетей от перегрузки, кабели необходимо выбирать после выбора аппаратов защиты в соответствии с время-токовыми характеристика аппаратов. Сеть считается защищенной, если обеспечивается определенное соответствие между аппаратом защиты и

защищаемым проводником. Как правило, защита от перегрузки приводит к незначительному увеличению сечения проводников.

Подробный выбор защитных аппаратов и проводников приводится в разделе 3.

2.5 Компенсация реактивной мощности

«Сварочные машины имеют сравнительно низкий $\cos\varphi$ и потребляют значительный реактивный ток, то есть требуют устройства компенсации. Установка шунтовых конденсаторов не решает проблемы, так как при резко переменной реактивной нагрузке, снижая провалы напряжения, способствуют увеличению напряжения в момент минимума нагрузок и, следовательно, в целом, не снижает амплитуды колебания напряжения.

Существенное влияние на надежность работы шунтовых конденсаторов оказывают высшие гармоники напряжения, возникающие в сварочных сетях.

Применение конденсаторов параллельного включения в сетях с источниками высших гармоник приводит к возникновению резонансов тока, и конденсаторы перегружаются токами высших гармоник. Это приводит к быстрому выходу конденсаторов из строя. Поэтому применять регулируемые и нерегулируемые конденсаторные установки в сетях 0,4 кВ, питающих сварочные машины, не рекомендуется. Исключения могут составлять только конденсаторные установки с защитой от высших гармоник, которая может выполняться с помощью специальных реакторов, включенных последовательно с конденсаторными установками.» [13]

Приведенные выше сведения получили подтверждение из опыта эксплуатации двух крупных аналогичных предприятий в России, где по информации от инженерно-технического персонала, были применены стандартные решения КРМ на конденсаторах и контакторах. Установки КРМ не только быстро вышли из строя, но и в целом не показали эффективности,

так как из-за низкого быстродействия и резкопеременного характера нагрузки не успевали корректно обрабатывать.

Для решения этой проблемы принято решение о применении автоматической системы фильтровых тиристорных конденсаторных установок коррекции коэффициента мощности Hybrid VAR Compensator (HVC) компании Schneider Electric. Система состоит из пассивной (обеспечивает фиксированную компенсацию) и активной части (подключается на момент пиков нагрузки). По сути, это конденсаторные установки с коммутацией ступеней полупроводниковыми тиристорными свитчами и защитой конденсаторов от токов гармоник колебательными L-C контурами. Упрощенно такая установка отличается от традиционных конденсаторных УКРМ способом коммутации (включения, отключения) ступеней, для которой используются IGCT тиристоры. Заявленное быстродействие 5 мс. Пример действия системы показан на графике (рисунок 29).

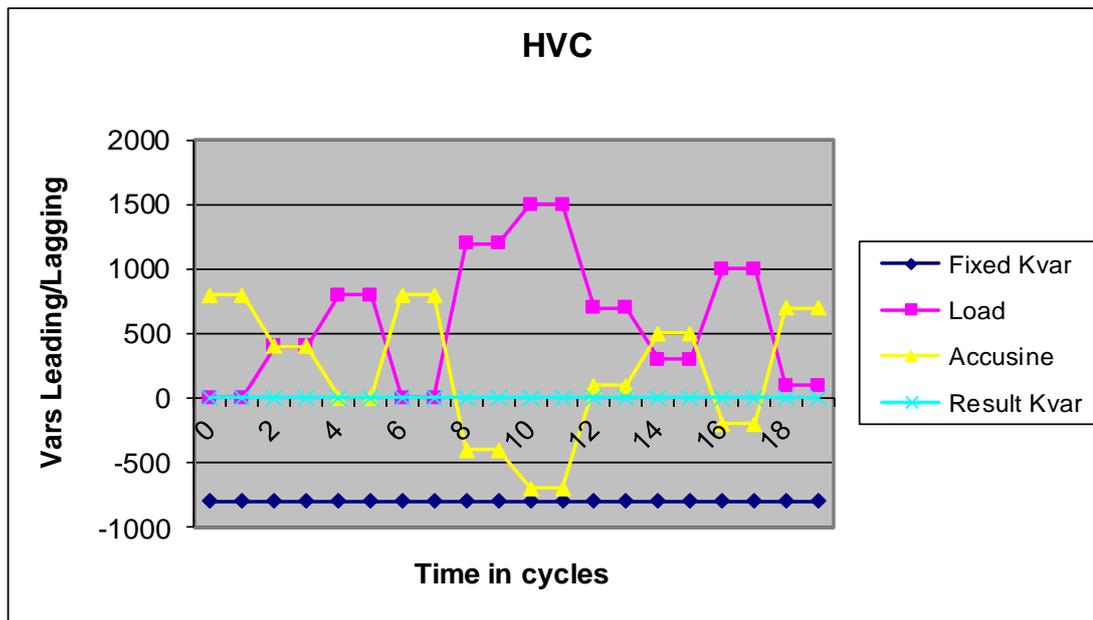


Рисунок 12 – График потребления реактивной мощности при использовании системы HVC

«При проектировании электроустановок следует стремиться к тому, чтобы расчеты электрических нагрузок и средств КРМ, выполняемые согласно РТМ 34.18.32.4-92 [21] и РТМ 36.18.32.6-92 [22] соответственно, производились одновременно. Это позволяет выполнить в один этап расчеты электрических нагрузок, выбор средств КРМ и мощности устанавливаемых ТП. В тех случаях, когда расчет средств КРМ не выполняется одновременно с расчетом электрических нагрузок, по результатам последнего осуществляется лишь предварительный выбор количества и мощности ТП, который должен быть откорректирован впоследствии, после выполнения расчетов средств КРМ.

Результирующие нагрузки по каждой подстанции с учетом средств КРМ рекомендуется указывать в формуляре Ф202-90». [17]

В связи с отсутствием в открытых источниках каталогов и информации по подбору НВС от компании Schneider Electric, расчет и подбор системы компенсации для контактной точечной сварки выполняется заводом изготовителем.

