

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 Реконструкция системы электроснабжения сварочного производства  
машиностроительного предприятия

Обучающийся

А.И. Салихов

(Инициалы Фамилия)



(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

## Аннотация

Предлагаемая работа посвящена разработке проекта реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия. Для достижения поставленной цели, на основе сравнительного анализа оборудования и схемы объекта, установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей, с непосредственным учётом результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, в системе электроснабжения объекта проведены «выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, а также новых современных электрических и коммутационных аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, обладающих повышенными показателями надёжности» [14], безопасности и экономичности. Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование распределительных удовлетворяет классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено на понизительной подстанции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Также внедрены необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений понизительной подстанции объекта, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора на объекте и, как результат, изменения схемы главных соединений подстанции объекта и системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в целом.

Предложенные в работе практические мероприятия по модернизация устаревшего электрооборудования и реконструкции схемы электрических соединений подстанции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ существующей системы электроснабжения производства.....	7
1.1 Исходная характеристика системы электроснабжения машиностроительного предприятия.....	7
1.2 Описание системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного завода.....	11
1.3 Анализ требований к системам электроснабжения промышленных предприятий.....	18
1.4 Обоснование практических мероприятий по реконструкции системы электроснабжения сварочного производства.....	20
2 Разработка проекта реконструкции системы электроснабжения объекта...	26
2.1 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок.....	26
2.2 Выбор трансформаторов на подстанции с учётом компенсации реактивной мощности.....	32
2.3 Расчёт токов короткого замыкания.....	37
2.4 Расчёт и выбор кабелей.....	43
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов.....	47
2.6 Расчёт заземления зданий и сооружений объекта.....	53
2.7 Расчёт релейной защиты и автоматики.....	57
3 Разработка мероприятий по энергосбережению на объекте.....	62
Заключение.....	66
Список используемых источников.....	69

## Введение

Применение электрической энергии является важнейшей частью современной цивилизации, позволяя, таким образом, значительно улучшить жизненные блага людей.

Экономическая эффективность использования электроэнергии в современном мире значительно возросла.

Сегодня невозможно представить жизнь современного общества без электроэнергии, которая очень прочно вошла в бытовую и производственную сферы жизнедеятельности цивилизации.

При этом, рассматривая весь цикл передачи и потребления электроэнергии, можно отметить то, что одним из основных элементов при передаче электроэнергии к потребителям в системах электроснабжения всех типов, являются понижающие трансформаторные подстанции.

Из всех типов подстанций, современные понизительные трансформаторные подстанции переменного тока сегодня наиболее широко распространены в системах электроснабжения.

Поэтому к ним предъявляются особо повышенные требования по надёжности обеспечению потребителей качественной и нормативной электрической энергией.

Предлагаемая работа посвящена разработке проекта реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Основной целью работы является реконструкция системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, осуществляемая в работе качественного изменения однолинейной схемы главных электрических соединений объекта с конечным приведением её к требуемому нормативному виду, согласно положений основных нормативных документов отрасли, путём установки дополнительного (второго) силового трансформатора для питания

потребителей I и II категории надёжности и, как следствие, реконструкции схемы электрических соединений распределительных устройств питающей подстанции объекта.

Таким образом, в работе для достижения поставленных основных целей и задач, разрабатываются и внедряются необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений понизительной подстанции объекта, заключающиеся во вводе в эксплуатацию второго силового трансформатора на объекте и, как результат, изменения схемы главных соединений подстанции объекта и системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в целом.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

«Предметом исследования в работе выступает схема системы электроснабжения сварочного производства, а также электрические сети и аппараты напряжением 10 кВ и 0,4 кВ» [7].

Актуальность обусловлена необходимостью реконструкции систем электроснабжения объектов промышленных предприятий всех типов, которая обусловлена несоответствием схемы главных электрических соединений подстанций, применяемых для питания потребителей I и II категории надёжности, а также модернизации оборудования понизительных подстанций систем электроснабжения объектов всех типов и классов напряжения, в связи с износом электрооборудования [1,7,12].

Для достижения поставленной цели, на основе сравнительного анализа состояния оборудования распределительных устройств и схемы электроснабжения объекта, устанавливаются проблемы и предлагаются основные способы и пути их решения в целом.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей, с непосредственным учётом результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, в системе

электроснабжения объекта проводятся «выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, а также новых современных электрических и коммутационных аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, обладающих повышенными показателями надёжности» [14], безопасности и экономичности.

Исходя из требуемых задач по реконструкции объекта, в работе расчётным путём необходимо установить, что выбранное современное оборудование распределительных удовлетворяет классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в результате проведения реконструкции объекта.

Последующая требуемая проверка всего оборудования системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия основывается на результатах расчёта электрических нагрузок и токах короткого замыкания в максимальном режиме работы.

В настоящей работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

Предложенные в работе практические мероприятия по модернизация устаревшего электрооборудования и реконструкции схемы электрических соединений питающей понизительной подстанции и системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в целом, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

Все принятые решения подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа.

## **1 Анализ существующей системы электроснабжения производства**

### **1.1 Исходная характеристика системы электроснабжения машиностроительного предприятия**

Для достижения поставленной цели, согласно согласованному заданию на выполнение работы, необходимо привести исходную характеристику системы электроснабжения машиностроительного предприятия, в состав которого входит объект реконструкции – система электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Электроснабжения машиностроительного завода осуществляется от главной понизительной подстанции (далее – ГПП) с классами напряжения 110/10 кВ.

От шин 10 кВ ГПП получают питание цеховые трансформаторные подстанции объектов машиностроительного завода.

Известно, что весь технологический процесс и технология производства продукции в системе электроснабжения рассматриваемого в работе машиностроительного предприятия, должен соответствовать основным современным требованиям и нормам.

Исходя из технологии и необходимости производства, в действующей системе электроснабжения машиностроительного предприятия расположены следующие производственные объекты:

- литейный корпус – необходим для производства литейных изделий и заготовок. Является самым энергоёмким производственным подразделением машиностроительного завода;
- механический корпус – служит для механической обработки заготовок и изделий, а также узлов и механизмов машин;
- производственный корпус – это основное производственное подразделение для изготовления различных узлов и механизмов машин;

- сборочный корпус – используется для сборки оборудования, а также узлов и механизмов машин;
- корпус покраски и приёмки оборудования – служит для окончательной обработки и приёмки готовой продукции, производимой на машиностроительном заводе.

Исходя из важности и энергоёмкости основных производственных цехов и подразделений машиностроительного завода, на всех них установлены двухтрансформаторные подстанции, так как они относятся к I категории надёжности и требуют двух независимых источников питания.

Помимо основных производственных цехов и подразделений машиностроительного завода, на объекте проектирования также есть необходимые неосновные цеха и участки, выполняющие производственную вспомогательную функцию (основную и неосновную).

К таким подразделениям на проектируемом ремонтно-инструментальном производстве относятся:

- технологический комплекс технического обеспечения основного производства – состоит из совокупности служб, цехов и участков, которые обеспечивают основной техникой процесс производства на предприятии. Это – один из наиболее энергоёмких комплексных подразделений предприятия, включает в себя оборудование насосной, котельной и компрессорной с мощными электродвигателями;
- комплекс сварочного производства обеспечивает основной процесс предприятия сварочными работами в необходимом количестве соответствующего качества (детально рассматривается в работе далее);
- ремонтно-эксплуатационная служба – состоит из цехов и служб, обеспечивающих ремонт, монтаж и эксплуатацию всего оборудования и сетей предприятия. В данную структуру входит электроцех, механический цех, участок наладки, строительномонтажная бригада, токарный и слесарный участки, а также служба



контрольно-измерительных приборов и автоматики. Также сюда входит автомобильная служба – включает в себя автомобильный парк, а также гаражи и боксы для обслуживания техники (как обычной, так и специальной технической);

- складской комплекс – состоит из совокупности складских помещений и служит для хранения первичного сырья и запасных материалов, а также готовой продукции и сопутствующих материалов;
- административный корпус – является непосредственным звеном управления всем технологическим процессом, обеспечивая руководство всеми службами, участками и цехами на производстве.

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на вспомогательный технологический процесс производства и реализации готовой продукции машиностроительного предприятия.

По этой причине они также включены в систему электроснабжения машиностроительного предприятия, обеспечивая, таким образом, вспомогательный процесс на данном предприятии.

Исходные технические данные приведённых производственных, вспомогательных цехов и участков рассматриваемого в работе машиностроительного предприятия, с учётом систематизации по категории надёжности, приведены в таблице 1.

В таблице 1 указана проектная мощность для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них должно быть установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции машиностроительного предприятия.

Также в таблице 1, исходя из назначения и роли соответствующего подразделения в технологическом процессе производства предприятия, проведена необходимая классификация по категорийности надёжности объектов.

Осуществлено разделение производственных цехов и участков на категории надёжности (I, II, III категории).

По процентному соотношению приёмников соответствующей категории на объекте исследования, можно сделать общий вывод о том, к какой категории относится весь рассматриваемый цех (участок) машиностроительного предприятия.

