

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения машиностроительного завода

Студент

И.А.Дорофеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М.Н.Третьякова

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

Тольятти 2021

Аннотация

Целью данной работы является разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного завода, который выступает в роли объекта исследования.

Предметом исследования в работе являются схема электрических соединений понизительных подстанций завода, а также электрические сети и аппараты системы электроснабжения машиностроительного завода.

Для реализации поставленной цели, в работе проведено решение задач:

- анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания проектируемого машиностроительного завода;

- непосредственная разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного завода, выбор элементов и составляющих схемы электроснабжения завода;

- анализ и разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в проектируемой системе электроснабжения машиностроительного завода, а также мероприятий по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения работы согласно [2] необходимо осуществить комплексную разработку проекта системы электроснабжения машиностроительного завода при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Работа состоит из 68 страниц машинописного текста, а также шести чертежей графической части формата А1, выполненные в программной среде AutoCAD.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных машиностроительного завода.....	7
1.1 Общая характеристика предприятия.....	7
1.2 Характеристика цехов машиностроительного завода.....	10
2 Разработка системы электроснабжения машиностроительного завода.....	15
2.1 Выбор схемы электроснабжения машиностроительного завода на основе технико-экономического сравнения вариантов	15
2.2 Расчёт электрических нагрузок машиностроительного завода	27
2.3 Расчёт картограммы нагрузок.....	33
2.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП	36
2.5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП	38
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	40
2.7 Выбор и проверка сечения проводников	50
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов	54
3 Техника безопасности, охрана труда и экологическая безопасность.....	59
3.1 Обеспечение техники безопасности и охраны труда на предприятии	59
3.2 Экологическая безопасность.....	63
Заключение	65
Список используемой литературы и используемых источников.....	67

Введение

Одним из главных направлений развития предприятий современного машиностроительного комплекса тяжёлой промышленности является концентрация и специализация производства, широкое внедрение современных методов производства, а также результатов научно-технического прогресса и мирового опыта.

В настоящее время в машиностроительном комплексе тяжёлой промышленности все основные производственные процессы электрифицированы, так как активно внедряются и повсеместно используются прогрессивные технологии, современные машины и новейшие автоматизированные комплексы, работа которых организована по поточным линиям.

На современном этапе развитие предприятий машиностроительного комплекса тяжёлой промышленности страны непосредственно направлена на конечный результат – получение большего количества готовой продукции высокого качества с минимальными затратами и потерями.

Правильная организация производственного цикла, а также оптимизация систем электроснабжения, реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования, является одним из способов повышения рентабельности машиностроительного комплекса и всей отрасли в целом [1, 9, 20]. Перечисленные аспекты обуславливают актуальность данной работы.

Основными задачами, которые решаются на стадии проектирования для систем электроснабжения всех типов – это обеспечения установленного нормативами качества электроэнергии, а также надежности, электробезопасности и экономичности системы электроснабжения.

Целью данной работы является разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного завода, который выступает в роли

объекта исследования.

Предметом исследования в работе являются схема электрических соединений понизительных подстанций завода, а также электрические сети и аппараты системы электроснабжения машиностроительного завода.

Для реализации поставленной цели, в работе проведено решение задач:

- анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания проектируемого машиностроительного завода;

- непосредственная разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного завода, выбор элементов и составляющих схемы электроснабжения завода;

- анализ и разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в проектируемой системе электроснабжения машиностроительного завода, а также мероприятий по экологической безопасности на объекте исследования.

Структура работы представлена тремя главами расчётно-пояснительной записки и шестью листами графической части, выполненными в чертёжном редакторе AutoCAD. Выполнение работы предусматривает решение следующих основных задач, а именно:

- анализ исходных данных, предусматривающих общую характеристику машиностроительного завода, а также характеристику технических условий цехов машиностроительного завода;

- непосредственная разработка системы электроснабжения машиностроительного завода, предусматривающая выбор схемы электроснабжения машиностроительного завода на основе технико-экономического сравнения предложенных вариантов, расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения машиностроительного завода, выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций системы

электроснабжения машиностроительного завода, рассмотрение компенсации реактивной мощности (КРМ) на стороне 0,4 кВ с последующим уточнением числа и мощности цеховых ТП после КРМ, количества и мощности трансформаторов ГПП системы электроснабжения машиностроительного завода, построение картограммы нагрузок с последующим выбором места расположения ГПП, разработка однолинейной схемы электроснабжения машиностроительного завода, расчёт максимальных токов трёхфазного короткого замыкания, выбор электрических проводников и аппаратов в спроектированной системе электроснабжения машиностроительного завода;

– разработка комплекса мер, направленных на повышение условий по технике безопасности и охране труда в системе электроснабжения машиностроительного завода.

В результате выполнения работы необходимо выполнить разработку проекта системы электроснабжения машиностроительного завода при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Все основные задачи согласно [2] в работе решаются на основе материалов, приведённых в рекомендованной справочной и учебной технической литературе, а также в нормативных документах согласно заданию на работу.

Кроме того, при проектировании применяются сведения, полученные из типичных рабочих проектов.

1 Анализ исходных данных машиностроительного завода

1.1 Общая характеристика предприятия

Объектом проектирования является система электроснабжения машиностроительного завода.

Электроснабжение машиностроительного завода, согласно исходным данным, осуществляется от узловой понизительной распределительной подстанции энергосистемы, находящейся в 6 км от территории проектируемого завода.

Рассматриваемый в работе машиностроительный завод специализируется на производстве различных видов машин (сельскохозяйственных, промышленных, автомобильных и прочих).

Вся перечисленная продукция производится в соответствующих производственных цехах, которые являются основой производства машиностроительного завода.

На рассматриваемом машиностроительном заводе для данной цели применяются:

- сталеплавильный цех;
- литейный цех;
- кузнечно-прессовочный цех;
- сборочный цех;
- лакокрасочный цех.

В рассматриваемых цехах машиностроительного завода осуществляется основной технологический процесс производства, включающий в себя циклы плавления стали, литья изделий, кузнечно-прессовочную обработку полученных изделий, сборку и покраску изделий и механизмов в целом.

Помимо основных цехов производства, на территории машиностроительного завода, согласно исходным данным, расположены следующие цеха, выполняющие вспомогательную роль в технологическом процессе производства: дефектационный участок, ремонтно-эксплуатационный участок, испытательный участок, заводоуправление, выставочный павильон, складской комплекс. Для обеспечения технологического процесса энергоносителями имеются компрессорная, а также насосная.

Исходные данные цехов машиностроительного завода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные цехов машиностроительного завода

Номер объекта на генплане	Наименование цехов машиностроительного завода	Установленная мощность цеха, кВт
1	Сталеплавильный цех	900
2	Сборочный цех	520
3	Кузнечно-прессовочный цех	590
4	Литейный цех	1000
5	Лакокрасочный цех	390
6	Компрессорная	190
7	Дефектационный участок	660
8	Ремонтно-эксплуатационный участок	930
9	Испытательный участок	200
10	Заводоуправление	150
11	Выставочный павильон	83
12	Складской комплекс	70
13	Насосная: а) 0,4 кВ б) АД 10 кВ	40 2x400=800

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что все потребители цехов и участков проектируемого машиностроительного завода работают на переменном напряжении 380/220 В, за исключением высоковольтных трёхфазных асинхронных двигателей котельной, работающие на номинальном напряжении 10 кВ. Этот факт необходимо учесть в работе при проведении расчётов и проверок.

Исходный план расположения цехов и участков проектируемого в работе машиностроительного завода в принятом масштабе, а также с учётом взаимного расположения и указания направления источника питания, представлен на рисунке 1.