В качестве средств КРМ в сетях общего назначения принимаются батареи низковольтных и высоковольтных конденсаторов и синхронные электродвигатели.

Батареи конденсаторов как средство компенсации реактивной мощности (РМ) получили на промышленных предприятиях наибольшее распространение в виду серьезных преимуществ перед другими видами источников РМ [3].

Расчеты компенсации РМ выполним по методике, приведенной в методических указаниях [24].

Расчетную реактивную мощность КУ определим по выражению:

$$Q_{к.р} = P_p(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k) \quad (27)$$

Заданный $\cos\varphi_k$ примем 0,95.

Тогда

$$\operatorname{tg}\varphi_k = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_k} - 1} = 0,33 \quad (28)$$

Значения P_p , $\operatorname{tg}\varphi$ принимаются из расчета нагрузок в предыдущей главе.

Следовательно, для секции 1 КТП-3.2

$$Q_{к.р} = 657,67 \cdot (0,81 - 0,33) = 316 \text{ квар}$$

С небольшим запасом выберем УКМ-0,4-325-25 УЗ (фильтрокомпенсационное устройство на 325 квар с автоматическим ступенчатым регулированием по 25 квар) завода АО «Чебоксарский электромеханический завод».

«После выбора стандартного КУ определяется фактическое значение $\cos\varphi$ » [24]:

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{укрм}}{P_p} = 0,81 - \frac{325}{657,67} = 0,32 \quad (29)$$

«где $Q_{укрм}$ – стандартное значение мощности выбранного КУ, квар» [24].

Зная $\operatorname{tg}\varphi$, определяют $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = \cos(\operatorname{arctg}(0,32)) = 0,95 \quad (30)$$

Для секции 2 КТП-3.2

$$Q_{к.р} = 663,74 \cdot (0,86 - 0,33) = 352 \text{ квар}$$

Выберем УКМ-0,4-350-50 УЗ (фильтрокомпенсационное устройство на 350 квар с автоматическим ступенчатым регулированием по 50 квар).

$$tg\varphi = 0,86 - \frac{352}{663,74} = 0,33$$
$$\cos\varphi = \cos(\arctg(0,33)) = 0,95.$$

Итоговый расчет нагрузки с учетом КРМ приведен в таблице 10.

2.6 Определение максимальной потери напряжения

Потери напряжения машин контактной сварки.

«График нагрузки установок контактной сварки носит импульсный характер и характеризуется большими, часто следующими друг за другом, пиками относительно небольшой продолжительности.

Резкопеременный график нагрузки машин приводит к появлению в питающей сети отклонений и колебаний напряжения.» [13]

Любые отклонения напряжения оказывают значительное влияние на качество сварки, так как приводят к пропорциональному отклонению сварочного тока, следовательно изменяют температурный режим сварки. Снижение напряжения ниже допустимого уровня является одной из причин серьезного дефекта сварки – непровара, что по сути является браком производства.

По М788-917 и СП РК 4.04-109-2013 допустимая кратковременная максимальная потеря напряжения при совпадении пиков нагрузки нескольких машин – 10%.

«Определение максимальной потери напряжения основано на методе «фиктивных нагрузок», в соответствии с которым суммарная потеря напряжения в сети в любой момент времени обуславливается числом совпавших в работе машин и величинами потерь напряжения, создаваемых работой каждой из машин. Поскольку потеря напряжения в сети от работы одной машины пропорциональна ее токовой нагрузке, ее можно

рассматривать как «фиктивную нагрузку» этой машины. Это позволяет вести расчет суммарной максимальной потери напряжения аналогично расчету пиковой токовой нагрузки.

Потеря напряжения, вызываемая каждой отдельной машиной, В:

$$\Delta U_{\Pi} = \alpha \cdot Z \cdot i_{\Pi} \quad (31)$$

$$Z = (r_{\text{тр}} + r_0 \cdot L) \cos \varphi + (x_{\text{тр}} + x_0 \cdot L) \sin \varphi \quad (32)$$

Усредненная потеря напряжения от отдельной сварочной машины, В:

$$\Delta U = K_{\text{в}} \cdot \Delta U_{\Pi} \quad (33)$$

Усредненная потеря напряжения в питающей сети от группы машин, В:

$$\Delta \bar{U} = \Sigma K_{\text{в}} \cdot \Delta U_{\Pi} \quad (34)$$

Усредненная дисперсия потери напряжения в питающей сети от группы машин, В²:

при $K_{\text{в}} \leq 0,15$

$$D\Delta U = \Sigma \Delta U_{\Pi}^2 \cdot K_{\text{в}} \quad (35)$$

Максимальная потеря напряжения в силу принципа фиктивных нагрузок рассчитывается аналогично пиковой нагрузке:

$$\Delta U_{\text{max}} = \Delta \bar{U} + \beta \cdot \sqrt{D\Delta U} \quad (36)$$

при $K_{\text{в}} \leq 0,15$

$$n_{\text{э}} = \frac{\Delta \bar{U}^2}{D\Delta U \cdot K_{\text{в}}} \quad (37)$$

». [13]

Сопротивления комплектных шинопроводов PitON E3 (Al) найдем в каталоге производителя, для ШМ1:

Фазное активное сопротивление $r_0 = 0,006$ мОм/м, фазное реактивное сопротивление при 50 Гц $x_0 = 0,002$ мОм/м.