Таблица 1 – Основные данные и систематизация цехов и участков рассматриваемого машиностроительного предприятия по категориям надёжности

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	Мощность, $P_{пр}$ , кВт	Число трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ	Мощность/марка трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ
Основные производственные подразделения (I категория надёжности)				
1	Литейный корпус	2000,0	2	1600/ТМ-1600/10
2	Механический корпус	1500,0	2	1600/ТМ-1600/10
3	Производственный корпус	1600,0	2	1600/ТМ-1600/10
4	Сборочный корпус	1800,0	2	1600/ТМ-1600/10
5	Корпус покраски и приёмки оборудования	390,0	2	1600/ТМ-1600/10
Основные вспомогательные подразделения (II категория надёжности)				
6	Корпус сварочного производства (сварочное производство)	176,7	1	400/ТМ-400/10
7	Ремонтно-эксплуатационная служба	120,0	1	250/ТМ-250/10
8	Технологический комплекс	750,0	1	1000/ТМ-1000/10
Неосновные вспомогательные подразделения (III категория надёжности)				
9	Складской комплекс	150,0	-	-
10	Административный корпус	75,0	-	-

На складском и административном корпусах, относящихся к III категория надёжности, цеховые подстанции отсутствуют и данные объекты получают питание через кабельные линии 0,38/0,22 кВ от других цеховых подстанций машиностроительного завода.

Исходя из приведённой информации, можно сделать вывод о том, что среди потребителей системы электроснабжения цехов и участков машиностроительного предприятия, на территории предприятия расположено десять основных подразделений, из которых пять относится к I категории надёжности, три подразделения – ко II категории и два подразделения – к III категории надёжности.

Для цехов и участков, относящихся к I и II категориям надёжности, предусмотрены цеховые трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, причём для потребителей I категории надёжности они выполнены с использованием двух силовых трансформаторов, для подразделений II категории – с использованием одного трансформатора.

Все приведённые в работе подразделения машиностроительного предприятия с цеховыми ТП-10/0,4 кВ и питающими сетями 10 кВ и 0,38/0,22 кВ показаны в работе на генплане предприятия (графический лист 1).

Учитывая данную информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по реконструкции системы электроснабжения корпуса сварочного производства, входящего в структуру данного машиностроительного предприятия.

## **1.2 Описание системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного завода**

Далее в работе проводится описание системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного завода.

Также приводится основная характеристика помещений и технологического оборудования объекта.

В системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного завода имеются следующие помещения, выполняющие непосредственную роль в технологическом процессе:

- производственное помещение, в котором установлено основное технологическое оборудование: сварочное оборудование: сварочный аппарат ВДУ 505 (напряжение питания – 380 В, мощность 10 кВт, сварочный ток 505 А), установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650 P DC мощностью 18,5 кВт, сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш» (мощность – 22 кВт), а также металлорежущие станки, вентиляторы, насосы технических нужд и прочие. В производственном помещении сварочного производства машиностроительного предприятия непосредственно осуществляется основной технологический процесс, заключающийся в организации сварочных и механических работ для необходимых нужд производства;
- помещения технического обеспечения №1 и №2 – необходимы для обеспечения потребности собственных нужд цеха в технических коммуникациях: водоснабжении, водоотведении, горячей воде, технических приспособлениях для уборки и т.д. В данных помещениях также хранится резервное ремонтное оборудование, а также необходимые для производства материалы, приспособления и инструменты. Помещения технического обеспечения непосредственно прилегают к помещению сварочного цеха, что связано с потребностями технологического процесса;
- санитарно – технические помещения – служат для обеспечения естественных потребностей персонала цеха, а также для поддержания их физического здоровья и эстетического внешнего вида. В состав санитарно – технических помещений входит туалет, душевая, санитарный узел;
- бытовые помещения – служат для обеспечения удобств обслуживающего и ремонтного персонала сварочного цеха.

Исходя из количества и фактических нагрузок, в таблице 2 работы приводятся исходные данные потребителей системы электроснабжения

сварочного производства машиностроительного предприятия, с указанием исходной установленной фактической нагрузки и технических условий, согласно условиям технического задания, на проведение реконструкции питающей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Таблица 2 – Характеристика технологического оборудования (потребителей) системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия

Наименование потребителей	Совокупные параметры и характеристики оборудования (потребителей)		
	$P_{ном}$ , кВт	$\eta$ , %	$\cos\varphi$
Вентилятор вытяжной	5,5	0,87	0,91
Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	11	0,88	0,9
Консольно-фрезерный станок 6Н11	11	0,88	0,9
Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16М	11	0,88	0,9
Насос подачи воды №1	5,5	0,87	0,91
Насос подачи воды №2	5,5	0,87	0,91
Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	11	0,88	0,9
Фекальный насос	7,5	0,87	0,88
Гильотинные механич. ножницы НГМ-6,3	11	0,88	0,9
Сварочный аппарат ВДУ 505	8	0,92	1,0
Компрессор производственный	11	0,88	0,9
Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650	18,5	0,92	0,92
Насос теплоподачи	2,2	0,83	0,87
Вентилятор дутьевой установки	11	0,88	0,9
Гидравлический пресс П6328Б	11	0,88	0,9
Вентилятор вытяжной	3	0,84	0,88
Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	22	0,96	1,0
Вентилятор производственный	11	0,88	0,9
Всего по системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия	176,7	-	-

На основании исходных данных нагрузок, приведённых в таблице 2 работы, проводится обоснование реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Далее в работе, согласно заданию, необходимо привести исходную характеристику распределительных устройств и входящих в них

коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия до проведения реконструкции.

Проводится анализ исходных данных электрической части питающей понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия ТП-10/0,4 кВ.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия является одной из потребительских подстанций указанного промышленного предприятия и территориально расположена в непосредственной близости к объекту, обеспечивая качественной электроэнергией своих промышленных потребителей на номинальном напряжении 0,4 кВ.

Понизительная подстанция ТП-10/0,4 кВ переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, по месту расположения в схеме электроснабжения предприятия, является тупиковой распределительной понижающей подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения завода.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия находится на полном балансе данного предприятия, поэтому полностью обслуживается и ремонтируется работниками данного учреждения.

Подстанция системы электроснабжения сварочного производства ТП-10/0,4 кВ машиностроительного предприятия является однострансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа без резервирования на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН).

Конструктивно системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки киоскового типа.

Питание подстанции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия осуществляется одной кабельной линией электропередачи 10 кВ от главной понизительной подстанции предприятия.

Такая схема экономичная, однако пригодна только для обеспечения электроснабжения потребителей III категории надёжности исходя из требований [10].

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия до внедрения мероприятий и рекомендаций по реконструкции, состояла из следующих элементов, которые представлены на графическом листе 2.

Все основные элементы структурной схемы понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия перечислены в работе далее.

Первым элементом является «распределительное устройство высшего напряжения 10 кВ (далее – РУ-10 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки по радиальной однолучевой схеме электроснабжения» [11] без наличия резервирования.

В схеме РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия для питания сборных шин 10 кВ, применяется схема без наличия резервирования на стороне 10 кВ подстанции, что также соответствует условиям для питания III категории потребителей согласно нормам и требованиям [10].

На отходящих линиях в РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного

производства машиностроительного предприятия установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 2):

- выключатель нагрузки марки ВН-16 – 1 единица (год изготовления – 1975, введён в эксплуатацию на подстанции в 1977 году);
- предохранители ПКТ-101-10 (однофазные) – 3 единицы (год изготовления – 1976, введены в эксплуатацию на подстанции в 1977 году).

Питание РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия от РП-10 кВ ГПП завода, осуществляется одной кабельной линией, на которой применяется силовой кабель марки АСБ-10 (3x120).

Следующим элементом в рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия является один «силовой трансформатор 10/0,4 кВ, обеспечивающий понижение напряжения с 10 кВ до 0,4 кВ с последующим его распределением в РУ-0,4 кВ» [16] и, далее, конечным потребителям (оборудованию предприятия).

На подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия установлен один силовой трансформатор марки ТМ-400/10 (изготовлен в 1976, год ввода введён в эксплуатацию на подстанции – 1977).

Данный трансформатор в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия неоднократно и своевременно проходил капитальные ремонты и подвергался модернизации обмоток 10 кВ и 0,4 кВ.

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки с применением ячеек стационарного типа (год производства – 1976, введены в эксплуатацию на подстанции в 1977 году).



РУ-0,4 кВ является распределительным устройством низшего напряжения рассматриваемой системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия [7].

В схеме РУ-0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия предусмотрена одна рабочая несекционированная система сборных шин без резервирования (однолучевая несекционированная схема без резервирования).

На отходящих линиях в РУ-0,4 кВ понизительной подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование):

- автоматические выключатели марки АЗ160 – 40 единиц (год изготовления – 1976, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 1977), установлены на вводе в РУ-0,4 кВ (1 единица), на отходящих питающих линиях (3 единицы, из них: 2 единицы – к щиткам освещения – ЩРО и ЩАО по радиальной схеме, 1 единица – к силовым шкафам СРШ по магистральной схеме), для защиты одиночных потребителей в СРШ – 37 единиц;
- пускатели магнитные марки ПМЛ различных типономиналов (год изготовления и ввода в эксплуатацию на подстанции – 1978) – для пуска отдельных потребителей – 33 единицы.