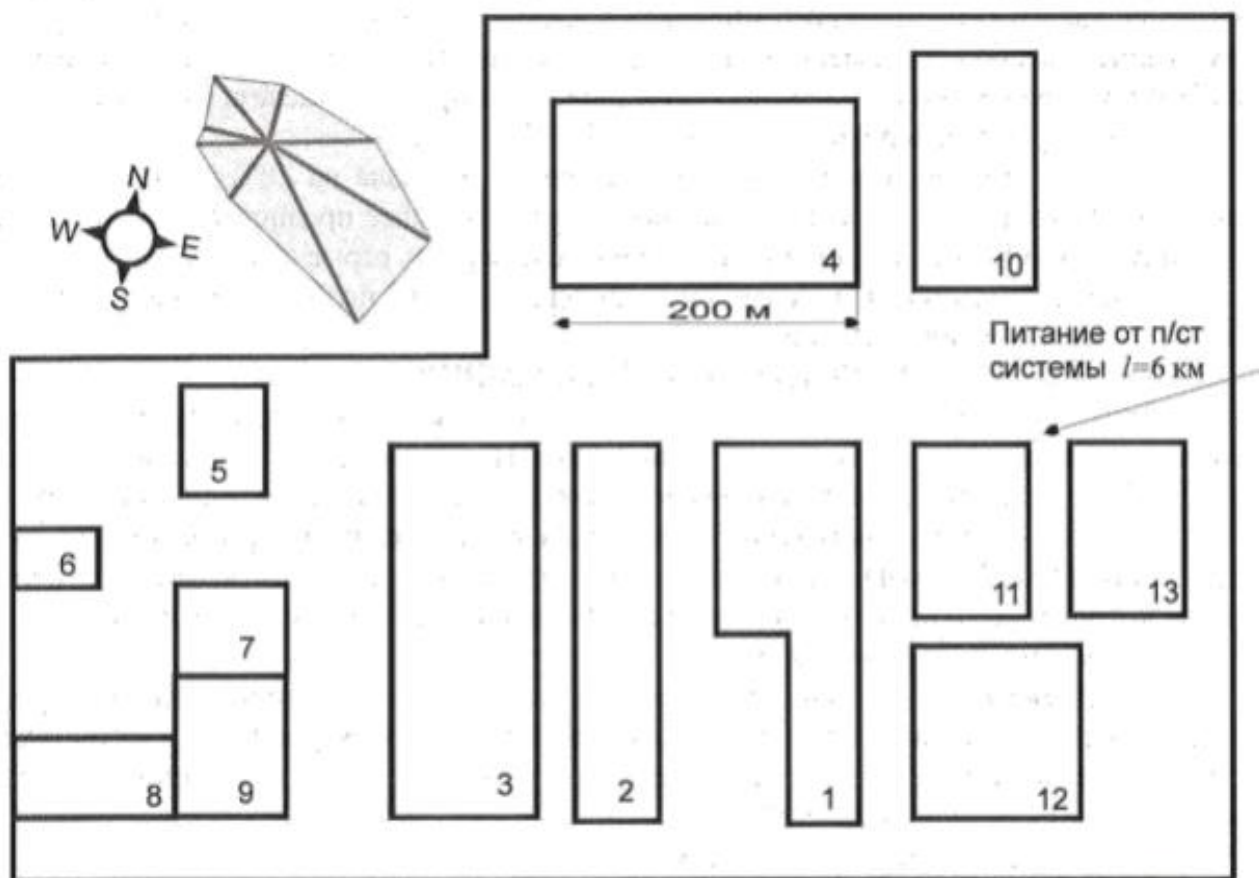


Рисунок 1 – Исходный план расположения цехов и участков машиностроительного завода

На основании приведенных исходных данных цехов и участков машиностроительного завода, далее в работе проводится их классификация и систематизация по условиям надёжности, производственной среды и условий.

1.2 Характеристика цехов машиностроительного завода

Для выполнения поставленных в работе задач необходимо провести классификацию и систематизацию цехов и участков проектируемого машиностроительного завода по условиям надёжности, производственной среды и условий.

Известно, что надёжность электроснабжения потребителей должна соответствовать требованиям [11, 12], согласно которым электроприемники делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надёжности электроснабжения. Согласно этому, проводится разделение цехов машиностроительного завода на категории надёжности.

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха машиностроительного завода, а именно:

- сталеплавильный цех;
- литейный цех;
- кузнечно-прессовочный цех;
- сборочный цех;
- лакокрасочный цех.

К потребителям II категории относятся цеха и участки, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс:

- дефектационный участок;
- ремонтно-эксплуатационный участок;
- испытательный участок;
- компрессорная;

– насосная.

К потребителям III категории относятся все остальные цеха и подразделения, не принимающие непосредственного участия в основном технологическом процессе производства, это:

- заводоуправление;
- выставочный павильон;
- складской комплекс.

Результаты проведённого анализа и систематизация цехов и участков проектируемого машиностроительного завода по категориям надёжности предприятия сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков проектируемого машиностроительного завода по категориям надёжности

Номер объекта на генплане	Наименование цеха (участка) машиностроительного завода	Категория надёжности цеха (участка) машиностроительного завода
1	Сталеплавильный цех	I
2	Сборочный цех	I
3	Кузнечно-прессовочный цех	I
4	Литейный цех	I
5	Лакокрасочный цех	I
6	Компрессорная	II
7	Дефектационный участок	II
8	Ремонтно-эксплуатационный участок	II
9	Испытательный участок	II
10	Заводоуправление	III
11	Выставочный павильон	III
12	Складской комплекс	III
13	Насосная	II

Все цеха и участки машиностроительного завода, рассматриваемого в работе, представляют собой строения, собранные из железобетонных конструкций, при этом стены и кровля изготовлены из сборных железобетонных блочных панелей, а полы залиты бетоном.

Поэтому по степени пожароопасности помещения цехов и участков проектируемого машиностроительного завода относятся к негоряемым объектам.

Далее проводится описание характеристики среды цехов машиностроительного завода.

Применение химических веществ и соединений для получения готовой продукции машиностроительного завода, а также выплавка стали и литьё, сопряжённое с высокими температурами и выбросами в воздух соединений тяжёлых металлов, является опасной для здоровья людей и окружающей среды.

Известно, что производственные процессы, связанные с непосредственным производством продукции машиностроительного завода, особенности на химической основе и (или) с добавлением химических компонентов, сопровождаются применением и выделением в окружающую среду массы вредных веществ, опасных для флоры и фауны.

При этом отклонение от допустимых норм выброса токсинов в атмосферу и сточные воды на машиностроительном заводе может быть значительной.

Вентиляционные выбросы производственных цехов машиностроительного завода содержат пары химических красителей, растворителей, формальдегид, сероводород и углерод, а также соединения тяжёлых металлов.

Загрязнение этими веществами атмосферы и сточных вод приводит к серьёзной экологической проблеме [6].

Например, в основных производственных цехах машиностроительного завода, к которым относятся: сталеплавильный цех, сборочный цех, кузнечно-

прессовочный цех, литейный цех, лакокрасочный цех, среда помещений – химически активная, жаркая, а в лакокрасочном цеху – агрессивная, так как используются химикаты и органические и неорганические соединения (лакокрасочные химические материалы и реактивы), оказывающие существенное влияние не только на изоляцию и токоведущие части электроустановок и электрических сетей цехов и участков, но также на самочувствие людей.

Характеристика среды остальных цехов и участков машиностроительного завода приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды цехов и участков машиностроительного завода

Номер объекта на генплане	Наименование цеха (участка) машиностроительного завода	Характеристика производственной среды цеха (участка) машиностроительного завода
1	Сталеплавильный цех	Хим. активная, жаркая
2	Сборочный цех	Хим. активная, жаркая
3	Кузнечно-прессовочный цех	Хим. активная, жаркая
4	Литейный цех	Хим. активная, жаркая
5	Лакокрасочный цех	Хим. активная, агрессивная
6	Компрессорная	Жаркая, сухая
7	Дефектационный участок	Нормальная
8	Ремонтно-эксплуатационный участок	Пыльная, сухая
9	Испытательный участок	Нормальная
10	Заводоуправление	Нормальная
11	Выставочный павильон	Нормальная
12	Складской комплекс	Нормальная
13	Насосная	Влажная

На основании приведённых данных по характеристике производственной среды цехов и участков машиностроительного завода, можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха машиностроительного завода) относятся к объектам с повышенной степенью опасности.

Выводы к разделу 1

В результате выполнения первого раздела работы, проведён анализ исходных данных машиностроительного завода, в результате которого приведена общая характеристика предприятия, а также цехов и подразделений проектируемого машиностроительного завода.

Все цеха и подразделения машиностроительного завода систематизированы и классифицированы по условиям надёжности, безопасности, а также производственных условий среды.

На основании приведённых исходных данных, с учётом полученных результатов проведённого анализа, далее в работе непосредственно разрабатывается система электроснабжения машиностроительного завода.

2 Разработка системы электроснабжения машиностроительного завода

2.1 Выбор схемы электроснабжения машиностроительного завода на основе технико-экономического сравнения вариантов

Требования [3, 4, 10–12], непосредственно предъявляемые к схемам электроснабжения проектируемого предприятия машиностроительного завода:

- максимальная близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания;

- сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой, при необходимости, устройств автоматики, обеспечивающих резервирование (например, АВР);

- обеспечение оптимального режима работы спроектированной системы электроснабжения (рекомендуется отдельный режим работы секций при установке двух трансформаторов или иных источников);

- обеспечение необходимой надёжности потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I и II категорий в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах;

- обеспечение наглядности, безопасности и необходимой защиты, автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения;

- выбранные схемы должны обеспечивать установленное нормируемое качество электрической энергии в пределах нормально – допустимых значений.

Также одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей предприятий является экономичность [5, 9, 18, 20].

Помимо этого, на всех ступенях схемы должна быть обеспечена надёжная защита и коммутация электрической сети, для чего необходимо выбрать электрические аппараты, в полной мере соответствующие выбранной схеме и

техническим условиям, и проверить всё выбранное оборудование на термическую и электродинамическую стойкость [8]. Соблюдение приведённых выше требований, предъявляемых к схемам электроснабжения нормативными документами [3, 10–12, 20], позволит существенно повысить надёжность системы электроснабжения и оптимизировать технологический процесс производства. При этом в системе электроснабжения машиностроительного завода следует выделить внешезаводскую, внутривзаводскую и внутрицеховую системы электроснабжения. Для каждой из них необходимо провести соответствующие расчёты и обосновать выбор схем, электрических сетей и аппаратов, а также проверить принятые решения по условиям работы в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах работы системы электроснабжения.