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{к.ном}} U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{т.ном}}^2} \cdot 10^6 \quad (38)$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - \left(\frac{100 P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{т.ном}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{т.ном}}} \cdot 10^4 \quad (39)$$

где:

$S_{\text{т.ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$P_{\text{к.ном}}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$U_{\text{ннном}}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;

$u_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Паспортные данные трансформатора Trihal 10/0,4 кВ:

$$S_{\text{т.ном}} = 3150 \text{ кВА}$$

$$P_{\text{к.ном}} = 21,8 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{ннном}} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$u_{\text{к}} = 6 \%$$

Следовательно:

$$r_{\text{тр}} = \frac{21,8 \cdot 0,16}{9922500} \cdot 10^6 = 0,35 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{36 - \left(\frac{100 \cdot 21,8}{3150}\right)^2} \cdot \frac{0,16}{3150} \cdot 10^4 = 3,0 \text{ мОм}$$

Результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет для ШМ1

Тип машины	Кв	Пики токов сварочных машин, А			L, м	Удельная потеря напряж, 10 ⁽⁻²⁾ В/А	Фиктивная нагрузка сварочных машин, Уп, В			Средняя фиктивная нагрузка U=дУп·Кв, В			Дисперсия фиктивной нагрузки D U=U ² ·Кв, В ²		
		А	В	С			АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА
GW-INR R-10-T1	0,05	900	900	-	88	0,0030676	5,52	1,38	1,38	0,28	0,07	0,07	1,524	0,095	0,095
GW-WH R-10-T1	0,05	-	900	900	88	0,0030676	1,38	5,52	1,38	0,07	0,28	0,07	0,095	1,524	0,095
GW-OTR R-10-T2	0,05	900	-	900	88	0,0030676	1,38	1,38	5,52	0,07	0,07	0,28	0,095	0,095	1,524
GW-OTR R-20-T1	0,05	900	900	-	88	0,0030676	5,52	1,38	1,38	0,28	0,07	0,07	1,524	0,095	0,095
*GW-INR R-10-T2	0,05	-	900	900	88	0,0030676	1,38	5,52	1,38	0,07	0,28	0,07	0,095	1,524	0,095
*GW-WH R-10-T2	0,05	900	-	900	88	0,0030676	1,38	1,38	5,52	0,07	0,07	0,28	0,095	0,095	1,524
*GW-OTR R-10-T4	0,05	900	900	-	88	0,0030676	5,52	1,38	1,38	0,28	0,07	0,07	1,524	0,095	0,095
*GW-OTR R-20-T3	0,05	-	900	900	88	0,0030676	1,38	5,52	1,38	0,07	0,28	0,07	0,095	1,524	0,095
ASWM.19	0,03	195	195	195	88	0,00218764	0,74	0,74	0,74	0,02	0,02	0,02	0,016	0,016	0,016
GW-OTR R-30-T1	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
GW-WH R-20-T2	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
GW-WH R-20-T1	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093
GW-OTR R-10-T1	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
*GW-OTR R-30-T2	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
*GW-OTR R-10-T3	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093
*GW-OTR R-20-T4	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
*GW-OTR R-20-T2	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
GW-BS R-40-T4	0,05	-	900	900	75	0,003	1,35	5,40	1,35	0,07	0,27	0,07	0,091	1,458	0,091
GW-BS R-40-T2	0,05	900	-	900	75	0,003	1,35	1,35	5,40	0,07	0,07	0,27	0,091	0,091	1,458
GW-BS R-30-T4	0,05	900	900	-	75	0,003	5,40	1,35	1,35	0,27	0,07	0,07	1,458	0,091	0,091
GW-BS R-30-T2	0,05	-	900	900	75	0,003	1,35	5,40	1,35	0,07	0,27	0,07	0,091	1,458	0,091
GW-BS R-20-T4	0,05	900	-	900	75	0,003	1,35	1,35	5,40	0,07	0,07	0,27	0,091	0,091	1,458
GW-BS R-20-T2	0,05	900	900	-	75	0,003	5,40	1,35	1,35	0,27	0,07	0,07	1,458	0,091	0,091
GW-BS R-10-T4	0,05	-	900	900	75	0,003	1,35	5,40	1,35	0,07	0,27	0,07	0,091	1,458	0,091
GW-BS R-10-T2	0,05	900	-	900	75	0,003	1,35	1,35	5,40	0,07	0,07	0,27	0,091	0,091	1,458
*GW-BS R-50-T6	0,05	900	900	-	75	0,003	5,40	1,35	1,35	0,27	0,07	0,07	1,458	0,091	0,091
*GW-BS R-50-T4	0,05	-	900	900	75	0,003	1,35	5,40	1,35	0,07	0,27	0,07	0,091	1,458	0,091
*GW-BS R-50-T2	0,05	900	-	900	75	0,003	1,35	1,35	5,40	0,07	0,07	0,27	0,091	0,091	1,458
*GW-BS R-40-T6	0,05	900	900	-	75	0,003	5,40	1,35	1,35	0,27	0,07	0,07	1,458	0,091	0,091
*GW-BS R-40-T6	0,05	-	900	900	75	0,003	1,35	5,40	1,35	0,07	0,27	0,07	0,091	1,458	0,091
*GW-BS R-20-T6	0,05	900	-	900	75	0,003	1,35	1,35	5,40	0,07	0,07	0,27	0,091	0,091	1,458
*GW-BS R-10-T6	0,05	900	900	-	75	0,003	5,40	1,35	1,35	0,27	0,07	0,07	1,458	0,091	0,091
GW-BS R-40-T3	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093
GW-BS R-40-T1	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
GW-BS R-30-T3	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
GW-BS R-30-T1	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093