От сборных шин РУ-0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия получают питание одиночные потребители по магистральной схеме электроснабжения двумя силовыми кабелями марки АВВГ (4x50), расположенными в одной питающей кабельной линии.

Основными потребителями системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, являются технологические механизмы, устройства и узлы предприятия.

Все основные потребители системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия распределены по силовым распределительным щитам (далее – СРЩ), согласно основному технологическому процессу передачи электроэнергии потребителям объекта.

Всего предусмотрено пять СРЩ, от которых по радиальной схеме электроснабжения получают питание конечные распределительные щитки (далее – РЩ) потребителей (оборудования) сварочного производства предприятия.

Все они работают на трёхфазном переменном напряжении 0,22/0,38 кВ промышленной частоты 50 Гц.

Высоковольтные потребители и транзитные потребители в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия отсутствуют.

Исходные технические данные потребителей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия приведены в работе ранее (таблица 2).

Оперативный ток системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия – переменный, напряжением 220 В. Защита силового трансформатора Т1 расположена на РУ-10 кВ в шкафу защиты трансформатора ШЗТ-Т1 расположенного рядом с Т1, защита ввода 0,4 кВ расположена в релейном отсеке ввода 0,4 кВ Т1.

### **1.3 Анализ требований к системам электроснабжения промышленных предприятий**

Известно, что основные нормы и требования, которые предъявляются проектированию, модернизации и реконструкции систем электроснабжения промышленных предприятий и их питающих понижающих трансформаторных подстанций систем электроснабжения промышленных

предприятий, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [1,10,11]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на подстанции;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанции;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования подстанции;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования подстанций, а также схемных решений;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования подстанции;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов на подстанции;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям подстанции на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы подстанции;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов на подстанции.

Далее кратко приводится основная характеристика наиболее важных требований, перечисленных выше.

Известно, что на понижающих подстанциях систем электроснабжения промышленных предприятий устанавливаются один либо два силовых

трансформатора. Более двух трансформаторов встречаются на понизительных подстанциях промышленных предприятий крайне редко [15].

В этом случае они должны быть обоснованы технико-экономическим расчётом [12].

Известно, что в системах электроснабжения трансформаторных подстанций промышленных предприятий должна быть обеспечена надёжные условия для коммутации и защиты как отдельных звеньев цепи, так и всей подстанции в целом.

Все электрические аппараты должны быть выбраны по расчётной нагрузке с учётом резервирования и проверены по максимальным токам короткого замыкания на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах [15].

Экономичность систем электроснабжения заключается в уменьшении расходов путём внедрения перспективных схемных решений, долгосрочной модернизации, уменьшения затрат на монтаж, эксплуатацию и ремонт оборудования, минимизация амортизационных отчислений, а также снижение капитальных вложений в проект за счёт применения современных перспективных решений.

#### **1.4 Обоснование практических мероприятий по реконструкции системы электроснабжения сварочного производства**

Исходя из результатов проведённого анализа состояния системы электроснабжения сварочного производства, а также установленного оборудования и схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта, основываясь на положениях нормативных документов, в данной работе предложены следующие практические рекомендации по реконструкция электрической части системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, включающие в себя такие основные этапы, а именно:

- модернизацию устаревших электрических аппаратов и кабельных линий в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта, а также внутренней системы электроснабжения сварочного производства напряжением 0,38/0,22 кВ, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками;
- реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта, предусматривающей установку второго трансформатора на данной подстанции, так как в связи с категорией основных потребителей подстанции, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, следовательно, в схеме необходим второй источник питания в виде силового трансформатора, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом;
- реконструкцию схемы РУ-10 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ сварочного производства. В связи с изменением схемы электрических соединений на стороне 10 кВ и установки второго трансформатора на данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, в работе должна быть предусмотрена вторая питающая линия 10 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП завода. Для защиты и коммутации данной линии в РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ необходим ввод нового фидера с соответствующими коммутационными и защитными аппаратами. Данные аспекты соответствуют требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности;
- реконструкцию схемы РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ сварочного производства. В связи с установкой второго силового трансформатора на цеховой ТП-10/0,4 кВ, в РУ-0,4 кВ данной подстанции должна быть предусмотрена вторая секция сборных шин

0,4 кВ. С целью обеспечения резервирования, между секциями сборных шин в РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ применяется резервирования в виде секционного автоматического выключателя с установленной на нём системы автоматического включения резервного питания (далее – АВР). В нормальном режиме данный аппарат будет отключен, включаясь только в послеаварийном режиме под действием АВР. Для защиты и коммутации данной линии в РУ-0,4 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ необходим ввод нового фидера с соответствующими коммутационными и защитными аппаратами. Данные аспекты соответствуют требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности;

- замена магистральной схемы электроснабжения во внутренней системе электроснабжения сварочного производства на радиальную схему, при которой каждый СРШ будет питаться отдельной кабельной линией от шин 0,4 кВ РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта. Такая схема будет соответствовать требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности.

Далее проводится краткое описание каждого из перечисленных этапов реконструкции электрической части системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Установлено, что к устаревшим аппаратам в РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ объекта относятся выключатели нагрузки и предохранители, которые являются морально и физически устаревшими марками оборудования.

В РУ-0,4 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ объекта требуют замены устаревшие автоматические воздушные выключатели (автоматы). Также требуется модернизация аппаратов в распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения сварочного производства.

Данные электрические аппараты РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, а также во внутренней системе электроснабжения объекта, выработали свой коммутационный и защитный технический ресурс и, поэтому, крайне ненадёжные.

Также в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений подстанции, планируется установка новых (дополнительных) аппаратов на второй ввод в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия сварочного производства машиностроительного предприятия.

Остальные аппараты, установленные в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, проверяются по всем требуемым условиям проверок [1,4,6,10].

Внедрение в работе рекомендаций по модернизации оборудования силовой части системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

Кроме того, как было указано ранее, в схеме электрических соединений подстанции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия класса напряжения 10/0,4 кВ необходимо провести реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ, предусматривающей установку второго трансформатора на подстанции, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом.

При этом сопутствующие мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ будут состоять в замене их питающей схемы с магистральной на радиальную, которая более характерна для питания потребителей I и II категории надёжности [10].

Такая реконструкция обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Основываясь на краткой исходной характеристике потребителей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия класса напряжения 10/0,4 кВ, приведённой в таблице 1, а также на исходной схеме главных электрических соединений объекта реконструкции, далее в работе проводится решение поставленных основных видов задач.

#### Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, на основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность мероприятий по проведению реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

В результате проведённого детального анализа в работе установлено, что данная реконструкция электрической части системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в работе включает в себя два основных этапа.

На первом этапе проводится модернизация устаревших электрических аппаратов в РУ-10 кВ (выключателей нагрузки и предохранителей) и РУ-0,4 кВ и внутренней системе электроснабжения 0,38/0,22 кВ (автоматов), осуществляемая путём их замены на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками.

Второй этап включает непосредственную реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ, предусматривающей ввод в эксплуатацию второго силового трансформатора, и, как следствие,



реконструкцию схем РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ подстанции, что соответствует требованиям [10], предъявляемым к электрическим схемам подстанций для питания объектов I и II категорий надёжности.

Кроме того, во внутренней системе электроснабжения 0,38/0,322 кВ сварочного производства машиностроительного предприятия предполагается замена магистральной схемы питания СРШ объекта на радиальную схему без ответвлений.

Предложенные мероприятия по реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия «в работе осуществляется применением перспективных технических решений и современных расчётных методик» [18].

Указанные практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия детально проверяются в работе далее на основе соответствующих расчётов и проверок.

## **2 Разработка проекта реконструкции системы электроснабжения объекта**

### **2.1 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок**

Далее в работе проводится расчёт ожидаемых электрических нагрузок в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Предварительно для расчёта электрических нагрузок, необходимо внести изменения в структурную схему сварочного производства машиностроительного предприятия вследствие её реконструкции.

Таким образом, исходя из данной схемы, далее будет проведён требуемый расчёт ожидаемых электрических сварочного производства машиностроительного предприятия.

Как было указано ранее, в результате проведения анализа исходной схемы электрических соединений объекта исследования установлено, что в работе реконструкция системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия предполагает внедрения двух основных направлений, а именно:

- реконструкция схемы электрических соединений подстанции и РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ (мероприятия описаны ранее). В частности, предполагается в первую очередь внедрение второго ввода в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия;
- модернизация оборудования распределительных устройств и сетей подстанции с применением новейших разработок, способных повысить параметры и характеристики объекта исследования.

Важнейшим мероприятием по реконструкции подстанции является внедрение второго ввода на объекте по условиям надёжности и экономичности.

Как известно, применение второго ввода на понизительной подстанции радикально вносит изменения в схемы электрических соединений объекта исследования. Данный аспект в обязательном порядке должен быть отражён в структурной схеме объекта с учётом резервирования (рисунок 1).