В работе принимается радиальная схема внешнего электроснабжения, так как в системе электроснабжения машиностроительного завода имеется значительное число потребителей I и II категории надёжности, требующих двух независимых источников питания по радиальной схеме. По этой же причине в работе принимается двухтрансформаторная главная понизительная подстанция (ГПП). По условию электроснабжение машиностроительного завода осуществляется от районной ПС-220/110/35 кВ энергосистемы на напряжении 110 или 35 кВ, расположенной в 6 км от предприятия. При этом для сокращения вычислений можно оставить эти два варианта, т.е. можно запитать предприятие как от напряжения 35 кВ, так и от напряжения 110 кВ указанной районной ПС.

В работе для внешезаводской сети главной понизительной подстанции (ГПП) выбирается схема соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», которая применяется при двух трансформаторах на ПС 35-110 кВ [3, 5, 6]. Выбранная в работе схема соединений на стороне ВН ГПП машиностроительного завода показана на рисунке 2.

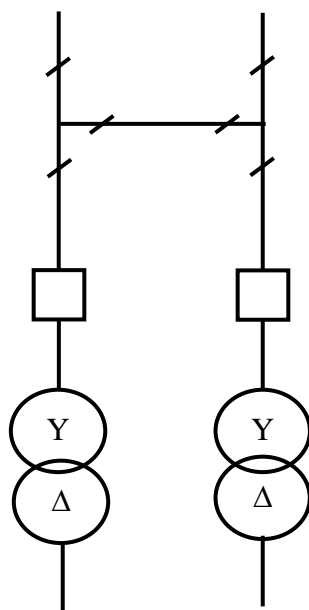


Рисунок 2 – Схема соединений на стороне ВН ГПП завода

В работе принимается схема РУ 10 кВ с необходимым уровнем резервирования – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР), рисунок 3.

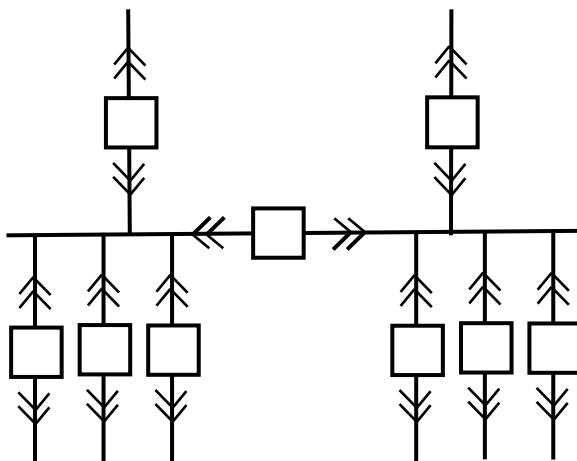


Рисунок 3 – Схема соединений на стороне НН ГПП завода

Внутрицеховая сеть машиностроительного завода разделяется на питающую и распределительную.

Внутрицеховая сеть для потребителей I и II категорий надёжности проектируется с наличием на цеховых трансформаторных подстанциях (ТП) двух трансформаторов [10–12].

Цеха, относящиеся к III категории надёжности, могут быть запитаны от одного источника питания по радиальной или магистральной схеме (в зависимости от их нагрузки и расположения на территории предприятия) на напряжении 0,38/0,22 кВ (если позволяет нагрузка).

Внутрицеховая сеть напряжением 0,38/0,22 кВ в работе выполняется по радиальной схеме, обладающая рядом преимуществ (в частности, - высокой надёжностью, а также удобством монтажа, эксплуатации и ремонта) [14].

Питание силовых электроприемников цехов машиностроительного завода непосредственно осуществляется от силовых пунктов 0,38/0,22 кВ (СП).

При этом отдельные мощные электроприёмники подключаются к шинам НН ТП напрямую (без использования СП). Схема внутрицеховой сети представлена на рисунке 4.

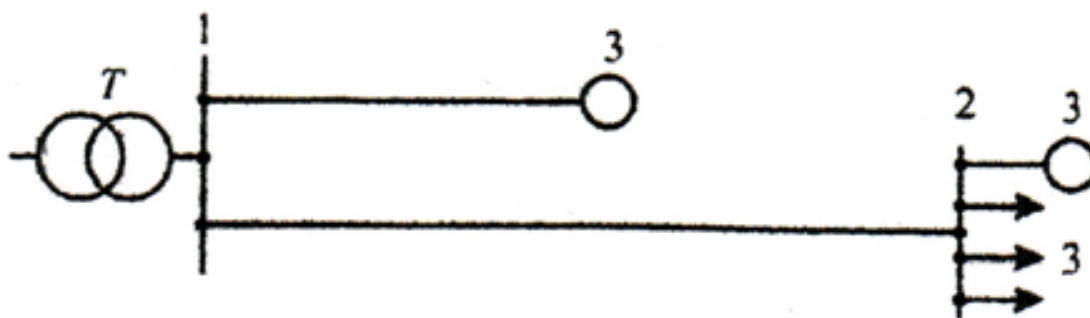


Рисунок 4 – Схема внутрицеховой сети: 1 - РУ НН ТП-10/0,4 кВ; 2 - силовой пункт (СП); 3 – электроприёмник

Распределение электроприемников цеха по СП приводится в работе далее после выполнения соответствующих расчётов.

Далее в работе проводится предварительный выбор напряжения внешнего электроснабжения машиностроительного завода.

Известно, что величина напряжения внешнего электроснабжения завода определяется по формуле Стилла:

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{L + 16 \cdot P_з}, \quad (1)$$

где $P_з$ – предварительная расчетная активная мощность завода с учетом коэффициента потерь в трансформаторах ГПП, цеховых ТП, питающей и распределительной сети, а также коэффициента разновременности максимума нагрузки отдельных цехов, МВт;
 L – расстояние от энергосистемы до ГПП, км.

Предварительная расчётная активная мощность машиностроительного завода определяется как суммарная активная установленная мощность цехов с учётом коэффициента разновременности нагрузок цехов и коэффициента потерь в трансформаторах ГПП, цеховых ТП, питающей и распределительной сети системы электроснабжения

$$P_з = 0,9 \cdot 0,85 \cdot 6,52 = 4,98 \text{ МВт.}$$

По условию (1)

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{6 + 16 \cdot 4,98} = 40,2 \text{ кВ.}$$

Следовательно, для внешнего электроснабжения машиностроительного завода выбирается ближайшее стандартное напряжение источника питания – 35 кВ.

Для внутреннего электроснабжения машиностроительного завода в работе выбраны напряжения 10 кВ (внутризаводское электроснабжение) и 0,38/0,22 кВ (внутрицеховое электроснабжение).

Окончательный вариант схемы электроснабжения машиностроительного завода принимается в работе далее на основе сравнения технико-экономических показателей и с учётом имеющихся напряжений источников системы внешнего электроснабжения завода.

При этом рассматриваются и сравниваются два варианта системы электроснабжения (по заданию): питание от энергосистемы от силовых трансформаторов ГПП напряжением 110/10 кВ и от ГПП 35/10 кВ.

Вариант с использованием напряжения 6 кВ использовать неэффективно, т.к. по заданию в насосной установлены высоковольтные двигатели номинальным напряжением 10 кВ, следовательно, напряжение 10 кВ должно быть использовано в работе.

Все расчёты проводятся по средним укрупнённым показателям [13, 15–17, 19].

В работе, согласно исходным данным и заданию на проектирование, непосредственно определяются технико-экономические показатели для следующих вариантов:

- 1) внешнее электроснабжение – 35 кВ, внутризаводское – 10 кВ;
- 2) внешнее электроснабжение – 110 кВ, внутризаводское – 10 кВ.

При этом оба варианта будут отличаться только показателями на стороне ВН, на стороне НН (10 кВ) их показатели будут одинаковы.

Для ВЛ от 35 кВ на металлических и железобетонных опорах: $p = 0,028$ о.е/год по табл. П.5.27 [5].

Провод АС-70 (для двух вариантов): $r_{уд} = 0,447$ ом/км, $x_{уд} = 0,4$ Ом/км по табл. 6.13 [12]: $I_{доп} = 265$ А.

Далее проводится непосредственное технико-экономическое обоснование выбора варианта системы электроснабжения машиностроительного завода.

Капитальные затраты складываются из стоимости K_e выключателей вместе с их установкой в ОРУ подстанции энергосистемы, установки двух трансформаторов и стоимости K_l воздушных линий, тыс. руб.

$$K = K_e + K_l + K_{mp}, \quad (2)$$

Стоимость монтажа и материала 1 км ВЛ 35 кВ, выполненной проводом марки АС-3х70, по средним укрупнённым показателям равна 61 тыс. руб/км.

Общая стоимость сооружения ВЛ 35 кВ по средним укрупнённым показателям, с учетом длины линии – 6 км (расстояние до источника питания) составляет:

$$K_{л35} = 6 \cdot 61 = 366 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость выключателя 35 кВ по средним укрупнённым показателям составляет 100 тыс. руб., к установке принимаем 2 выключателя.

При 35 кВ общая стоимость выключателей для установки на ГПП со стороны ВН составляет:

$$K_B = 2 \cdot 100 = 200 \text{ тыс. руб.}$$

Предварительно выбранные силовые трансформаторы ТМН-10000/35 для установки на ГПП завода стоимостью 2310 тыс. руб.

$$K_{\text{тр}} = 2 \cdot 2310 = 4620 \text{ тыс. руб.}$$

Итого капитальные затраты на питающую линию с трансформаторами и выключателями напряжением 35 кВ по средним укрупнённым показателям составят, тыс. руб.

$$K_{35} = 366 + 200 + 4620 = 5186 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость монтажа и материала 1 км ВЛ 110 кВ, выполненной проводом марки АС-3х70, по средним укрупнённым показателям равна 61 тыс. руб.