Продолжение таблицы 12

Тип машины	Кв	Пики токов сварочных машин, А			L, м	Удельная потеря напряж, 10 ⁽⁻²⁾ В/А	Фиктивная нагрузка сварочных машин, Уп, В			Средняя фиктивная нагрузка U=дУп·Кв, В			Дисперсия фиктивной нагрузки D U=U ² ·Кв, В ²		
		А	В	С			АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА
GW-BS R-20-T5	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
GW-BS R-20-T3	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
GW-BS R-20-T1	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093
GW-BS R-10-T5	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
GW-BS R-10-T3	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
GW-BS R-10-T1	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093
*GW-BS R-50-T5	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
*GW-BS R-50-T3	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
*GW-BS R-50-T1	0,05	-	900	900	82	0,0030364	1,37	5,47	1,37	0,07	0,27	0,07	0,093	1,494	0,093
*GW-BS R-40-T5	0,05	900	-	900	82	0,0030364	1,37	1,37	5,47	0,07	0,07	0,27	0,093	0,093	1,494
*GW-BS R-40-T5	0,05	900	900	-	82	0,0030364	5,47	1,37	1,37	0,27	0,07	0,07	1,494	0,093	0,093
GW-MB230-R2	0,2	231	231	231	82	0,002137304	0,86	0,86	0,86	0,17	0,17	0,17	0,146	0,146	0,146
GW-FF2-20-T2	0,05	-	900	900	114	0,0032028	1,44	5,77	1,44	0,07	0,29	0,07	0,104	1,662	0,104
GW-FF2-10-T2	0,05	900	-	900	114	0,0032028	1,44	1,44	5,77	0,07	0,07	0,29	0,104	0,104	1,662
GW-FF1-10-T2	0,05	900	900	-	114	0,0032028	5,77	1,44	1,44	0,29	0,07	0,07	1,662	0,104	0,104
GW-FF1-20-T2	0,05	-	900	900	114	0,0032028	1,44	5,77	1,44	0,07	0,29	0,07	0,104	1,662	0,104
*GW-FF2-20-T4	0,05	900	-	900	114	0,0032028	1,44	1,44	5,77	0,07	0,07	0,29	0,104	0,104	1,662
*GW-FF2-10-T4	0,05	900	900	-	114	0,0032028	5,77	1,44	1,44	0,29	0,07	0,07	1,662	0,104	0,104
GW-FF2-20-T1	0,05	-	900	900	120	0,003234	1,46	5,82	1,46	0,07	0,29	0,07	0,106	1,694	0,106
GW-FF2-10-T1	0,05	900	-	900	120	0,003234	1,46	1,46	5,82	0,07	0,07	0,29	0,106	0,106	1,694
GW-FF1-10-T1	0,05	900	900	-	120	0,003234	5,82	1,46	1,46	0,29	0,07	0,07	1,694	0,106	0,106
GW-FF1-20-T	0,05	-	900	900	120	0,003234	1,46	5,82	1,46	0,07	0,29	0,07	0,106	1,694	0,106
*GW-FF2-20-T3	0,05	900	-	900	120	0,003234	1,46	1,46	5,82	0,07	0,07	0,29	0,106	0,106	1,694
*GW-FF2-10-T3	0,05	900	900	-	120	0,003234	5,82	1,46	1,46	0,29	0,07	0,07	1,694	0,106	0,106
ASWM.19	0,03	195	195	195	120	0,0023886	0,81	0,81	0,81	0,02	0,02	0,02	0,020	0,020	0,020
GW-RF-30-T4	0,05	-	900	900	129	0,0032808	1,48	5,91	1,48	0,07	0,30	0,07	0,109	1,744	0,109
GW-RF-30-T2	0,05	900	-	900	129	0,0032808	1,48	1,48	5,91	0,07	0,07	0,30	0,109	0,109	1,744
GW-RF-30-T4	0,05	900	900	-	129	0,0032808	5,91	1,48	1,48	0,30	0,07	0,07	1,744	0,109	0,109
GW-RF-30-T2	0,05	-	900	900	129	0,0032808	1,48	5,91	1,48	0,07	0,30	0,07	0,109	1,744	0,109
GW-RF-40-T4	0,05	900	-	900	129	0,0032808	1,48	1,48	5,91	0,07	0,07	0,30	0,109	0,109	1,744
GW-RF-40-T2	0,05	900	900	-	129	0,0032808	5,91	1,48	1,48	0,30	0,07	0,07	1,744	0,109	0,109
GW-RF-10-T4	0,05	-	900	900	129	0,0032808	1,48	5,91	1,48	0,07	0,30	0,07	0,109	1,744	0,109
GW-RF-10-T2	0,05	900	-	900	129	0,0032808	1,48	1,48	5,91	0,07	0,07	0,30	0,109	0,109	1,744
*GW-RF1-05-T4	0,05	900	900	-	129	0,0032808	5,91	1,48	1,48	0,30	0,07	0,07	1,744	0,109	0,109
*GW-RF1-05-T2	0,05	-	900	900	129	0,0032808	1,48	5,91	1,48	0,07	0,30	0,07	0,109	1,744	0,109