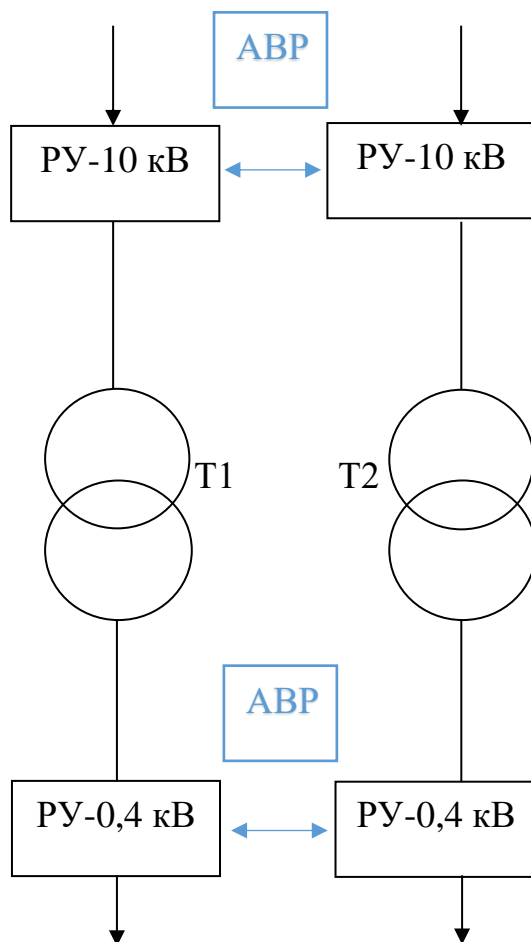


Рисунок 1 – Структурная схема системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия после реконструкции с учётом резервирования

Для следующего этапа, включающего расчёт ожидаемых электрических нагрузок в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, в работе далее используются данные, представленные в таблице 2 ранее в работе с учётом реконструированной структурной схемы объекта проектирования с учётом резервирования в схеме соединений. Поэтому далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок подстанции, целью которого является определение расчётных

электрических нагрузок всех потребителей, а также суммарной расчётной нагрузки сварочного производства машиностроительного предприятия. Расчёты проводятся на примере одного объекта, все остальные типичные результаты расчётов сводятся в таблицы. Проводится расчёт электрических нагрузок для всех конечных потребителей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия. Далее, на основе полученных результатов, рассчитывается нагрузка отдельно по всем СРШ объекта проектирования.

«Активная  $P_{см}$  и реактивная  $Q_{см}$  нагрузки системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия» [10]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, кВт, \quad (1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg \varphi, квар, \quad (2)$$

$$k_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}, \quad (3)$$

где  $k_u$  – «коэффициент использования» [18];

$tg \varphi$  – «коэффициент реактивной мощности» [16].

«Эффективное количество ЭП» [10]:

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (4)$$

«Расчетная активная нагрузка группы ЭП» [10]:

$$P_p = P_{см} \cdot k_p, кВт, \quad (5)$$

где  $k_p$  – «коэффициент расчётной нагрузки» [18].

«Согласно» [10]:

$$\cos\varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}{\sum P_{\text{ном}}} \quad (6)$$

«Расчетная нагрузка ТП-10/0,4 кВ» [10]:

$$Q_p = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ср.взв}} \cdot k_{\text{pp}}, \text{квар.} \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}, \quad (8)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{А}. \quad (9)$$

Результаты предварительного проектирования питающей сети сварочного производства машиностроительного предприятия с распределением нагрузок по СРШ, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты предварительного проектирования питающей сети сварочного производства машиностроительного предприятия с распределением нагрузок по СРШ

№ СРШ	Наименование потребителей	Номер РЩ потребителя	P <sub>ном</sub> , кВт
СРШ 1	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	РЩ №2	11
	Вентилятор вытяжной	РЩ №16	3
	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	РЩ №17	22
	Консольно-фрезерный станок 6Н11	РЩ №3	11
СРШ 2	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	РЩ №4	11
	Сварочный аппарат ВДУ 505	РЩ №10	8
	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	РЩ №7	11
	Насос теплоподдачи	РЩ №13	2,2
	Вентилятор вытяжной	РЩ №1	5,5
СРШ 3	Насос подачи воды №1	РЩ №5	5,5
	Насос подачи воды №2	РЩ №6	5,5
	Фекальный насос	РЩ №8	7,5
СРШ 4	Гильотинные механич. ножницы НГМ-6,3	РЩ №9	11
	Компрессор производственный	РЩ №11	11
	Установка аргонодуговая EVOSPARK EVOTIG 650	РЩ №12	18,5
СРШ 5	Вентилятор дутьевой установки	РЩ №14	11
	Гидравлический пресс П6328Б	РЩ №15	11
	Вентилятор производственный	РЩ №18	11

Проводится расчёт нагрузки на примере потребителей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, питающихся от СРШ-1 объекта по условиям (1) – (9):

$$P_{см} = 10 \cdot 2 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{см} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{ квар},$$

$$P_p = 31,24 \cdot 1,23 = 38,43 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 31,24 \cdot 1,75 = 60,31 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{38,43^2 + 60,31^2} = 71,51 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{71,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,65 \text{ А},$$

$$I_{мик} = 286,5 + (108,65 - 0,2 \cdot 95,5) = 376,05 \text{ А}.$$

«Расчетная нагрузка освещения» [12]:

$$P_{p.o} = K_{с.о} P_{ном.о} K_{пр.а}, \text{ кВт}, \quad (10)$$

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_{ц}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \text{tg} \varphi_o, \text{ квар}. \quad (12)$$

Осветительная нагрузка системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия согласно (10) – (12):

$$P_{ном.о} = 500 \cdot \frac{15}{1000} = 7,5 \text{ кВт},$$

$$P_{p.o} = 7,5 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 7,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = 7,5 \cdot 0,43 = 3,2 \text{ квар},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{7,4^2 + 3,2^2} = 8,1 \text{ кВА},$$

$$I_{p.o} = \frac{8,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,5 \text{ A.}$$

Результаты расчётов электрических нагрузок системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия представлены в виде таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов электрических нагрузок СРШ при реконструкции системы электроснабжения сварочного производства

Наименование РЦ потребителя	Число, шт	$P_{\text{сум}}$ , кВт	$n_{\text{э}}$	$K_p$	Значение нагрузки				
					$P_{p.}$ , кВт	$Q_{p.}$ , квар	$S_{p.}$ , кВт·А	$I_{p.}$ , А	$I_{n.}$ , А.
СРШ1									
РЦ №2	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №16	1	3	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №17	3	66	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №3	2	22	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ1	8	113	7,33	1,23	38,43	60,31	71,51	108,7	376,1
СРШ2									
РЦ №4	1	11	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №10	2	16	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №7	3	33	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №13	1	2,2	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №1	1	5,5	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ2	8	67,7	7,08	1,28	23,64	24,45	34,1	51,7	192,7
СРШ3									
РЦ №5	2	11	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №6	4	22	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №8	2	15	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ3	8	48	7,84	1,78	11,96	12,80	17,52	26,6	135,5
СРШ4									
РЦ №9	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №11	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №12	3	54	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ4	7	98	6,44	1,13	55,14	42,1	69,4	105,4	246,5
СРШ5									
РЦ №14	3	54	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №15	2	22	-	-	-	-	-	-	-
РЦ №18	2	22	-	-	-	-	-	-	-
Всего по СРШ5	6	66	5,95	1,28	23,3	23,7	33,3	50,5	191,7
ЩРО	-	-	-	-	7,4	3,2	8,1	12,5	-
ЩАО	-	-	-	-	0,7	0,3	0,8	1,3	-
Всего по сварочному производству	-	-	-	-	152,51	163,3	223,5	339,6	831,9

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок системы электроснабжения сварочного производства, используются в работе далее для выбора и проверки трансформаторов на питающей цеховой ТП-10/0,4 кВ, а также проводников и аппаратов.

При этом в работе используются как значения расчётных нагрузок секций сборных шин подстанции, так и значения расчётных нагрузок присоединений потребителей, а также результаты расчётов нагрузок всей реконструируемой системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного завода.

## **2.2 Выбор трансформаторов на подстанции с учётом компенсации реактивной мощности**

Согласно методике [11], после предварительного расчёта нагрузок системы электроснабжения сварочного производства, в рассматриваемой системе электроснабжения, если это необходимо, нужно установить компенсирующие устройства (далее – КУ) в узлах системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Таким образом, будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и СРШ и СРШ всей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов КРМ.

На питающей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, расчётная реактивная мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ определяется так [14]:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \text{ квар}, \quad (13)$$



$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 152,51(1,328 - 0,39) = 128,72 \text{ квар.}$$

Так как в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия 10/0,4 в результате внедрения практических мероприятий по реконструкции устанавливается два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для установки две комплектных конденсаторных установки типа УК БН-0,38-50-50УЗ.

При этом суммарная мощность выбранных КУ на всей системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия 10/0,4 составляет  $2 \cdot 50 = 100$  квар» [6].

Здесь:

$$tg \varphi_{к} = tg \varphi - \frac{Q_{к.см.}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар,} \quad (14)$$

$$tg \varphi_{к} = 1,328 - \frac{100 + 28,75}{0,9 \cdot 152,51} = 0,33.$$

«Пересчёт значений нагрузок ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных КУ» [8]:

$$P_p = 152,51 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = 163,31 - 100 = 63,31 \text{ квар,}$$

$$S_p = \sqrt{152,51^2 + 63,31^2} = 165,2 \text{ кВА.}$$

«Полученные уточнённые значения расчётных электрических нагрузок в результате установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ понизительной ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения сварочного производства, используются в работе далее» [8].