Общая стоимость сооружения ВЛ 110 кВ, по средним укрупнённым показателям, с учетом длины линии – 6 км (расстояние до источника питания) составляет:

$$K_{\text{Л110}} = 6 \cdot 72 = 432 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость выключателя 110 кВ по средним укрупнённым показателям принимается 111 тыс. руб., к установке на ГПП принимаем 2 выключателя.

При 110 кВ общая стоимость выключателей составляет:

$$K_{\text{В}} = 2 \cdot 111 = 222 \text{ тыс. руб.}$$

Трансформаторы ТМН-10000/110 стоимостью 36075 тыс. руб.

$$K_{\text{тр}} = 2 \cdot 36075 = 7215 \text{ тыс. руб.}$$

Итого капитальные затраты на питающую линию с трансформаторами и выключателями напряжением 110 кВ составят, тыс. руб.

$$K_{110} = 432 + 222 + 7215 = 7869 \text{ тыс. руб.}$$

Далее проводится расчёт годовых эксплуатационных расходов.

В них входят:

а) стоимость потерь электроэнергии в линиях (тыс. руб./год)

$$I_{\Delta W} = c_3 \Delta W_l, \quad (3)$$

где $c_3 = 2$ руб./кВт·ч – стоимость электроэнергии (по заданию);

ΔW_l – потери электроэнергии в линиях, тыс. кВт·ч/год.

Потери электроэнергии в линиях:

$$\Delta W_l = \frac{n \Delta P_{ном} K_3^2 L \tau}{1000}, \quad (4)$$

где n – число питающих линий;

$\Delta P_{ном}$ – потери мощности в линии при длительно допустимой токовой нагрузке.

$$\Delta P_{ном} = 3 \cdot I_p^2 r_l. \quad (5)$$

При этом для графиков нагрузок типовой формы величина τ определяется по эмпирической формуле:

$$\tau = \tau_q = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (6)$$

где τ_q – годовое число часов использования потерь мощности от реактивных нагрузок, ч.

Величина T_M принимается по табл. П.5.24 [10], $T_M = 4000$ ч.

$$\tau = \tau_q = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ ч.}$$

Годовые потери в питающих воздушных линиях двух рассматриваемых вариантов:

$$\Delta P_{ном110} = 3 \cdot 27,4^2 \cdot 0,447 = 1006,8 \text{ Вт/км.}$$

$$\Delta P_{ном35} = 3 \cdot 86,22^2 \cdot 0,447 = 9968,8 \text{ Вт/км.}$$

$$K_3^{110} = 27,4 / 265 \approx 0,1;$$

$$K_3^{35} = 86,22 / 265 \approx 0,33;$$

$$\Delta W_{л}^{110} = 2 \cdot 1006,8 \cdot 0,1^2 \cdot 6 \cdot \frac{2405}{1000} = 290,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год};$$

$$\Delta W_{л}^{35} = 2 \cdot 9968,8 \cdot 0,33^2 \cdot 6 \cdot \frac{2405}{1000} = 31330,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год};$$

$$I_{\Delta W}^{110} = 2 \cdot 290,6 = 581,2 \approx 0,58 \text{ тыс. руб./год};$$

$$I_{\Delta W}^{35} = 2 \cdot 220160,4 = 440320,8 \approx 440,3 \text{ тыс. руб/год.}$$

Годовые потери электроэнергии в силовых трансформаторах ГПП определяются так:

$$\Delta W_m = NP_x T_{\Gamma} + \frac{1}{N} P_{\kappa} \frac{S_{max}^2}{S_{ном.m}^2}$$

Для ТМН-10000/35

$$\Delta W_m = 2 \cdot 3,85 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 33,5 \cdot \frac{10453,5^2}{10000^2} \cdot 2405 = 111472,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах ГПП 35/10 кВ

$$I_{\Delta W_{mp}} = 2 \cdot 111472,3 = 222944,6 \approx 222,94 \text{ тыс. руб./год.}$$

Для ТМН-10000/110

$$\Delta W_m = 2 \cdot 7,82 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 38,8 \cdot \frac{10453,5^2}{10000^2} \cdot 2405 = 187991,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах 110/10 кВ:

$$I_{\Delta W_{mp}} = 2 \cdot 187991,1 = 375982,2 \approx 375,98 \text{ тыс. руб./год.}$$

б) стоимость амортизационных отчислений на линии (тыс. руб./год)

$$I_l = p_{a.l} K_l, \quad (7)$$

где $p_{a.l} = 0,028$ – норма амортизационных отчислений для воздушных линий находим по табл. П.5.27 [10].

$$I_L^{110} = 0,028 \cdot 432 = 12,1 \text{ тыс. руб./год;}$$

$$I_L^{35} = 0,028 \cdot 366 = 10,2 \text{ тыс. руб./год.}$$

в) стоимость амортизационных отчислений на выключатели и трансформаторы (тыс. руб./год)

$$I_e = p_{a.e} K_e, \quad (8)$$

где $p_{a.e} = 0,094$ – норма амортизационных отчислений для силового оборудования по табл. П.5.27 [10].

$$I_B^{110} = 0,094 \cdot 222 = 20,9 \text{ тыс. руб./год;}$$

$$I_{\text{в}}^{35} = 0,094 \cdot 200 = 18,8 \text{ тыс. руб./год.}$$

$$I_{\text{тр}}^{110} = 0,094 \cdot 7215 = 678,2 \text{ тыс. руб./год.}$$

$$I_{\text{тр}}^{35} = 0,094 \cdot 4620 = 434,3 \text{ тыс. руб./год.}$$

Стоимость расходов на обслуживание и ремонт оборудования не учитываем, т.к. эти составляющие изменяются в рассматриваемых вариантах незначительно.

Таким образом

$$I = I_{\Delta W} + I_{\Delta W_{\text{мр}}} + I_{\text{л}} + I_{\text{е}} + I_{\text{мр}}, \text{ тыс.руб./год.} \quad (9)$$

$$I_{110} = 0,58 + 375,98 + 12,1 + 20,9 + 678,2 = 1087,76 \text{ тыс. руб./год.}$$

$$I_{35} = 440,3 + 222,94 + 10,2 + 18,8 + 434,3 = 1126,54 \text{ тыс. руб./год.}$$

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$Z = E_{\text{н}} K + I, \text{ тыс. руб./год,} \quad (10)$$

где $E_{\text{н}} = 0,12$ – нормативный коэффициент капитальных вложений.

$$Z_{110} = 0,12 \cdot 7869 + 1087,76 = 2032,04 \text{ тыс. руб./год,}$$

$$Z_{35} = 0,12 \cdot 5186 + 1126,54 = 1748,86 \text{ тыс. руб./год.}$$

Таким образом, экономически более выгодным получился вариант питания предприятия при условиях: внешнее электроснабжение – на напряжении 35 кВ, внутривзаводское – 10 кВ. Данный вариант принимается за основу для системы электроснабжения машиностроительного завода.

Скелетные схемы рассмотренных вариантов электроснабжения со сравнительными таблицами результатов приведены в графической части работы на листе 2.

2.2 Расчёт электрических нагрузок машиностроительного завода

Далее в работе проводится расчёт нагрузок цехов машиностроительного завода, который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса.

Расчётная активная нагрузка силовых потребителей до 1 кВ, кВт:

$$P_p = K_c P_n, \quad (11)$$

где P_n – значение суммарной номинальной активной мощности цеха, кВт;

K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха.

Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ, квар:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (12)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности.

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха, кВт:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (13)$$

где $K_{c.o}$ – коэффициент спроса приемников освещения [12];

$P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения, кВт.

При этом

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (14)$$

где $P_{уд.o}$ – удельная мощность освещения, кВт/м²;

F – площадь цеха по генплану, м².

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников цеха

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (15)$$

Расчётные активная и реактивная нагрузка силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ определяется по (2.4) и (2.5), а полная мощность

$$S_{p.} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (16)$$

Расчетная полная нагрузка завода определяется по суммарным расчетным нагрузкам, включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП.