Продолжение таблицы 12

Тип машины	Кв	Пики токов сварочных машин, А			L, м	Удельная потеря напряж, 10 ⁽⁻²⁾ В/А	Фиктивная нагрузка сварочных машин, Уп, В			Средняя фиктивная нагрузка U=дУп·Кв, В			Дисперсия фиктивной нагрузки D U=U ² ·Кв, В ²		
		А	В	С			АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА
GW-EC2-50-T2	0,05	900	900	-	143	0,0033536	6,04	1,51	1,51	0,30	0,08	0,08	1,822	0,114	0,114
GW-EC2-40-T4	0,05	-	900	900	143	0,0033536	1,51	6,04	1,51	0,08	0,30	0,08	0,114	1,822	0,114
GW-EC2-40-T2	0,05	900	-	900	143	0,0033536	1,51	1,51	6,04	0,08	0,08	0,30	0,114	0,114	1,822
GW-EC2-30-T4	0,05	900	900	-	143	0,0033536	6,04	1,51	1,51	0,30	0,08	0,08	1,822	0,114	0,114
GW-EC2-30-T2	0,05	-	900	900	143	0,0033536	1,51	6,04	1,51	0,08	0,30	0,08	0,114	1,822	0,114
GW-EC2-20-T4	0,05	900	-	900	143	0,0033536	1,51	1,51	6,04	0,08	0,08	0,30	0,114	0,114	1,822
GW-EC2-20-T2	0,05	900	900	-	143	0,0033536	6,04	1,51	1,51	0,30	0,08	0,08	1,822	0,114	0,114
GW-EC2-10-T2	0,05	-	900	900	143	0,0033536	1,51	6,04	1,51	0,08	0,30	0,08	0,114	1,822	0,114
*GW-EC2-50-T4	0,05	900	-	900	143	0,0033536	1,51	1,51	6,04	0,08	0,08	0,30	0,114	0,114	1,822
*GW-EC2-10-T4	0,05	900	900	-	143	0,0033536	6,04	1,51	1,51	0,30	0,08	0,08	1,822	0,114	0,114
*GW-EC2-05-T4	0,05	-	900	900	143	0,0033536	1,51	6,04	1,51	0,08	0,30	0,08	0,114	1,822	0,114
*GW-EC2-05-T2	0,05	900	-	900	143	0,0033536	1,51	1,51	6,04	0,08	0,08	0,30	0,114	0,114	1,822
GW-EC2-50-T1	0,05	900	900	-	149	0,0033848	6,09	1,52	1,52	0,30	0,08	0,08	1,856	0,116	0,116
GW-EC2-40-T3	0,05	-	900	900	149	0,0033848	1,52	6,09	1,52	0,08	0,30	0,08	0,116	1,856	0,116
GW-EC2-40-T1	0,05	900	-	900	149	0,0033848	1,52	1,52	6,09	0,08	0,08	0,30	0,116	0,116	1,856
GW-EC2-30-T3	0,05	900	900	-	149	0,0033848	6,09	1,52	1,52	0,30	0,08	0,08	1,856	0,116	0,116
GW-EC2-30-T1	0,05	-	900	900	149	0,0033848	1,52	6,09	1,52	0,08	0,30	0,08	0,116	1,856	0,116
GW-EC2-20-T3	0,05	900	-	900	149	0,0033848	1,52	1,52	6,09	0,08	0,08	0,30	0,116	0,116	1,856
GW-EC2-20-T1	0,05	900	900	-	149	0,0033848	6,09	1,52	1,52	0,30	0,08	0,08	1,856	0,116	0,116
GW-EC2-10-T1	0,05	-	900	900	149	0,0033848	1,52	6,09	1,52	0,08	0,30	0,08	0,116	1,856	0,116
*GW-EC2-50-T3	0,05	900	-	900	149	0,0033848	1,52	1,52	6,09	0,08	0,08	0,30	0,116	0,116	1,856
*GW-EC2-10-T3	0,05	900	900	-	149	0,0033848	6,09	1,52	1,52	0,30	0,08	0,08	1,856	0,116	0,116
*GW-EC2-05-T3	0,05	-	900	900	149	0,0033848	1,52	6,09	1,52	0,08	0,30	0,08	0,116	1,856	0,116
*GW-EC2-05-T1	0,05	900	-	900	149	0,0033848	1,52	1,52	6,09	0,08	0,08	0,30	0,116	0,116	1,856
GW-FEM-10-T1	0,05	900	900	-	155	0,003416	6,15	1,54	1,54	0,31	0,08	0,08	1,890	0,118	0,118
GW-DSH2-10-T1	0,05	-	900	900	155	0,003416	1,54	6,15	1,54	0,08	0,31	0,08	0,118	1,890	0,118
GW-DSH1-10-T2	0,05	900	-	900	155	0,003416	1,54	1,54	6,15	0,08	0,08	0,31	0,118	0,118	1,890
*GW-FEM-10-T1	0,05	900	900	-	155	0,003416	6,15	1,54	1,54	0,31	0,08	0,08	1,890	0,118	0,118
*GW-FEM-20-T1	0,05	-	900	900	155	0,003416	1,54	6,15	1,54	0,08	0,31	0,08	0,118	1,890	0,118
*GW-DSH2-10-T2	0,05	900	-	900	155	0,003416	1,54	1,54	6,15	0,08	0,08	0,31	0,118	0,118	1,890
ASWM.19	0,03	195	195	195	155	0,0026084	0,88	0,88	0,88	0,03	0,03	0,03	0,023	0,023	0,023
GW-EC1-40-T4	0,05	900	900	-	162	0,0034524	6,21	1,55	1,55	0,31	0,08	0,08	1,931	0,121	0,121
GW-EC1-40-T2	0,05	-	900	900	162	0,0034524	1,55	6,21	1,55	0,08	0,31	0,08	0,121	1,931	0,121
GW-EC1-30-T4	0,05	900	-	900	162	0,0034524	1,55	1,55	6,21	0,08	0,08	0,31	0,121	0,121	1,931
GW-EC1-30-T2	0,05	900	900	-	162	0,0034524	6,21	1,55	1,55	0,31	0,08	0,08	1,931	0,121	0,121
GW-EC1-20-T4	0,05	-	900	900	162	0,0034524	1,55	6,21	1,55	0,08	0,31	0,08	0,121	1,931	0,121
GW-EC1-20-T2	0,05	900	-	900	162	0,0034524	1,55	1,55	6,21	0,08	0,08	0,31	0,121	0,121	1,931