Далее проводится выбор марки силовых трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ объекта.

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия до проведения реконструкции был установлен трансформатор 1Т – ТМ-400/10.

После внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции обоснована установка двух силовых трансформаторов, номинальную мощность которых необходимо выбрать далее.

Как известно, «требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора для его установки в результате проведения реконструкции на подстанции» [17] переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{см.}}}{N\beta_T}, \quad (15)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная (паспортная) мощность силового

трансформатора подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия [17];

$S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия;

$P_p$  – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия;

$P_{см.}$  – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

По условию выбора (15), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия сторонних потребителей:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{165,2}{2 \cdot 0,7} = 117,9 \text{ кВА.}$$

«В работе выбран для установки в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия на подстанции 10/0,4 кВ, силовой трансформатор ТМГ-160/10» [12].

Данный тип трансформатора выполняется без наличия расширительного бака и герметичен, таким образом он зарекомендовал себя значительно лучше, чем аналогичные трансформаторы марок ТМ и ТМЗ. Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата. Силовой трансформатор марки ТМ-400/10 кВ, который был установлен на подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, после реконструкции использовать в схеме технически нежелательно, так как его загрузка будет очень низкая и потери холостого хода, а также величина реактивной мощности, в системе электроснабжения значительно возрастут.

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме» [12]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (16)$$

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [12]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (17)$$

Проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в нормальном режиме выполняется:

$$K_3^n = \frac{165,2}{160 \cdot 2} = 0,52 \leq 0,7.$$

Проверка трансформаторов на питающей подстанции переменного напряжения 10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в ПАВ режиме выполняется:

$$K_3^{n.ав} = \frac{165,2}{160 \cdot (2-1)} = 1,03 \leq 1,4.$$

Условие проверки силовых трансформаторов в ПАВ режиме выполняется, следовательно, данный тип силовых трансформаторов окончательно принимается для установки на питающей подстанции переменного напряжения 10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Конструктивное выполнение питающей подстанции переменного напряжения 10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия представлено в работе на графическом листе 5. В работе питающая ТП-10/0,4 кВ выполнена в виде современной комплектной подстанции.

### 2.3 Расчёт токов короткого замыкания

Осуществляется расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) в системе электроснабжения объекта.

Так как в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия в результате проведения её реконструкции установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на подстанции остаётся один силовой трансформатор.

«Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия представлена на рисунке 2» [12].

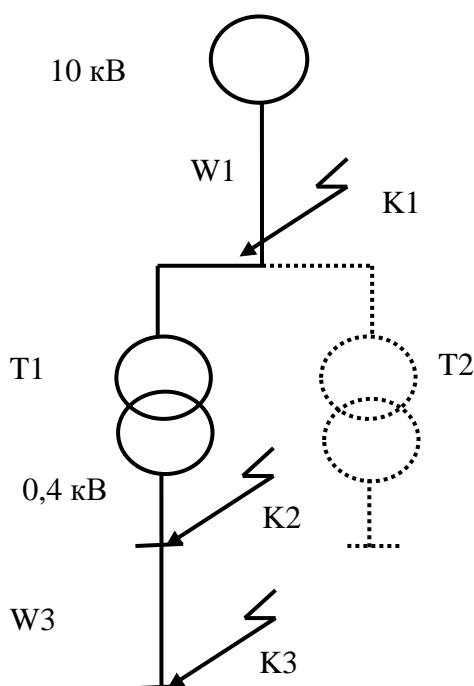


Рисунок 2 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия (Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 10 кВ)

Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия показана в работе на рисунке 3.

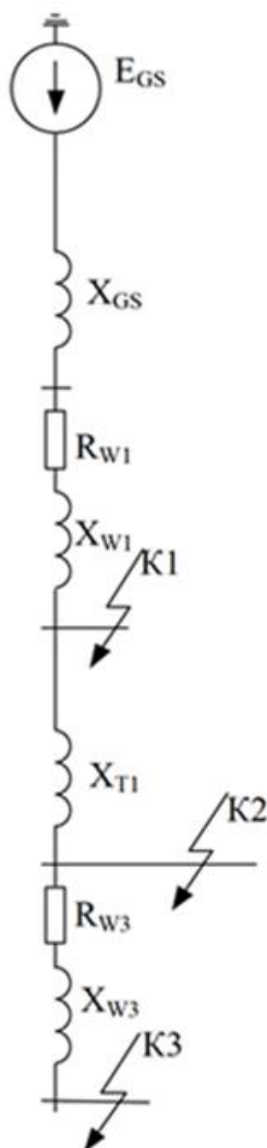


Рисунок 3 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ.

Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия [16].

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия:

$$S_{\sigma} = 160 \text{ кВА} = 0,16 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия определяется так [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ}. \quad (18)$$

По условию (18):

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ},$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия [8]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (19)$$

По условию (19):

$$I_{\sigma 1} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,015 \text{ кА}.$$

$$I_{\delta.2} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,23 \text{ кА.}$$

«Значение индуктивного сопротивления КЛ» системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{y\delta.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}, \quad (20)$$

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{10,5^2} = 0,005 \text{ о.е.},$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения [8].

«Значение активного сопротивления КЛ» [8]:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\delta.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}, \quad (21)$$

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{10,5^2} = 0,006 \text{ о.е.},$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}, \quad (22)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,16}{0,16} = 0,0525 \text{ о.е.}$$



Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия определяется по известному выражению [16]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_6. \quad (23)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётных точек и ток КЗ» [16]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}, \quad (24)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,015 = 1,25 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}, \quad (25)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,23 = 3,71 \text{ кА},$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}, \quad (26)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ о.е.},$$

$$I_{\kappa3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,23 = 1,84 \text{ кА}.$$

«Ударный ток при максимальном значении трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы» [16] системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия [16]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (27)$$

Численное значение ударного тока при максимальных значениях трёхфазных токов КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия:

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд.к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд.к3}} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА}.$$

Минимальное значение токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия определяется по известному выражению [16]:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}. \quad (28)$$

Численное значение минимальных токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия:

$$I_{\text{к1}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,25 = 1,08 \text{ кА},$$

$$I_{\text{к2}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,71 = 3,21 \text{ кА},$$

$$I_{\text{к3}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,84 = 1,59 \text{ кА}.$$

«Все полученные в работе результаты расчёта токов КЗ в схеме системы электроснабжения» [16] сварочного производства машиностроительного предприятия, приведены в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра		
		Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_K^{(3)}, \text{кА}$	кА	1,25	1,08	2,47
$I_K^{(2)}, \text{кА}$	кА	3,71	3,21	5,25
$i_{уд.к}, \text{кА}$	кА	1,84	1,59	2,60

Полученные результаты используются в работе далее при выборе и проверке оборудования в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

## 2.4 Расчёт и выбор кабелей

«Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия» [16].

В работе проводится выбор следующих силовых кабельных линий объектов:

- питающая сеть 10 кВ – высоковольтная трёхжильная кабельная линия напряжением 10 кВ от питающей ГПП-110/10 кВ машиностроительного завода до РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия;
- питающая сеть 0,38/0,22 кВ – низковольтные кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ, питающие от шин 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия до всех СРШ-0,4 кВ потребителей (радиальная схема с резервированием);
- распределительная сеть 0,38/0,22 кВ – низковольтные кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ, питающие все конечные РЩ

потребителей объекта от СРШ-0,4 кВ потребителей (радиальная схема с резервированием на стороне 0,38/0,22 кВ).

Далее в работе «проводится определение и выбор сечений кабельной линии напряжением 10 кВ (для питания системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия)» [11].

Расчётный «рабочий ток линии» [7,9]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (29)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p. max} = 1,4 I_{p. max} \quad (30)$$

«Условие проверки» [11]:

$$I_{дон} \geq I_{p. max} \quad (31)$$

«Где  $I_{дон}$  – длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

« $I_{p. max}$  – максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Воздушные и кабельные линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по экономической плотности тока» [7]:

$$F_э = \frac{I_{p.}}{j_э} \quad (32)$$

«Выбор кабельных линий для питания цеховой ТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ» [11]:

$$I_{p.} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \text{ A},$$

$$F_{э.} = \frac{9,2}{1,6} = 5,8 \text{ мм}^2.$$

«Однако по условиям механической прочности в работе принимается ближайшее минимальное стандартное сечение  $F=16 \text{ мм}^2$  с допустимым током  $I_{доп}=90 \text{ А}$ » [12]. Следовательно, принят кабель АСБ-10 (3×16).

Поэтому это сечение питающего кабеля системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия предварительно принимается в работе.