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н}, \text{кВт}; \quad (17)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (18)$$

Предварительные потери мощности в силовых трансформаторах ГПП

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.С}, \text{кВт}; \quad (19)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.С}, \text{ квар}. \quad (20)$$

Результаты расчётов силовых нагрузок цехов и участков машиностроительного завода сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта силовых нагрузок цехов и участков машиностроительного завода

Номер объекта на генплане	Наименование цеха (участка)	Силовая нагрузка цеха (участка)				
		P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар
Потребители 0,38/0,22 кВ						
1	Сталеплавильный цех	900	0,8	0,75/0,88	720	633,6
2	Сборочный цех	520	0,8	0,8/0,75	416	312
3	Кузнечно-прессовочный цех	590	0,7	0,75/0,88	413	363,44
4	Литейный цех	1000	0,8	0,75/0,88	800	704
5	Лакокрасочный цех	390	0,8	0,9/0,48	312	151
6	Компрессорная	190	0,8	0,85/0,62	152	94,24
7	Дефектационный участок	660	0,3	0,75/0,88	198	174,24
8	Ремонтно-эксплуатационный участок	930	0,25	0,8/0,75	232,5	174,38
9	Испытательный участок	200	0,4	0,8/0,75	80	60
10	Заводоуправление	150	0,5	0,7/1,02	75	76,5
11	Выставочный павильон	83	0,6	0,8/0,75	49,8	37,35
12	Складской комплекс	70	0,8	0,95/0,33	56	18,48
13	Насосная	40	0,8	0,85/0,62	32	19,84
Итого 0,4 кВ		5333			3224,3	2668,07
Потребители 10 кВ						
13	Насосная	800	0,85	0,9/0,48	680	326,4
Итого 10 кВ		800			680	326,4

Результаты расчёта осветительной и суммарной нагрузок цехов и участков проектируемой системы электроснабжения машиностроительного завода представлены в таблице 5.

Суммарная нагрузка цехов проектируемой системы электроснабжения машиностроительного завода в работе получена путём суммирования соответствующей силовой и осветительной нагрузок.

Таблица 5 – Результаты расчёта осветительной и суммарной нагрузок цехов и участков машиностроительного завода

Номер объекта на генплане	Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка					Суммарная расчётная нагрузка		
		F , м ²	$P_{уд.о.}$, Вт/м ²	$P_{н.о.}$, кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о.}$, кВт	$P_{р.+}$, кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ									
1	Сталеплавильный цех	16000	20	45	0,95	42,75	762,75	633,6	991,6
2	Сборочный цех	10000	20	200	0,95	190	606	312	606,0
3	Кузнечно-прессовочный цех	20000	20	400	0,95	380	793	363,44	872,3
4	Литейный цех	20000	20	400	0,95	380	1180	704	1374,1
5	Лакокрасочный цех	2200	20	44	0,95	41,8	169,78	163,3	235,6
6	Компрессорная	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,6
7	Дефектационный участок	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,3
8	Ремонтно-эксплуатационный участок	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,8
9	Испытательный участок	4000	17	68	0,95	64,6	144,6	60	166,64
10	Заводоуправление	5000	18	90	0,95	85,5	160,5	76,5	177,8
11	Выставочный павильон	4000	18	72	0,95	39,9	89,7	37,35	89,7
12	Складской комплекс	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,4
13	Насосная	4000	18	72	0,95	39,9	71,9	19,84	74,6
Итого 0,4 кВ						1423,58	4647,88	2668,07	5359,2
Потребители 10 кВ									
13	Насосная						680	326,4	754,3
Итого 10 кВ							680	326,4	754,3

Далее определяется полная мощность S_p всех расчётных нагрузок машиностроительного завода:

$$S_p = \sqrt{(P_{p.0,4} + P_{p.10})^2 + (Q_{p.0,4} + Q_{p.10})^2}. \quad (21)$$

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680)^2 + (2668,07 + 326,4)^2} = 8541,4 \text{ кВА.}$$

Потери активной и реактивной мощности в цеховых подстанциях определяются, соответственно, по приближенным соотношениям:

$$\Delta P_{TЦ} = 0,02S_{p,n}, \text{кВт}; \quad (22)$$

$$\Delta Q_{TЦ} = 0,1S_{p,n}, \text{квар}. \quad (23)$$

$$\Delta P_{TЦ} = 0,02 \cdot 8541,4 = 170,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{TЦ} = 0,1 \cdot 8541,4 = 854,1 \text{ квар}.$$

При решении вопроса о компенсации реактивной мощности на ГПП машиностроительного завода рассчитываются коэффициенты:

$$tg\varphi_o = \frac{Q_o}{P_M}; \quad tg\varphi_M = \frac{Q_M}{P_M}, \quad (24)$$

где $tg\varphi_o$ – оптимальный коэффициент;

P_M – заявленная предприятием активная мощность, участвующая в максимуме энергосистемы и зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией;

Q_o – оптимальная реактивная нагрузка завода, зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией;

Q_M – фактическая реактивная нагрузка завода.

Оптимальный коэффициент в работе принимается равным $tg\varphi_o = 0,4$.

$$tg\varphi_M = \frac{2925,7}{8024,65} = 0,36.$$

Мощность компенсирующих устройств для установки на ГПП $Q_{ку}$ определяется

$$Q_{ку} = P_M(tg\varphi_o - tg\varphi_M). \quad (25)$$

$$Q_{ку} = 8024,65(0,4 - 0,36) \approx 321 \text{ квар}.$$

Расчетная реактивная нагрузка машиностроительного завода с учётом выбранных КУ на ГПП

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.в}) \cdot K_{p.m} + Q_{TЦ} - Q_{КУ}, \text{ квар}, \quad (26)$$

где $K_{p.m}$ – коэффициент разновременности максимумов.

$$Q_{p\Sigma} = (2925,7 + 326,4) \cdot K_{p.m} + 854,1 - 321 = 3622,6 \text{ квар}.$$

Расчетная активная нагрузка машиностроительного завода

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.в}) \cdot K_{p.m} + P_{TЦ} + P_{p.o}, \text{ кВт}. \quad (27)$$

$$P_{p\Sigma} = (6601,04 + 680 + 708,7) \cdot 0,95 + 170,8 + 1423,58 = 9184,6 \text{ кВт}.$$

Полная нагрузка на шинах 10 кВ ГПП завода

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{(P_{p,\Sigma})^2 + (Q_{p,\Sigma})^2}. \quad (28)$$

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{9184,6^2 + 3622,6^2} = 9873,2 \text{ кВА}.$$

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ГПП машиностроительного завода:

$$\Delta P_{T,ГПП} = 0,02 S_{p,\Sigma}, \text{ кВт}; \quad (29)$$

$$\Delta Q_{T,ГПП} = 0,1 S_{p,\Sigma}, \text{ квар}. \quad (30)$$

Согласно (29) и (30)

$$\Delta P_{T,ГПП} = 0,02 \cdot 9873,2 = 197,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 9873,2 = 987,3 \text{ квар.}$$

Полная расчётная мощность на стороне высшего напряжения ГПП с учётом потерь электроэнергии и компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ

$$S_p = \sqrt{(P_{p.\Sigma} + \Delta P_{Т.ГПП})^2 + (Q_{p.\Sigma} + \Delta Q_{Т.ГПП})^2}, \text{ кВА.} \quad (31)$$

Согласно (31)

$$S_p = \sqrt{(9184,6 + 197,5)^2 + (3622,6 + 987,3)^2} = 10453,5 \text{ кВА.}$$

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок машиностроительного завода используются в работе далее при выборе и проверке марок и сечений проводников питающих и распределительных сетей, электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ, а также количества и типонаминала силовых трансформаторов для их установки на ГПП и цеховых ТП завода.

2.3 Расчёт картограммы нагрузок

Для построения картограммы электрических нагрузок в работе необходимо определить площади и радиус окружностей, а также угол заштрихованного сектора, соответствующего площади равной расчётной мощности осветительной нагрузки.

Расчёты проводятся для всех цехов и участков машиностроительного завода отдельно.

Площади окружностей картограммы нагрузок цехов и участков машиностроительного завода:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m \quad (32)$$

Откуда радиус окружности цехов и участков машиностроительного завода, мм:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi \cdot m}}, \quad (33)$$

где $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха, кВт;

m – масштаб мощности, кВт/мм².

Угол заштрихованного сектора, соответствующего площади осветительной нагрузки

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{p.o.i}}{P_{p.n.i} + P_{p.o.i}}. \quad (34)$$

Картограмма активных нагрузок цехов позволяет найти центр электрических нагрузок (ЦЭН) всего машиностроительного завода.

Как правило, в месте ЦЭН рекомендуется устанавливать ГПП завода (если это не противоречит плану расположения цехов и участков проектируемого машиностроительного завода).

В случае, если на месте ЦЭН находится цех или участок, а также при невозможности расположения ГПП в указанных координатах по другим причинам, ГПП смещают в сторону ЦЭН (как можно ближе к нему) на свободное место.

Такой подход к проектированию системы электроснабжения машиностроительного завода приведёт к значительной экономии проводникового материала в питающей и распределительной сети системы электроснабжения, а также к значительному уменьшению потерь мощности и напряжения вследствие оптимизации схемы.

Координаты ЦЭН машиностроительного завода, м:

$$X_{ЦА} = \frac{\sum(P_{p.i}X_i)}{\sum P_{p.i}}, \quad (35)$$

$$Y_{ЦА} = \frac{\sum(P_{p.i}Y_i)}{\sum P_{p.i}}, \quad (36)$$

где X_i, Y_i – координаты центров электрических нагрузок отдельных цехов (участков) машиностроительного завода, м.