Продолжение таблицы 12

Тип машины	Кв	Пики токов сварочных машин, А			L, м	Удельная потеря напряж, 10 ⁽⁻²⁾ В/А	Фиктивная нагрузка сварочных машин, Уп, В			Средняя фиктивная нагрузка U=дУп·Кв, В			Дисперсия фиктивной нагрузки D U=U ² ·Кв, В ²		
		А	В	С			АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА	АВ	ВС	СА
GW-EC1-40-T1	0,05	-	900	900	168	0,0034836	1,57	6,27	1,57	0,08	0,31	0,08	0,123	1,966	0,123
GW-EC1-30-T3	0,05	900	-	900	168	0,0034836	1,57	1,57	6,27	0,08	0,08	0,31	0,123	0,123	1,966
GW-EC1-30-T1	0,05	900	900	-	168	0,0034836	6,27	1,57	1,57	0,31	0,08	0,08	1,966	0,123	0,123
GW-EC1-20-T3	0,05	-	900	900	168	0,0034836	1,57	6,27	1,57	0,08	0,31	0,08	0,123	1,966	0,123
GW-EC1-20-T1	0,05	900	-	900	168	0,0034836	1,57	1,57	6,27	0,08	0,08	0,31	0,123	0,123	1,966
GW-EC1-10-T1	0,05	900	900	-	168	0,0034836	6,27	1,57	1,57	0,31	0,08	0,08	1,966	0,123	0,123
GW-HL-10-T1	0,05	-	900	900	168	0,0034836	1,57	6,27	1,57	0,08	0,31	0,08	0,123	1,966	0,123
GW-HL-20-T1	0,05	900	-	900	168	0,0034836	1,57	1,57	6,27	0,08	0,08	0,31	0,123	0,123	1,966
*GW-EC1-40-T3	0,05	900	900	-	168	0,0034836	6,27	1,57	1,57	0,31	0,08	0,08	1,966	0,123	0,123
*GW-EC1-10-T3	0,05	-	900	900	168	0,0034836	1,57	6,27	1,57	0,08	0,31	0,08	0,123	1,966	0,123
*GW-EC1-05-T3	0,05	900	-	900	168	0,0034836	1,57	1,57	6,27	0,08	0,08	0,31	0,123	0,123	1,966
*GW-EC1-05-T1	0,05	900	900	-	168	0,0034836	6,27	1,57	1,57	0,31	0,08	0,08	1,966	0,123	0,123
*GW-HL-10-T2	0,05	-	900	900	168	0,0034836	1,57	6,27	1,57	0,08	0,31	0,08	0,123	1,966	0,123
*GW-HL-20-T2	0,05	900	-	900	168	0,0034836	1,57	1,57	6,27	0,08	0,08	0,31	0,123	0,123	1,966
*GW-RF2-30-T4	0,05	900	900	-	95	0,003104	5,59	1,40	1,40	0,28	0,07	0,07	1,561	0,098	0,098
*GW-RF2-30-T2	0,05	-	900	900	95	0,003104	1,40	5,59	1,40	0,07	0,28	0,07	0,098	1,561	0,098
*GW-RF2-30-T4	0,05	900	-	900	95	0,003104	1,40	1,40	5,59	0,07	0,07	0,28	0,098	0,098	1,561
*GW-RF2-30-T2	0,05	900	900	-	95	0,003104	5,59	1,40	1,40	0,28	0,07	0,07	1,561	0,098	0,098
*GW-RF2-40-T4	0,05	-	900	900	95	0,003104	1,40	5,59	1,40	0,07	0,28	0,07	0,098	1,561	0,098
*GW-RF2-40-T2	0,05	900	-	900	95	0,003104	1,40	1,40	5,59	0,07	0,07	0,28	0,098	0,098	1,561
*GW-RF2-10-T4	0,05	900	900	-	95	0,003104	5,59	1,40	1,40	0,28	0,07	0,07	1,561	0,098	0,098
*GW-RF2-10-T2	0,05	-	900	900	95	0,003104	1,40	5,59	1,40	0,07	0,28	0,07	0,098	1,561	0,098
*GW-RF2-05-T4	0,05	900	-	900	95	0,003104	1,40	1,40	5,59	0,07	0,07	0,28	0,098	0,098	1,561
*GW-RF2-05-T2	0,05	900	900	-	95	0,003104	5,59	1,40	1,40	0,28	0,07	0,07	1,561	0,098	0,098
*GW-RF2-30-T3	0,05	-	900	900	101	0,0031352	1,41	5,64	1,41	0,07	0,28	0,07	0,100	1,592	0,100
*GW-RF2-30-T1	0,05	900	-	900	101	0,0031352	1,41	1,41	5,64	0,07	0,07	0,28	0,100	0,100	1,592
*GW-RF2-30-T3	0,05	900	900	-	101	0,0031352	5,64	1,41	1,41	0,28	0,07	0,07	1,592	0,100	0,100
*GW-RF2-30-T1	0,05	-	900	900	101	0,0031352	1,41	5,64	1,41	0,07	0,28	0,07	0,100	1,592	0,100
*GW-RF2-40-T3	0,05	900	-	900	101	0,0031352	1,41	1,41	5,64	0,07	0,07	0,28	0,100	0,100	1,592
*GW-RF2-40-T1	0,05	900	900	-	101	0,0031352	5,64	1,41	1,41	0,28	0,07	0,07	1,592	0,100	0,100
*GW-RF2-10-T3	0,05	-	900	900	101	0,0031352	1,41	5,64	1,41	0,07	0,28	0,07	0,100	1,592	0,100
*GW-RF2-10-T1	0,05	900	-	900	101	0,0031352	1,41	1,41	5,64	0,07	0,07	0,28	0,100	0,100	1,592
*GW-RF2-05-T3	0,05	900	900	-	101	0,0031352	5,64	1,41	1,41	0,28	0,07	0,07	1,592	0,100	0,100
*GW-RF2-05-T1	0,05	-	900	900	101	0,0031352	1,41	5,64	1,41	0,07	0,28	0,07	0,100	1,592	0,100

По итогам расчетов максимальные потери напряжения по всем трем фазам составили около 15% и превысили допустимую величину. Так как предварительно выбранный трансформатор имеет максимальную допустимую мощность 3150 кВА и выбран наибольший номинал алюминиевого шинпровода 6400 А дальнейшее их увеличение экономически не целесообразно. Количество сварочных машин учтено с запасом по нагрузкам и с учетом планируемого расширения на втором этапе запуска завода. Выходом в данной ситуации может быть использование регулирования напряжения силового трансформатора ПБВ на +5% после установки дополнительных сварочных машин, а также разгрузка трансформаторов при помощи систем компенсации реактивной мощности, что позволит выдержать предельно допустимую величину потерь 10%.

Расчеты потери напряжения для прочих линий (не сварка) выполняется по стандартной методике, приведенной в [6].

$$u = b \cdot I_{\epsilon} \cdot \left(L \frac{\rho}{S} \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot \sin \varphi \right) \quad (40)$$

где u – потеря напряжения в вольтах;

b – коэффициент, равный 1 для трехфазных схем и равный 2 для однофазных схем;

ρ_1 – удельное сопротивление проводников в нормальных условиях, взятое равным удельному сопротивлению при температуре в нормальных условиях, то есть 1,25 удельного сопротивления при 20°C, или 22,5 Ом·мм²/км для меди и 36 Ом·мм²/км для алюминия;

L – длина электропроводки, км;

S – площадь поперечного сечения проводников, мм²;

$\cos \varphi$ – коэф. мощности;

λ – реактивное сопротивление на единицу длины проводников, который принимается равным 0,08 Ом/км в отсутствие других данных;

I_B – расчетный ток, А.