«Максимальный расчётный ток» [11]:

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 9,2 = 12,9 \text{ A}.$$

«Проверка выбранного сечения кабеля 10 кВ в аварийном режиме» [11]:

$$90 \text{ A} \geq 12,9 \text{ A}.$$

«Аналогично проводится выбор кабельных линий питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ по допустимому нагреву» [11] (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ

СРШ	Число кабелей в КЛ, шт.	Наличие резервирования в схеме	Марка и сечение кабеля	$I_{доп}$ , А
СРШ1	1	да	АВБбШвнг (5×35)	130,0
СРШ2	1	да	АВБбШвнг (5×25)	105,0
СРШ3	1	да	АВБбШвнг (5×25)	105,0
СРШ4	1	да	АВБбШвнг (5×35)	130,0
СРШ5	1	да	АВБбШвнг (5×25)	105,0
ЩРО	1	да	АВБбШвнг (5×4)	19,0
ЩАО	1	да	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0

Для СРШ1 реконструируемой системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия условия согласования в численном виде:

$$I_{дон.} \geq 10,49 / 1 = 10,49 A,$$

$$I_{дон.} \geq 1 \cdot 12,5 = 12,5 A.$$

«Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения ТП-10/0,4 кВ представлен в таблице 7» [7].

Таблица 7 – Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения ТП-10/0,4 кВ

Наименование РЦ потребителя	Наименование потребителя	Параметры выбранной кабельной линии	
		Марка КЛ	$I_{дон.}, A$
РЦ №1	Вентилятор вытяжной	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЦ №2	Станок токарно-винторезный Opti TU8020/TU8030	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №3	Консольно-фрезерный станок 6Н11	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №4	Токарно-карусельный станок с фрезерной функцией модели RAL-16M	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №5	Насос подачи воды №1	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЦ №6	Насос подачи воды №2	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЦ №7	Барабанный шлифовальный станок JET DDS-237	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №8	Фекальный насос	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №9	Гильотинные механич. ножницы НГМ-6,3	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №10	Сварочный аппарат ВДУ 505	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЦ №11	Компрессор производственный	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №12	Установка аргодуговая EVOSPARK EVOTIG 650	ВВГнг-LS 5×4	32,0
РЦ №13	Насос теплоподачи	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЦ №14	Вентилятор дутьевой установки	ВВГнг-LS 5×4	32,0
РЦ №15	Гидравлический пресс П6328Б	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0
РЦ №16	Вентилятор вытяжной	ВВГнг-LS 5×1,5	19,0
РЦ №17	Сварочный выпрямитель «Плазер ВД-306Ш»	ВВГнг-LS 5×6	42,0
РЦ №18	Вентилятор производственный	ВВГнг-LS 5×2,5	27,0

Полученные результаты выбора кабелей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ отвечают всем требованиям проверок.

По этой причине все кабельные линии как питающей, так и распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, принимаются для их установки в реконструируемой системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Все выбранные проводники как питающей (10 кВ), так и распределительной (0,4 кВ) сетей реконструируемой системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте в результате реконструкции.

Результаты выбора линий питающей (10 кВ) и распределительной (0,4 кВ) сетей объекта показаны в графической части работы на листе 2.

## **2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов**

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия является модернизация оборудования 10 кВ и 0,4 кВ.

Известно, что внедрение принятых решений по модернизации оборудования подстанции повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения.

Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

В работе при модернизации оборудования подстанции необходимо учесть критерии, являющиеся определяющими при выборе современного типа оборудования подстанций.

Известно, что современные технические решения по модернизации оборудования подстанций включают применение нового инновационного

оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования (критерий 1);
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем (критерий 2);
- стабильное отключение больших токов (критерий 3);
- применение современных способов гашения электрической дуги (критерий 4);
- повышенная электробезопасность (критерий 5);
- экологическая безопасность (критерий 6);
- пожаробезопасность (критерий 7);
- взрывобезопасность (критерий 8);
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт (критерий 9);
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений (критерий 10);
- возможность дальнейшей модернизации (критерий 11).

С учётом данных критериев, выбор конкретных марок данных «аппаратов для их непосредственной установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ понизительной подстанции» [7] системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия проводится в работе далее.

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (33)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (34)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:



$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (35)$$

«Проверка на отключение апериодической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (36)$$

где « $\beta_{ном}$  – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [12];  
 « $i_{а.ном}$  – номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}, \quad (37)$$

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (38)$$

где « $i_{дин.}$  – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (39)$$

где « $I_T$  – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

По приведённым выше формулам, далее в работе проводится выбор и проверка нового оборудования для его установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ реконструируемой системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Так как на подстанции в результате проведения реконструкции используются два одинаковых силовых трансформатора по номинальным мощностям и типам, необходимо проводить выбор нового

модернизированного оборудования в цепи одного силового трансформатора (как на стороне 10 кВ, так и на стороне 0,4 кВ подстанции).

Следовательно, выбор оборудования для второго трансформатора системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия результаты будут аналогичными.

Помимо выбора новых типов выключателей нагрузки и предохранителей, в работе также необходимо проверить работоспособность остальных аппаратов в схеме по новым условиям реконструкции, которые не подлежат замене, включая выключатель высокого напряжения на питающем РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ завода.

К таким аппаратам 10 кВ на подстанции относятся трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и ограничители перенапряжения. Этот фактор, учтённый в работе, увеличит точность расчётов и полученных результатов.

Данные о максимальном значении тока внешнего трёхфазного КЗ и ударном токе на шинах 10 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия принимаются по данным энергосистемы.

Для примера проводится выбор и проверка выключателя для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ, установленном в РУ-10 кВ ГПП:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 20,2 \text{ А},$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА},$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки на питающем РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, для защиты и коммутации системы электроснабжения сварочного

производства машиностроительного предприятия, «вакуумный выключатель номинального напряжения 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48» [13].

«Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ» [5] для их установки в РУ-10 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, а также и на питающем РУ-10 кВ (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ

Наименование аппарата	Количество в схеме, ед.	Марка аппарата	Примечание
Выключатель высокого напряжения	2	ВВ/TEL-10-8/630 У2	вакуумный
Предохранитель	6	ПК-10-20-31,5/У3	-
Трансформатор тока	6	ТПОЛМ-10	-
Трансформатор напряжения	2	НТМИ-10	для всех потребителей РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ
Ограничители перенапряжений	6	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1	в комплекте с выключателями
Выключатель нагрузки	2	ВНПу-10/ 400-10-У3	-

Далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия. В схеме электроснабжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, «автоматы устанавливаются в следующих расщепителях (шкафах)» [10]:

- «в шкафах РУ-0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ» [10];
- «в шкафах СРШ (ЩРО, ЩАО)» [10].

Автоматы в сети 0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия «выбираются по условиям, приведённым ниже» [10]. «Номинальные токи автомата и уставки теплового расщепителя автомата» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (40)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (41)$$

«Номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (42)$$

где « $K_{то}$  – кратность тока» [19].

«Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (43)$$

где « $K$  – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия для питающей сети её потребителей осуществлён аналогично (таблица 9).

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов защиты и коммутации питающей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия

Наименование объекта для установки ЭА	Марка автомата	$I_{ном.а}, А$	$I_{у.т.р.}, А$	$I_{у.э.р.}, А$
Вводной автомат	ВА57-39	400	400	1200
Секционный автомат	ВА57-35	250	250	750
СРШ1	ВА57-35	250	125	375
СРШ2	ВА57-35	250	80	240
СРШ3	ВА57-35	250	80	240
СРШ4	ВА57-35	250	125	375
СРШ5	ВА57-35	250	80	240
ЩРО	ВА 47-29/16С	16	16	48
ЩАО	ВА 47-29/6С	6	6	18

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия для распределительной сети её потребителей, осуществлён аналогично (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты выбора автоматических выключателей системы электроснабжения системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия для распределительной сети её потребителей

Наименование РЩ	Параметры автомата		
	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.т.р}, A$
РЩ №1	ВА 47-29/25С	25	12,5
РЩ №2	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №3	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №4	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №5	ВА 47-29/25С	25	12,5
РЩ №6	ВА 47-29/25С	25	12,5
РЩ №7	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №8	ВА 47-29/25С	25	16
РЩ №9	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №10	ВА 47-29/25С	25	12,5
РЩ №11	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №12	ВА 47-29/40С	40	31,5
РЩ №13	ВА 47-29/25С	25	6,3
РЩ №14	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №15	ВА 47-29/25С	25	20
РЩ №16	ВА 47-29/25С	25	6,3
РЩ №17	ВА 47-29/40С	40	40
РЩ №18	ВА 47-29/25С	25	25

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Они показаны в графической части.

## 2.6 Расчёт заземления зданий и сооружений объекта

Далее в работе необходимо провести расчёт системы заземления системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Известно, что такая система служит для обеспечения безопасности персонала от поражения электрическим током на объекте, поэтому она имеет большое значение.

Контур заземления системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия сооружается в виде сетки и состоит из горизонтальных и вертикальных электродов, которые обеспечивают снижение допустимого сопротивления не более 4 Ом для установок до 1 кВ и не более 10 Ом для электроустановок выше 1 кВ.

Контур заземления объекта проектируется на питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия. К нему непосредственно будет подключаться вся сеть заземления объекта.

Поэтому в работе необходимо провести расчёт именно данного контура заземления цеховой ТП-10/0,4 кВ.

«Производится расчёт контура защитного заземления ТП-10/0,4 кВ согласно методике» [16].

Конструкция принятого типа заземляющего устройства показана на рисунке 4.