Результаты расчётов, полученные при определении центра электрических нагрузок цехов машиностроительного завода и данных для построения картограммы электрических нагрузок приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчётов, полученные при определении центра электрических нагрузок цехов машиностроительного завода и данных для построения картограммы электрических нагрузок

№ цехов (участков)	$P_{pi}+P_{poi}$, кВт	P_{poi} , кВт	R_i , мм	α_i , град	X_i , м	Y_i , м	$(P_{pi}+P_{poi}) \cdot X_i$, кВт·м	$(P_{pi}+P_{poi}) \cdot Y_i$, кВт·м
1	762,75	42,75	15,59	20,18	580	200	442395	152550,0
2	606	190	13,89	112,87	400	180	242400	109080
3	793	380	15,89	172,51	300	180	237900,0	142740
4	1180	380	19,39	115,93	450	500	531000	590000,0
5	708,7	41,8	15,02	21,23	150	300	106305	212610,0
6	172,52	20,52	7,41	42,82	50	200	8626	34504,0

Продолжение таблицы 6

№ цехов (участков)	$P_{pi}+P_{poi}$, кВт	P_{poi} , кВт	R_i , мм	α_i , град	X_i , м	Y_i , м	$(P_{pi}+P_{poi}) \cdot X_i$, кВт·м	$(P_{pi}+P_{poi}) \cdot Y_i$, кВт·м
7	238,38	40,38	8,71	60,98	150	180	35757	42908,4
8	275,25	42,75	9,36	55,91	80	80	22020,0	22020
9	144,6	64,6	7,79	160,83	150	100	21690	14460,0
10	160,5	85,5	7,15	191,78	650	500	104325	80250,0
11	89,7	39,9	5,34	160,13	650	250	58305	22425,0
12	153,28	97,28	6,99	228,48	680	250	104230,4	38320
13	71,9	39,9	4,79	199,78	750	250	53925,0	17975
Итого	$\Sigma(P_{pi}+P_{poi})=5356,58$ кВт						$\Sigma(P_{pi}+P_{poi}) \cdot X_i=$ =1968878	$\Sigma(P_{pi}+P_{poi}) \cdot Y_i=$ =1479842

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) завода

$$X_{ЦА} = \frac{1968878}{5356,58} = 367,56 \text{ м.}$$

$$Y_{ЦА} = \frac{1479842}{5356,58} = 276,27 \text{ м.}$$

В заданных координатах ЦЭН разместить ГПП машиностроительного завода невозможно, поэтому она сдвигается на свободное место в сторону источника питания от энергосистемы.

Картограмма электрических нагрузок цехов и участков проектируемого машиностроительного завода приведена на графическом листе №1 работы.

2.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

Так как в системе электроснабжения проектируемого машиностроительного завода преобладают потребители I и II категории по надёжности электроснабжения, в качестве ГПП принимается двухтрансформаторная подстанция.

В работе принимается рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора ГПП в нормальном режиме $K_3 = 0,65$.

Мощность одного трансформатора для установки на ГПП проектируемого машиностроительного завода определяется из соотношения:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3}, \quad (37)$$

где n – количество трансформаторов, $n = 2$;

K_3 – коэффициент загрузки, $K_3 = 0,65$.

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,65} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

Выбирается для установки на ГПП проектируемого машиностроительного завода силовой трансформатор номинальной мощностью 10000 кВА.

Определяется фактический коэффициент загрузки K_3 силового трансформатора ГПП машиностроительного завода в нормальном режиме:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} \leq 0,65. \quad (38)$$

$$K_3 = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,65.$$

Определяется фактический коэффициент загрузки K_3 силового трансформатора ГПП проектируемого машиностроительного завода в послеаварийном режиме (режим максимальной нагрузки, при котором один из трансформаторов на ГПП вышел из строя либо выведен в ремонт)

$$1,35 \cdot S_{\text{ном}} \geq S_p. \quad (39)$$

$$1,35 \cdot 10000 = 13500 \text{ кВА} \geq 10453,5 \text{ кВА.}$$

Условия проверок, как в нормальном, так и послеаварийном режиме выполняются. Окончательно принимается два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА марки ТМН-10000/35 для установки на ГПП проектируемого машиностроительного завода.

2.5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП

Для определения месторасположения понизительных подстанций необходимо определить их количество на территории машиностроительного завода, исходя из основных теоретических сведений и исследовательских трудов, проведённых в данной области.

На данном этапе для потребителей I и II категории предусматриваются цеховые ТП с двумя рабочими трансформаторами, обеспечивая, таким образом, отдельную работу трансформаторов с автоматическим включением резерва (АВР) на шинах 0,4 кВ. Для потребителей III категории предусматривается питание на напряжении 0,38/0,22 кВ от одного трансформатора.

Для двухтрансформаторных подстанций, питающих потребители I и II категорий надёжности, мощность каждого трансформатора принимается

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N \beta_t}, \quad (40)$$

где $S_{\text{ном.т.р}}$ – значение полной номинальной расчетной мощности силового трансформатора, кВА;

$\sum P_p$ – суммарное значение расчетной активной нагрузки цехов, питающихся от данной цеховой ТП, кВт;

N – количество силовых трансформаторов данной цеховой ТП, шт;

β_m – коэффициент загрузки силового трансформатора данной цеховой ТП [1].

Цеха, относящиеся к III категории надёжности, питаются одной кабельной линией от двухтрансформаторных ТП (в непосредственной близости от данных цехов).

Согласно (40) для ТП-1, питающей сталеплавильный цех

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{762,75}{2 \cdot 0,8} = 476,7 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных расчётных значений, выбирается силовой трансформатор марки ТМ-630/10. На цеховой ТП-1 устанавливаются два силовых трансформатора марки ТМ-630/10.

Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов проектируемого машиностроительного завода выполнен аналогично представленному выше примеру расчёта для выбора трансформатора на ТП-1 с представлением полученных результатов в виде таблицы 7.

Значения расчётных нагрузок завода и его структурных подразделений рассчитаны в работе ранее.

Таблица 7 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

№ ТП	№ цеха	Наименование цеха	Категория надёжности	P_p , кВт	β_m	$S_{\text{ном.т.р.}}$, кВ·А	$n \times S_{\text{ном.т.}}$, кВ·А
ТП-1	1	Сталеплавильный цех	I	762,75	0,8	476,7	2x630
ТП-2	2	Сборочный цех	I	606	0,8	378,8	2x400
ТП-3	3	Кузнечно-прессовочный цех	I	793	0,8	495,6	2x630
ТП-4	4	Литейный цех	I	1180	0,7	842,8	2x1000
ТП-5	5	Лакокрасочный цех	I	708,7	0,8	591,9	2x630
	7	Дефектационный участок	II	238,38			
	Всего по ТП-5		I,II	947,08			

Продолжение таблицы 7

№ ТП	№ цеха	Наименование цеха	Категория надёжности	P_p , кВт	βm	$S_{ном.т.р.}$, кВ·А	$n \times S_{ном.т.}$, кВ·А
ТП-6	6	Компрессорная	II	172,52	0,8	370,2	2x400
	8	Ремонтно-эксплуатационный участок	II	275,25			
	9	Испытательный участок	II	144,6			
	Всего по ТП-6		II	592,37			
ТП-7	13	Насосная	II	71,9	0,7	339,6	2x400
	10	Заводоуправление	III	160,5			
	11	Выставочный павильон	III	89,7			
	12	Складской комплекс	III	153,28			
	Всего по ТП-7		II, III	475,38			

В результате выбора силовых трансформаторов цеховых ТП, для питания потребителей проектируемого машиностроительного завода на напряжении 0,38/0,22 кВ выбраны 7 ТП-10/0,4 кВ с номиналами трансформаторов 400, 630 и 1000 кВА.

На всех цеховых ТП проектируемого машиностроительного завода принимаются к установке силовые трансформаторы марки ТМ (трёхфазные, общего назначения, с естественной циркуляцией масла).

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Проводится расчёт токов короткого замыкания в сети 35 кВ и 10 кВ проектируемого машиностроительного завода согласно методике и справочным материалам, приведённым в [8, 13, 16, 19].

Так как в системе электроснабжения проектируемого машиностроительного завода применяется отдельный режим работы в

нормальном и аварийном режимах с использованием резервирования и секционирования в сетях напряжением 35 кВ и 10 кВ, а также используются три типономинала трансформаторов на цеховых двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ (всего 7 ТП-10/0,4 кВ с тремя типономиналами трансформаторов 400, 630 и 1000 кВА), каждый трансформатор которых питается от разных секций сборных шин 10 кВ ГПП, и, согласно исходным данным, имеется два высоковольтных АД насосной, также получающих питание от разных секций сборных шин 10 кВ (графический лист 2 и рисунок 5), следовательно, две питающие линии 35 кВ, силовые трансформаторы ГПП и их нагрузка на напряжении 10 кВ при протекании токов короткого замыкания в любой точке будет находиться в равных условиях.