Падение напряжения в процентах вычисляется по формуле:

$$\Delta u = \frac{u \cdot 100\%}{U_0} \quad (41)$$

U_0 - фазное напряжение в однофазной сети и линейное напряжение в трехфазной сети.

Рассчитаем потери напряжения от распределительного щита до шкафа управления приточной установкой П22 в линии ЩРВ3-П22-ШУ.

$$I_g = 51 \text{ А}$$
$$\cos \varphi = 0,85$$

Найдем синус через косинус:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad (42)$$

Предусмотрен медный кабель ВВГнг(А)-LS 5×16 сечением 16 мм² длиной 25 м.

Тогда расчет имеет вид:

$$u = 1 \cdot 51 \cdot \left(0,025 \cdot \frac{22,5}{16} \cdot 0,85 + 0,08 \cdot 0,53 \right) = 1,6 \text{ В}$$

$$\Delta u = 100 \cdot \frac{1,6}{230} = 0,7\%$$

Согласно [23], Допускаемые отклонения от номинального напряжения для электродвигателей с длительной работой в установившемся режиме составляют $\pm 5\%$. Проверку необходимо выполнять по всей цепи, начиная от ГРЩ. Для упрощения расчетов примем допустимые потери в питающих линиях 2%, а в распределительных и групповых 3%.

Вывод по разделу 2: были произведены расчеты нагрузок контактной сварки и прочего электрооборудования, на основании которых определена схема электроснабжения, выбраны силовые трансформаторы и шинопроводы. Выполнены расчеты потерь напряжения. Расчитаны и выбраны УКРМ. Применение средств КРМ на стороне 0,4 кВ позволяет существенно разгрузить силовые трансформаторы, уменьшить колебания напряжения и обеспечить требуемый по ТУ коэффициент мощности. Для того, чтобы завершить разработку принципиальных электрических схем питающих и распределительных сетей остается выполнить расчеты аппаратов защиты и кабельных линий. Итогом расчетов и принятых технических решений является рабочая документация (планы, схемы), состав и оформление которой определяется стандартом СПДС ГОСТ 21.613-2014 [11], условные графические изображения на планах выполняются в соответствии с ГОСТ 21.210-2014 [12].

3 Расчет и выбор аппаратов защиты, линий электроснабжения

«Выбор аппаратов защиты сетей, питающих установки контактной сварки, должен производиться с учетом отстройки от пиковых токов, имеющих место при нормальных технологических режимах и достаточной электродинамической стойкости к токам аварийных режимов.» [13]

Требования к защите от сверхтоков приводятся в ПУЭ [18], а также в ГОСТ Р 50571.4.43-2012 [5]. Требования к автоматическим выключателям и условия их срабатывания подробно описаны в ГОСТах [7], [8]

В качестве аппаратов защиты примем автоматические выключатели марки CHINT.

Разберем выбор автомата на примере линии ШМ1-ШР1.1.

В качестве расчетного тока I_p принимаем I_3 , который равен 565,9 А. Пиковый ток по расчету нагрузок $I_{п} = 3141,7$ А.

Предварительно выбираем автомат в литом корпусе NXM-630F/3P 630А с термомагнитным расцепителем, типоразмер 630 А, номинальный ток расцепителя 630 А, номинальная рабочая наибольшая отключающая способность $I_{cs} = 50$ кА.

Уставка тока мгновенного срабатывания I_i (А) защиты от короткого замыкания и ее точность $10I_n \pm 20\%$ (от $8I_n$ до $12I_n$). Уставка тока защиты от перегрузки $1,3I_n$ в течение 2 ч.

Выполним проверку данного аппарата:

$$I_{н.р} \geq I_p; 630 \geq 569,5 \text{ А} \rightarrow \text{условие выполняется};$$

$$I_i \geq I_{п}; 5040 \geq 3141,7 \text{ А} \rightarrow \text{условие выполняется}.$$

Предварительно выберем кабель для питания ШР1.1 по условию

$$I_d \geq I_p$$

Выберем сдвоенный кабель ВВГнг(А)-LS 4×185 (медный кабель, не распространяющий горение при групповой прокладке, с пониженным дымо- и газовыделением) с длительно допустимым $I_d = 738,4$ А [9, Таблица 19].

$$I_d \geq I_p; 738,4 \geq 569,5 \text{ А}$$

Проверим соответствие линии автомату по условию перегрузки.

$$I_d \geq \frac{K_{\text{зщ}} I_{\text{н.р}}}{K_{\text{п}}} \quad (43)$$

где

$K_{\text{п}} = 1$ (условия прокладки);

$K_{\text{зщ}} I_{\text{н.р}} = K_o(\text{ТР})$ – для линий, защищаемых от токов перегрузки;

$K_{\text{зщ}} I_{\text{н.р}} = I_{\text{н.р}}$ – для линий защищаемый автоматами только от токов КЗ.

«Допустимые токовые нагрузки кабелей в режиме перегрузки могут быть рассчитаны путем умножения значений, на коэффициент 1,13 – для земли и на коэффициент 1,16 – для воздуха;» [9]

Тогда

$$738,4 \cdot 1,16 \geq \frac{1,3 \cdot 630}{1}; 856,5 \geq 819 \text{ А}$$

Кабель и аппарат защиты выбраны верно.

Рассчитаем вводные и секционный аппараты на ГРЩ 3.7

Вычислим максимальные рабочие токи.

Расчет рабочих токов начнем с вводных выключателей ГРЩ (автоматы QF1, QF2).