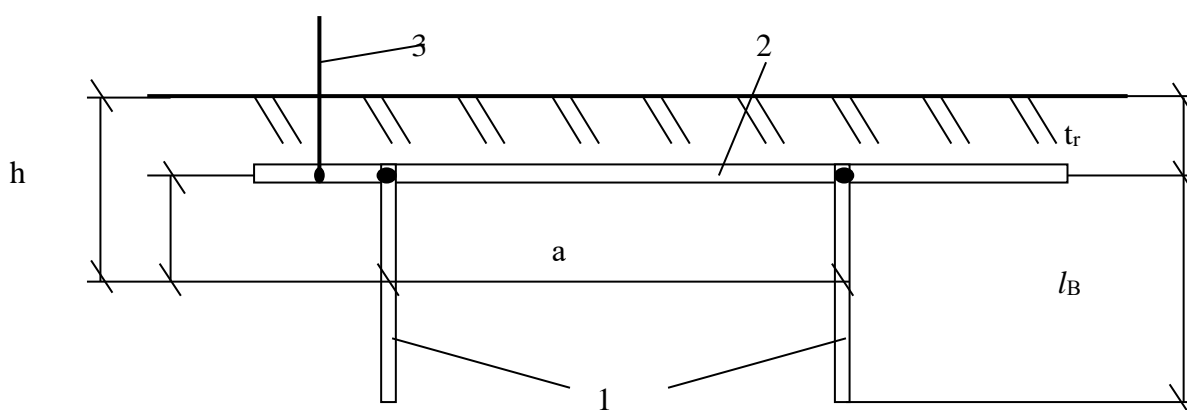


Рисунок 4 – Конструкция проектируемого заземляющего устройства системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия: 1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – заземляющий проводник

«Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициентов вертикальных и горизонтальных заземлителей (соответственно  $K_B$  и  $K_G$ )» [16]:

$$\rho_{P.B} = K_B \cdot \rho, \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \quad (44)$$

$$\rho_{P.B} = 1,1 \cdot 400 = 440 \text{ Ом} \cdot \text{ м},$$

$$\rho_{P.G} = K_G \cdot \rho, \quad (45)$$

$$\rho_{P.G} = 1,5 \cdot 400 = 600 \text{ Ом} \cdot \text{ м},$$

«Определяется сопротивление растекания одного вертикального электрода» [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left( \lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}, \quad (46)$$

где  $l, t, d$  – «принятые габариты и размеры электродов, м» [16].

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{440}{5} \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 10} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 3,2 + 3}{4 \cdot 3,2 - 3} \right) = 44,13 \text{ Ом}.$$

«Приближенное число вертикальных заземлителей, расположенных при предварительно выбранном коэффициенте использования вертикальных заземлителей с учетом экранирования и без учета горизонтальных полос при предварительно выбранном числе электродов  $n = 10$ , при отношении  $a/l_B = 1$ , коэффициент использования вертикальных электродов  $K_B = 0,62$ » [16]:

$$n = \frac{R_{O.B}}{K_B \cdot R_{з.норм}}, \text{ шт}, \quad (47)$$

$$n = \frac{44,13}{0,62 \cdot 4} = 17,8 \text{ шт}.$$

Принимается  $n = 17$  шт.

«Определяется сопротивление растекания горизонтальных электродов при значении  $b = 40 \text{ мм}^2$ ,  $h = 4 \text{ мм}$ , по формуле» [16]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.2} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{ Ом}, \quad (48)$$

$$R_r = \frac{600}{6,28 \cdot 20} \cdot \lg \frac{2 \cdot 20^2}{40 \cdot 0,7} = 22,3 \text{ Ом}.$$

«Тогда» [16]:

$$R_{r.E} = \frac{R_{O.r}}{K_r}, \text{ Ом}, \quad (49)$$

$$R_{r.E} = \frac{22,3}{0,77} = 28,9 \text{ Ом}.$$

«По» [16]:

$$R_{6.э.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом}, \quad (50)$$

$$R_{6.э.} = \frac{28,9 \cdot 4}{28,9 - 4} = 3,56 \text{ Ом}.$$

«При этом» [16]:

$$n = \frac{R_{O.B}}{K_B \cdot R_{B.E}}, \text{ шт}, \quad (51)$$

$$n = \frac{44,13}{0,76 \cdot 3,56} = 16,07 \text{ шт}.$$



Исходя из результатов, принимается 16 вертикальных электродов (ближайшее целое число с учётом коррекции).

В виду того, что все требуемые условия документов и методики расчётов выполнены, окончательно принимается к установке в контуре заземления на ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия шестнадцать вертикальных заземлителей (электродов).

Конструкция заземляющего устройства в виде контура заземления системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия представлена на графическом листе 6.

## **2.7 Расчёт релейной защиты и автоматики**

Далее в работе проводится расчёт релейной защиты и автоматики для защиты системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия.

Известно, что релейная защита и автоматика (далее – РЗА) устанавливается на выключателях высокого напряжения объекта. Таким образом, в работе необходимо выбрать уставки РЗА для защиты цеховой ТП-10/0,4 кВ, установив её на выключателе в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ завода, который защищает и коммутирует данную подстанцию.

В виду того, что указанная ТП-10/0,4 кВ выполнена после реконструкции с двумя трансформаторами по радиальной схеме, следовательно, выключателей в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ для её защиты и коммутации, завода будет также два.

Так как в работе применяются новейшие микропроцессорные блоки, значит, расчёт уставок основных защит должен проводиться по упрощённой методике, без учёта коэффициентов самозапуска, надёжности и возврата, которые присущи только устаревшим индукционным реле [8].

Ток срабатывания защит от внутренних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального рабочего тока по следующему условию [8]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_m, \quad (52)$$

где  $K_o$  – коэффициент отстройки;

$I_m$  – максимальный ток линии, А.

Ток срабатывания защит от внешних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального тока КЗ по следующему условию [8]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_k. \quad (53)$$

Для всех защит принимаются различные значения коэффициента отстройки (в зависимости от типа защит и назначения – основная или резервная). При этом действительный ток срабатывания защит (ток срабатывания релейного микропроцессорного элемента) с учётом коэффициента трансформации ТТ при коэффициенте схемы, равном единице (соединение ТТ и блоков РЗиА в полную и/или неполную звезду):

$$I_{c.р} \geq \frac{I_{c.з}}{K_m}, \quad (54)$$

где  $K_m$  – коэффициент трансформации трансформатора тока, установленного на линии.

В работе применяются следующие виды защит и устройств автоматики для защиты линии «выключатель РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ – ТП-10/0,4 кВ объекта»:

– дифференциальная защита (ДЗ);

- максимальная токовая защита (МТЗ);
- защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

МТЗ является защитой от внутренних повреждений, поэтому она отстраивается от максимального рабочего тока с  $K_o = 1,1$ .

Селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (начиная от источника к потребителю). Поэтому предварительно можно принять время срабатывания МТЗ на данной линии  $t_{c.з} = 1$  с [6]. Дальнейшее согласование времени срабатывания защит необходимо провести после уточнения времени срабатывания защиты на источнике питания [8].

Уставка срабатывания МТЗ линии «выключатель РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ – ТП-10/0,4 кВ объекта»:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 12,9 = 14,2 \text{ А.}$$

ДЗ является основной защитой от внешних повреждений, поэтому отстраивается от максимального тока КЗ с  $K_o = 1,3$ . ДЗ выполняется без выдержки времени (мгновенная основная защита без выдержки времени):

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 1,25 = 1,63 \text{ кА.}$$

ЗОЗ является основной защитой от однофазных замыканий на землю. Учитывая требования [10], принимается в работе для ЗОЗ линии «выключатель РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ – ТП-10/0,4 кВ объекта» следующие технические параметры:  $I_{c.з} = 5$  А,  $t_{c.з} = 0$  с (без выдержки времени).

Все технические параметры и уставки РЗА линии «выключатель РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ – ТП-10/0,4 кВ объекта» удовлетворяют условиям выбора.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным

путём принятые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования понизительной подстанции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия. Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов;
- расчёт релейной защиты и автоматики.

Внедрены практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, в основе которых лежат установка второго силового трансформатора.

Помимо этого, также внедрены следующие мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения объекта:

- реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ, заключающаяся в обеспечении резервирования и внедрении радиальной схемы для питания каждого трансформатора подстанции (при необходимости). При этом в схеме РУ-10 кВ после установки второго трансформатора обеспечен отдельный режим работы каждого фидера (блока «линия – трансформатор»), что отвечает требованиям [10];
- реконструкция схемы электрических соединений РУ-0,4 кВ с применением отдельного питания и двух секций сборных шин (каждая секция шин будет питаться от своего трансформатора без

связи с соседней секцией в нормальном режиме). При этом резервирование в схеме РУ-0,4 кВ, согласно требованиям [10], осуществлено с помощью секционного выключателя, который должен обеспечивать питание секции сборных шин, оставшейся без напряжения, от второй секции.

Основываясь на результатах анализа современных инновационных разработок оборудования, на основе рекомендуемых критериев выбора, в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия внедрены мероприятия по модернизации оборудования:

- выбрано и проверено новое высоковольтное оборудование для установки в РУ-10 кВ питающей цеховой подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта проектирования;
- выбрано и проверено новое оборудование для установки в РУ-0,4 кВ подстанции и СРШ: автоматы марки ВА различных типономиналов и модификаций;
- рассчитан контур заземления объекта;
- рассчитаны уставки РЗиА линии «выключатель РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ – ТП-10/0,4 кВ объекта».