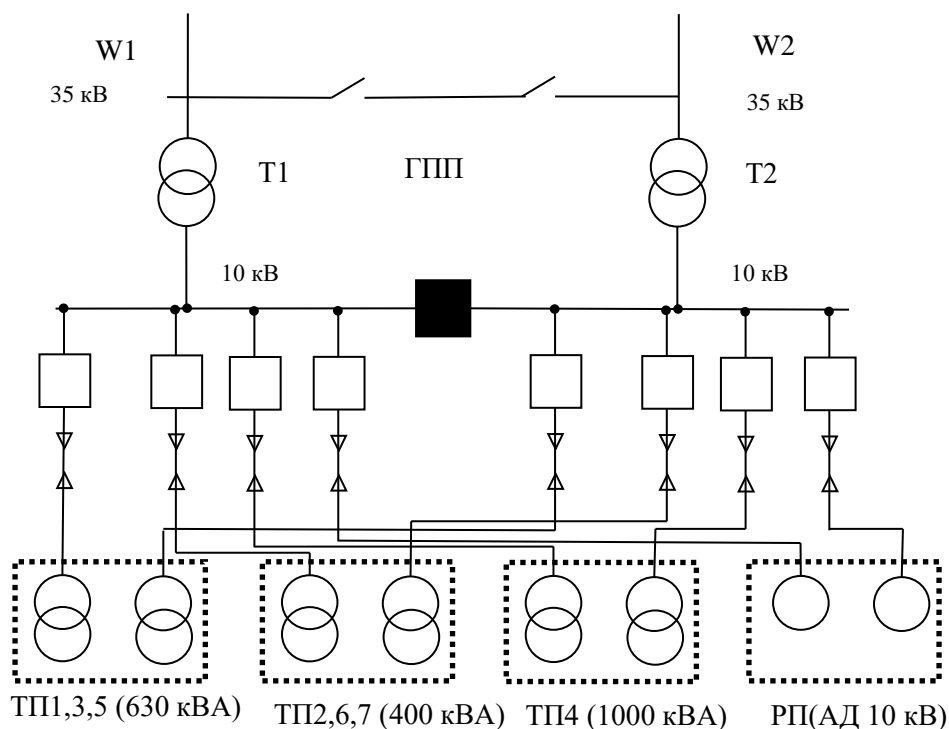


Рисунок 5 – Исходная схема электроснабжения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения машиностроительного завода

С учётом данного аспекта, в работе составляется расчётная схема для расчёта токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения (рисунок 6, а).

На схеме рисунка 6: С – система; Т1 – силовой трансформатор ГПП; Т2, Т3, Т4 – силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ (одинакового типоминнала); М1 – высоковольтный АД 10 кВ.

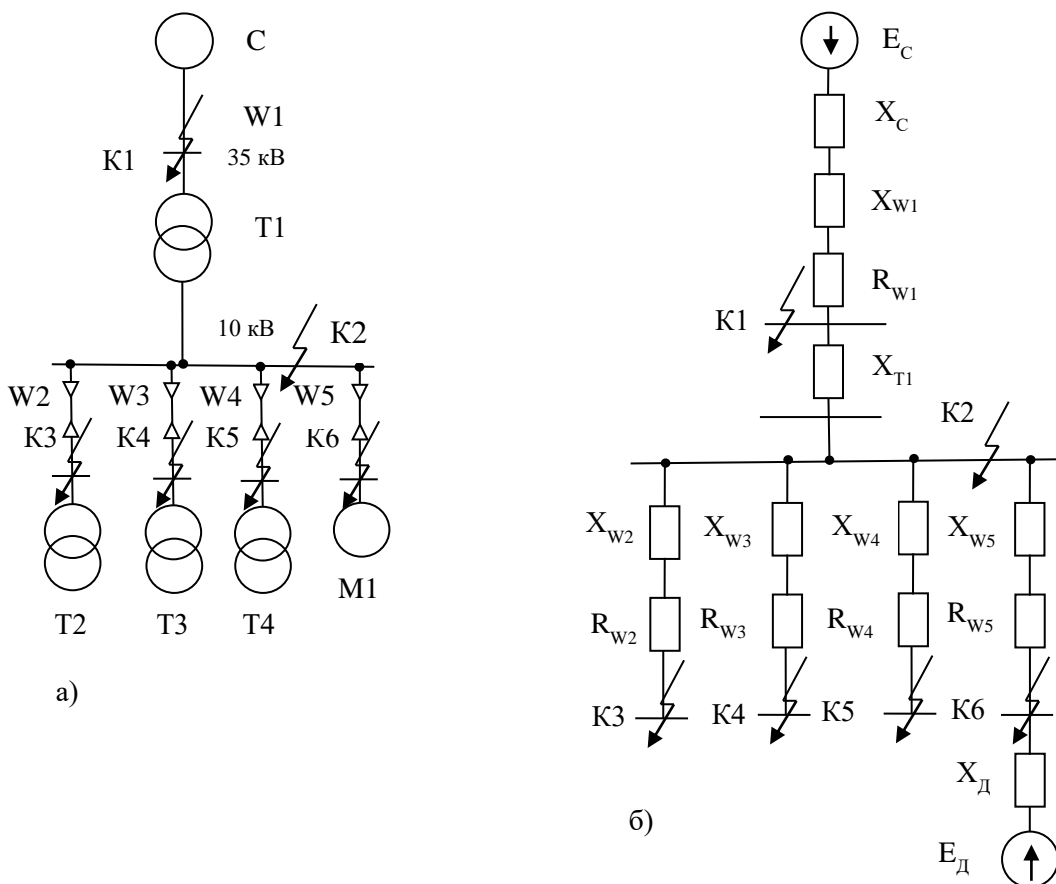


Рисунок 6 – Однолинейная расчетная схема (а) и схема замещения сети (б)

Для расчётов токов короткого замыкания в системе электроснабжения проектируемого машиностроительного завода строится исходная схема замещения, которая включает в себя действительное расположение элементов и

связи «источник – потребитель». Также учитывается выбранная мощность силовых трансформаторов цеховых ТП.

По данной расчётной схеме составляется схема замещения, представленная на рисунке 6, б. При этом на схеме замещения указываются сопротивления всех элементов и точки для расчётов токов КЗ.

Выбираются расчетные точки короткого замыкания К1 на стороне высшего напряжения подстанции (сеть 35 кВ) и точки К2 и К3 на стороне низшего напряжения (сеть 10 кВ).

Величина базисного напряжения $U_б$ принимается выше номинального напряжения сети на 5%.

Базисные условия:

$$S_б = 100 \text{ МВА}; U_{вн} = 36,75 \text{ кВ}; U_{нн} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Рассчитывается базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б}. \quad (41)$$

$$I_{б.вн} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 1,57 \text{ кА}.$$

$$I_{б.нн} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Расчет параметров схемы проводится в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения.

Принимается значение $E_c=1$, соответственно, индуктивное сопротивление $x_c = 0,05$ о.е.

Индуктивное сопротивление питающей воздушной линии W1:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_{y\delta.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2} \quad (42)$$

где X_{W1} – удельное сопротивление воздушной линии, Ом/км;

L – длина линии, 6 км.

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление воздушной линии W1:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{y\delta.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2} \quad (43)$$

где $R_{y\delta.W1}$ – удельное активное сопротивление воздушной линии.

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Находится индуктивное сопротивление трансформатора T1 ГПП

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{HT}} \quad (44)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,59 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины по (42):

$$X_{W2} = 0,09 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,016 \text{ о.е.}$$

$$X_{W4} = 0,09 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

$$X_{W5} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины по (43):

$$R_{W2} = 0,62 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,17 \text{ о.е.}$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$R_{W4} = 0,62 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,28 \text{ о.е.}$$

$$R_{W5} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ о.е.}$$

Находятся токи подпитки от высоковольтного асинхронного двигателя мощностью 400 кВт насосной.

Рекомендовано принять в случаях, когда нет полных данных о действительных значениях сверхпереходных сопротивлений, нагрузке и других параметрах высоковольтных АД, следующие значения [8]

$$\begin{aligned}x_d'' &= 0,2; \\ E_D = E'' &= 0,9.\end{aligned}$$

Исходные данные для расчёта сопротивления двигателя:

$$P_H = 400 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,92; \eta = 85,0 \%$$

Полная номинальная мощность АД

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi \cdot \eta}, \text{ кВА.} \quad (45)$$

$$S_H = \frac{400}{0,92 \cdot 0,85} = 511,5 \text{ кВА.}$$

Сопротивление двигателя:

$$x_D = x_d'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \text{ о.е.} \quad (46)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{100}{1 \cdot 511,5} = 0,196 \text{ о.е.}$$

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (47)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ о.е.}$$

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётной точке К1 проводится по выражению

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (48)$$

Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1. Асинхронные двигатели являются местными источниками питания и учитываются при непосредственной связи с точкой КЗ.

Так как точка КЗ К1 отделена одной ступенью трансформации от двигателей, то их подпитка в схеме замещения для точки К1 не учитывается.