Для этого рассчитаем номинальный ток трансформатора:

$$I_{\text{НОМ.Т}} = \frac{S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{с.нн}}} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1806 \text{ А} \quad (44)$$

Т.к. в системе 2 сухих трансформатора, то $K_{\text{ПЕР}} = 1,2$

$$I_{\text{МАКС.РАБ.ВВОДА}} = K_{\text{ПЕР}} \cdot I_{\text{НОМ.Т}} = 1,2 \cdot 1806 = 2167 \text{ А} \quad (45)$$

Секционный выключатель ГРЩ (автомат QF3)

$$I_{\text{МАКС.РАБ.СВ}} = 0,5 \cdot I_{\text{МАКС.РАБ.ВВОДА}} = 0,5 \cdot 2167 = 1084 \text{ А} \quad (46)$$

Минимально допустимый рабочий ток автомата QF1 берем ближайший большим к $I_{\text{МАКС.РАБ.ВВОДА}} = 2167 \text{ А}$, т.е. $I_{\text{г.НОМ}} = I_{\text{г.QF1}} = I_{\text{г.QF2}} = 2500 \text{ А}$

Условие $I_{\text{г.НОМ}} = 2500 \text{ А} \geq I_{\text{МАКС.РАБ.ВВОДА}} = 2167 \text{ А}$ выполняется.

Минимально допустимый рабочий ток автомата QF3 берем ближайший большим к $I_{\text{МАКС.РАБ.СВ}} = 1084 \text{ А}$, т.е. $I_{\text{г.НОМ}} = I_{\text{г.QF3}} = 1250 \text{ А}$.

Рабочая отключающая способность выключателя не должна быть меньше максимального тока КЗ в точке подключения. Для автоматов QF1 и QF2 максимальным током в месте установки является ток трехфазного металлического КЗ.

«В настоящее время основная методика по расчетам токов КЗ приведена в ГОСТ 28249-93 “Методы расчета токов КЗ в электроустановках переменного тока до 1 кВ” [4] и РД 153-34.0-20.527-98 “Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования” [20]» [2].

Допустимо применять и другие методы расчетов, например, описанные в работе [1].

Вывод по разделу 3: рассчитаны и выбраны аппараты защиты на стороне 0,4 кВ, подобраны соответствующие кабели и проводники. Обеспечена надежная защита сетей и электрооборудования от сверхтоков, выполнены требования по электробезопасности и пожаробезопасности.

Заключение

Целью ВКР является проектирование системы электроснабжения кузовного цеха автомобильного завода с учетом специфики технологии контактной сварки. В работе произведено множество расчетов, таких как расчеты электрических нагрузок, расчеты потерь напряжения, выбор шинпроводов и кабелей, распределительных устройств, трансформаторов, защитных аппаратов. С их помощью обосновывается выбор схем электроснабжения, оборудования и принятие технических решений. Проведена большая чертежная работа в соответствии с СПДС: были разработаны планы, схемы, опросные листы для заказа электрооборудования, посчитана спецификация. Итогом работы является рабочий проект марки ЭМ кузовного цеха, выполненный с соблюдением нормативных требований и в соответствии с заданием на проектирование.

Для выполнения работы изучено значительное количество литературных источников, аналогичных проектов и нормативных документов. Полученные в ходе обучения знания опробованы на практике при проектировании внутренней системы электроснабжения. Дальнейшая экспертиза проекта и реализация проверит принятые решения. Очевидно, что существуют различные методики расчетов нагрузок, токов коротких замыканий и подбора аппаратов защиты и проводников. Упрощенные (инженерные) методы и подробные нормативные позволяют прийти примерно к одним и тем же результатам. Не обойтись в наше время без специализированного программного обеспечения, которое ускоряет процесс расчетов и оформления чертежей, снижает вероятность ошибок.

Цели и задачи работы достигнуты в полном объеме, хотя и не удалось рассмотреть все аспекты проектирования подобного объекта в виду его большого объема и разделения обязанностей коллектива проектной организации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит кабелей в сетях 0,4 кВ. Учебное пособие СПб.: ПЭИПК, 2008 г. 230 с.
2. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.]; ТГУ; Ин-т энергетики и электротехники; каф. «Электроснабжение и электротехника». Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976> (дата обращения 24.04.2024)
3. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2006. С.69.
4. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
5. ГОСТ Р 50571.4.43-2012 (МЭК 60364-4-43:2008). Электроустановки низковольтные. Часть 4-43. Требования для обеспечения безопасности. Защита от сверхтока. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293777/4293777996.htm> (дата обращения 29.04.2024)
6. ГОСТ Р 50571.5.52-2011 (МЭК 60364-5-52:2009). Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293792/4293792410.htm> (дата обращения 29.04.2024)
7. ГОСТ 50345-2010 (МЭК 60898-1). Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293804/4293804289.htm> (дата обращения 29.04.2024)
8. ГОСТ Р 50030.2-2010 (МЭК 60947-2). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели.

<https://meganorm.ru/Index2/1/4293800/4293800271.htm> (дата обращения 29.04.2024)

9. ГОСТ 31996—2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжения 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293777/4293777949.htm> (дата обращения 29.04.2024)

10. ГОСТ ИЕС 60034-1-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики. <https://meganorm.ru/Data/600/60014.pdf> (дата обращения 29.04.2024)

11. ГОСТ 21.613-2014. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования.

12. ГОСТ 21.210-2014. Система проектной документации для строительства. Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах.

13. М788-917 Рекомендации по расчету электрических нагрузок и выбору сетей, питающих установки контактной сварки. М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1983.

14. М788-1069-2 «Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок» – М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1990.

15. НТП ЭПП-94 (Нормы технологического проектирования). Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1994.

16. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» (вторая редакция). М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1993.

17. Пособие к РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1993.

18. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание М.: НЦ ЭНАС 2003 г.

19. Распределительные трансформаторы Trihal. Трансформаторы с литой изоляцией. Технический каталог, 2016.

20. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.

21. РТМ 34.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1993.

22. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. М.: «ВНИПИ Тяжпромэлектропроект», 1993.

23. СП РК 4.04-109-2013 Правила проектирования силового и осветительного оборудования промышленных предприятий.

24. Черненко А.Н. Электроснабжение цеха промышленного предприятия. Методические указания к курсовой работе. Тольятти: ТГУ. 53 с.