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате модернизации подстанции, необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМГ-160/10, которые выдержат перегрузку в послеаварийном режиме работы. Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

### **3 Разработка мероприятий по энергосбережению на объекте**

Учитывая результаты проведения анализа литературных источников, включающего обзор основных целей, задач, алгоритма формирования и структура мероприятий по управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем, а также проведённого анализа мероприятий по управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем для их применения в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного завода, в данном разделе работы осуществляется разработка комплекса мероприятий по энергосбережению с помощью параллельного внедрения мероприятий по управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем в системе электроснабжения объекта реконструкции и краткого практического плана по его реализации.

В работе предполагается осуществить разработку данного комплекса мероприятий по энергосбережению с помощью мероприятий по управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем в системе электроснабжения объекта реконструкции, с использованием следующих основных этапов (блоков):

- оценка текущего состояния энергоэффективности в подразделениях сварочного производства машиностроительного завода и на предприятии в целом (энергетический аудит);
- разработка и внедрение проекта по повышению энергоэффективности по каждому подразделению и энергоресурсу сварочного производства машиностроительного завода (с последующим разделением и систематизацией блоков);
- информационное обеспечение и маркетинг энергетического менеджмента;
- инвестиции в проект;

- комплекс организационных и технических мероприятий по энергосбережению с последующей их реализацией;
- мониторинг и контроль выполнения мероприятий по энергосбережению;
- корректировка данных (этапов) в зависимости от фактических результатов.

Далее проводится краткое описание алгоритма реализации данного комплекса мероприятий (плана по его реализации в системе электроснабжения объекта).

Алгоритм реализации мероприятий по энергосбережению с помощью мероприятий по управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем, в системе электроснабжения объекта реконструкции имеет замкнутый цикл [21].

На первом этапе проводится оценка текущего состояния энергоэффективности в подразделениях объекта и на предприятии в целом (энергетический аудит), имеющий назначение выявить проблемы в энергоэффективности на основе анализа их потребления за конкретный период.

Выборка для проведения данного анализа должна представлять собой как можно больше независимых переменных и наблюдений.

На втором этапе проводится разработка и внедрение проекта по повышению энергоэффективности по каждому подразделению и энергоресурсу объекта (с последующим разделением и систематизацией блоков).

В результате проведённого анализа на в системе электроснабжения сварочного производства установлено, что таких блоков по энергоресурсам на объекте реконструкции два: первый – это потребляемая электроэнергия, второй – это блок прочих энергоресурсов (тепловая энергия, расход газа, горячее и холодное водоснабжение и т.д.).

Параллельно осуществляется информационное обеспечение и маркетинг энергетического менеджмента, а также привлекаются инвестиции в проект (внешние займы либо внутренние ресурсы).

Систематизируя информацию, полученную в результате проведённого анализа согласно внедряемым программам энергосбережения на объекте реконструкции, следует учесть, что на объектах предприятия (электрические сети и подстанции объекта реконструкции) применяются мероприятия по уменьшению потерь электроэнергии, а в системе собственных нужд предприятия – мероприятия по уменьшению затрат не только на электроэнергию, а и на прочие энергоресурсы.

Данные составляющие должны быть учтены в виде соответствующих блоков.

Для достижения поставленной цели в зависимости от вида энергоресурса, согласно разработанной программе по энергоэффективности и энергосбережению на объекте реконструкции, в работе применяются организационные и технические мероприятия по энергосбережению.

При этом для электрических сетей и подстанции объекта реконструкции применяется комплекс мероприятий по уменьшению потерь электроэнергии на предприятии и в его подразделениях, а в системе собственных нужд – комплекс мероприятий по уменьшению расходов на собственные нужды на предприятии и в его подразделениях.

На основании проведённого анализа в системе электроснабжения машиностроительного предприятия, установлена эффективность внедрения этих комплексов.

Следовательно, можно сделать вывод, что при их внедрении в систему электроснабжения отдельного звена машиностроительного предприятия (в систему электроснабжения сварочного производства), их эффективность будет также высокой.

Указанные мероприятия по энергосбережению требуют жёсткого, качественного и своевременного мониторинга и контроля их выполнения, а



также своевременных корректировок данных, стратегии и мероприятий по энергосбережению, с учётом качества и своевременности их выполнения.

Эти уточнённые данные вносятся в аналитическую базу первого этапа и непосредственно учитываются далее в проекте.

Кроме того, коррекции могут быть подвержены и прочие блоки комплекса по энергосбережению в системе электроснабжения объекта (при необходимости).

### Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела, учитывая результаты проведения анализа литературных источников, включающего обзор основных целей, задач, алгоритма формирования и структура мероприятий по энергосбережению, а также проведённого анализа мероприятий по энергоэффективности для их применения в системе электроснабжения предприятий и учреждений, осуществлена разработка комплекса мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия и краткого плана по его практической реализации.

Предложенный комплекс мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения сварочного производства позволит значительно повысить технические и экономические показатели реконструированной системы электроснабжения объекта путём снижения потерь электроэнергии в сети, уменьшения перетоков реактивной мощности в энергосистеме и повышения энергетических характеристик.

## Заключение

В результате выполнения работы проведена реконструкция системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, осуществляемая в работе качественного изменения однолинейной схемы главных электрических соединений объекта с конечным приведением её к требуемому нормативному виду, согласно положений основных нормативных документов отрасли, путём установки дополнительного (второго) силового трансформатора для питания потребителей I и II категории надёжности и, как следствие, реконструкции схемы электрических соединений распределительных устройств питающей подстанции объекта.

Исходя из результатов проведённого анализа состояния системы электроснабжения сварочного производства, а также установленного оборудования и схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта, основываясь на положениях нормативных документов, в данной работе предложены следующие практические рекомендации по реконструкции электрической части системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, включающие в себя такие основные этапы, а именно:

- модернизацию устаревших электрических аппаратов и кабельных линий в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта, а также внутренней системы электроснабжения сварочного производства напряжением 0,38/0,22 кВ, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками;
- реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 10 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта, предусматривающей установку второго трансформатора на данной подстанции, так как в связи с категорией основных

потребителей подстанции, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, следовательно, в схеме необходим второй источник питания в виде силового трансформатора, а также реконструкция схемы электрических соединений РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ, обусловленных данным фактом;

- реконструкцию схемы РУ-10 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ сварочного производства. В связи с изменением схемы электрических соединений на стороне 10 кВ и установки второго трансформатора на данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, в работе должна быть предусмотрена вторая питающая линия 10 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП завода. Для защиты и коммутации данной линии в РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ необходим ввод нового фидера с соответствующими коммутационными и защитными аппаратами;
- реконструкцию схемы РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ сварочного производства. В связи с установкой второго силового трансформатора на цеховой ТП-10/0,4 кВ, в РУ-0,4 кВ данной подстанции должна быть предусмотрена вторая секция сборных шин 0,4 кВ. С целью обеспечения резервирования, между секциями сборных шин в РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ применяется резервирования в виде секционного автоматического выключателя с установленной на нём системы автоматического включения резервного питания (далее – АВР). В нормальном режиме данный аппарат будет отключен, включаясь только в послеаварийном режиме под действием АВР. Для защиты и коммутации данной линии в РУ-0,4 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ необходим ввод нового фидера с соответствующими коммутационными и защитными аппаратами;
- замена магистральной схемы электроснабжения во внутренней системе электроснабжения сварочного производства на радиальную схему, при которой каждый СРШ будет питаться отдельной кабельной

линией от шин 0,4 кВ РУ-0,4 кВ питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта.

Основываясь на результатах анализа современных инновационных разработок оборудования, на основе рекомендуемых критериев выбора, в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия внедрены мероприятия по модернизации оборудования:

- выбрано и проверено новое высоковольтное оборудование для установки в РУ-10 кВ питающей цеховой подстанции ТП-10/0,4 кВ объекта проектирования;
- выбрано и проверено новое оборудование для установки в РУ-0,4 кВ подстанции и СРШ: автоматы марки ВА различных типономиналов и модификаций;
- рассчитан контур заземления объекта;
- рассчитаны уставки РЗиА линии «выключатель РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ – ТП-10/0,4 кВ объекта».

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате модернизации подстанции, необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМГ-160/10, которые выдержат перегрузку в послеаварийном режиме работы. Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия, включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта.

Осуществлена разработка комплекса мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия и краткого плана по его практической реализации. Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения сварочного производства машиностроительного предприятия позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

## Список используемых источников

1. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интернет Инжиниринг, 2017. 672 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
4. Кузнецов А.В. Уточнение модели оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя. Промышленная энергетика, 2019, №10. С.31-36.
5. Кузнецов А.В. Математическая модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации. Электротехника, 2018. №10. С. 68-73.
6. Кузнецов А.В. Программная модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации. Промышленная энергетика, 2018. №6. С. 48-54.
7. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2016. 184 с.
8. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2016. 608 с.
10. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.:

Лань, 2018. 316 с.

11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.

13. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

14. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для. Москва: «МЭИ», 2019. 288 с.

15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.

16. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.

17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

18. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

19. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 14.09.2022).

20. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

21. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.