Значит по (48):

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 1,57 = 6,98 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 без учёта подпитки от АД

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (49)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.}$$

$$I_{к2БП}^{(3)} = \frac{1}{0,66} \cdot 5,5 = 8,33 \text{ кА.}$$

Периодическая составляющая трехфазного тока подпитки при КЗ от АД в точке К2:

$$I_{Д}^{(3)} = \frac{E''}{Z'_{\Sigma k2}} \cdot I_{\sigma}. \quad (50)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_{Д})^2 + R_{w5}^2}} \quad (51)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(0,01+0,196)^2+0,08^2}} = 4,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{Д}^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2:

$$I_{к2}^{(3)} = I_{к2БП}^{(3)} + I_{Д}^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(3)} = 8,33 + 1,04 = 9,37 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точках К3 – К5. Так как в работе принята радиальная схема для всех отходящих линий 10 кВ, следовательно, подпитка от АД в точках К3 – К5 не учитывается

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}. \quad (52)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,02)^2 + (0,02 + 0,17)^2} = 0,71 \text{ о.е.}$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{1}{0,71} \cdot 5,5 = 7,75 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (53)$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,016)^2 + (0,02 + 0,11)^2} = 0,69 \text{ о.е.}$$

$$I_{к4}^{(3)} = \frac{1}{0,69} \cdot 5,5 = 7,97 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w4})^2 + (R_{w1} + R_{w4})^2}. \quad (54)$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,04)^2 + (0,02 + 0,28)^2} = 0,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{к5}^{(3)} = \frac{1}{0,76} \cdot 5,5 = 7,24 \text{ кА.}$$

Для точки К6 (на выводах АД) необходимо учесть подпитку от АД, следовательно

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w5} + X_D)^2 + (R_{w1} + R_{w5})^2}. \quad (55)$$

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01 + 0,196)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{k6БП}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА.}$$

$$I_D^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К6:

$$I_{к6}^{(3)} = I_{к6БП}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{к6}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{к}^{(3)}, \quad (56)$$

где $K_{y\partial}$ – значение ударного коэффициента (по справочным данным) [7].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1

$$I_{y\partial.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётных точках К2-К6 определено аналогично и результаты при ведены в таблице 8.

Расчет токов двухфазного короткого замыкания

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (57)$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётных точках К2-К6 определено аналогично и результаты при ведены в таблице 8. Полученные результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках системы электроснабжения проектируемого машиностроительного завода приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках системы электроснабжения машиностроительного завода

Расчётная точка КЗ	U _Б , кВ	I _Б , кА	K _{уд}	I ⁽³⁾ , кА	I ⁽²⁾ , кА	I _{уд} , кА
К1	36,75	1,57	1,6	6,98	6,04	15,71
К2	10,5	5,5	1,4	9,37	8,11	18,55
К3	10,5	5,5	1,37	7,75	6,71	15,02
К4	10,5	5,5	1,37	7,97	6,90	15,44
К5	10,5	5,5	1,37	7,24	6,27	14,03
К6	10,5	5,5	1,37	7,36	6,37	14,26

2.7 Выбор и проверка сечения проводников

Известно, что «сечения проводов воздушных линий электропередач выбираются по экономической плотности тока» [12]

$$F_{э} = \frac{I_{max}}{j_{э}}, \quad (58)$$

где $j_{э}$ – плотность тока, А/мм².

Ток нормального режима для линии

$$I_{p.} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (59)$$

где $U_{ном.}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

Максимальный расчётный ток линии

$$I_{p.max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (60)$$

Выбранное сечение необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы [12]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max} \quad (61)$$

где $I_{доп}$ – «длительно – допустимый ток выбранного провода» [12].

Проверка по условию короны [12]

$$F_{ст} \geq F_{мин.} \quad (62)$$

Проводятся расчёты и выбор сечения провода ВЛ-35 кВ.

$$I_p = \frac{10453,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 86,2 \text{ А.}$$
$$I_{p.max} = \frac{10453,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 172,4 \text{ А.}$$

Сечение проводника F_s по условию экономической плотности тока

$$F_9 = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

Принимается «провод со стандартным сечением $F_{cm} = 70/11 \text{ мм}^2$ марки АС-70/11 с $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [12].

Проверка по допустимому перегреву в послеаварийном режиме выполняется

$$265 \text{ А} \geq 172,4 \text{ А}.$$

Поэтому окончательно принимается на ВЛ-35 кВ провод АС-70/11 с $I_{дон} = 265 \text{ А}$.

Потеря напряжения в проводах ВЛ определяется как:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2}, \quad (63)$$

где для ВЛ-35 кВ: провод АС-70: $r_{уд} = 0,447 \text{ ом/км}$, $x_{уд} = 0,4 \text{ Ом/км}$ [4].

$$\Delta U_{35} = \frac{9382,1 \cdot (0,447 \cdot 6) + 4609,9 \cdot (0,4 \cdot 6)}{35^2} \cdot 100 = 1,68 \text{ \%}.$$

Потери напряжения в нормальном режиме меньше 5 %, значит, допустимы.

Сечения кабельных линий, питающих ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ ГПП, выбираются аналогично воздушным, но с применением своих коэффициентов.

В качестве примера проводится выбор марки и сечения кабеля для питания ТП-1 от ГПП (кабель 10 кВ, марка АСБ-10).

$$I_p = \frac{991,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} \approx 28,6 \text{ А}.$$

$$I_{p.max} = \frac{991,6}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,2 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил кабелей

$$F_э = \frac{28,6}{1,4} = 20,4 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель АСБ–10 (3х25), $I_{дл.дон.} = 90 \text{ А}$. Прокладка – в земле.

Проверка кабеля в нормальном режиме работы выполняется

$$I_{дон} = 90 \text{ А} > 28,6 \text{ А.}$$

Проверка кабеля в аварийном режиме работы выполняется

$$I_{дон} = 1,35 \cdot 90 = 121,5 \text{ А} > 57,2 \text{ А.}$$

Аналогично выбраны все кабели питающей сети напряжением 10 кВ.

Результаты расчетов и выбора сводятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбор кабельных линий 10 кВ

№ ТП	$S_p, \text{кВА}$	$n, \text{шт.}$	$I_p, \text{А}$	$I_{p.max}, \text{А}$	$F_э, \text{мм}^2$	Марка кабеля	$I_{дон}, \text{А}$
ТП-1	991,6	2	28,6	57,2	20,4	АСБ–10 (3х25)	90
ТП-2	606,0	2	17,5	35,0	12,5	АСБ–10 (3х16)	75
ТП-3	872,3	2	25,2	50,4	18,0	АСБ–10 (3х16)	75
ТП-4	1374,1	2	39,7	79,4	28,3	АСБ–10 (3х25)	90
ТП-5	1117,4	2	32,3	64,6	23,0	АСБ–10 (3х25)	90
ТП-6	689,0	2	19,9	39,8	14,2	АСБ–10 (3х16)	75

Продолжение таблицы 9

№ ТП	$S_p, \text{кВА}$	$n, \text{шт.}$	$I_p, \text{А}$	$I_{p, \text{max.}}, \text{А}$	$F_{\text{э.}}, \text{мм}^2$	Марка кабеля	$I_{\text{доп}}, \text{А}$
ТП-7	496,5	2	14,3	28,6	10,2	АСБ–10 (3х16)	75
Насосная (АД 10 кВ)	754,3	2	21,8	43,6	15,6	АСБ–10 (3х16)	75

Кабели всех выбранных линий напряжением 10 кВ показаны на графических листах 1 и 3.

Узлы монтажа кабельных линий напряжением 10 кВ приведены на графическом листе 6.

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации присоединений напряжением 35 кВ и 10 кВ применяются высоковольтные выключатели, установленные в РУ 35 кВ и РУ 10 кВ ГПП машиностроительного завода.

В работе на стороне 35 кВ на ОРУ-35 кВ ГПП машиностроительного завода подлежат выбору электрические аппараты:

- выключатели высокого напряжения;
- разъединители;
- трансформаторы тока (если они не встроены в выключатели);
- разрядники.

В работе на стороне 10 кВ в РУ-10 кВ ГПП машиностроительного завода выбираются следующие электрические аппараты:

- выключатели высокого напряжения;
- трансформаторы тока (ТТ);
- трансформаторы напряжения (ТН);
- предохранители для защиты ТН.

Так как в РУ-10 кВ используются ячейки типа КРУ (комплектные распределительные устройства наружной установки), разъединители в них не устанавливаются, а необходимую функцию видимого разрыва выполняют втычные контакты.

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения в общем виде по [8, 13, 16, 19]:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}; \quad (64)$$

$$I_{\text{раб.макс.}} \leq I_{\text{н}}; \quad (65)$$

Также для отключающих аппаратов защиты проводятся проверки:

- проверка на симметричный ток отключения

$$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{откл}}; \quad (66)$$

- проверка на отключение асимметричного тока КЗ

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{отк.н}}(1 + \beta_{\text{н}}), \quad (67)$$

$$t = t_{\text{з.мин}} + t_{\text{с.в}}; \quad (68)$$

Также электрические аппараты высокого напряжения должны быть проверены на термическую и динамическую стойкости к токам КЗ:

- на электродинамическую устойчивость:

$$i_y \leq i_{\text{пр.с}}; \quad (69)$$

- на термическую стойкость по значению теплового импульса

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (70)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (71)$$

Проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ машиностроительного завода.

Для удобства выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ представлены в виде таблицы 10.

Таблица 10 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения машиностроительного завода

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Страна 35 кВ (ОРУ-35 кВ ГПП)			
Выключатель ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1со встроенными ТТ	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 40$ кА	$I_{п.о.}^{(3)} = 6,98$ кА
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 22,6$ кА	$i_{ат}^{(3)} = 6,98$ кА
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с	$B_k = 9,26$ кА ² ·с
Страна 35 кВ (ОРУ-35 кВ ГПП)			
Разъединитель марки РЛНДЗ-2 – 35/600 У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 0,3 = 4800$ кА ² ·с	$B_k = 9,26$ кА ² ·с
Разрядник РВС-35 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
Страна 10 кВ (РУ-10 кВ ГПП)			

Продолжение таблицы 10

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Выключатель вакуумный марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.ав}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.ав}} = 809,2 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 9,37 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 9,37 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 18,55 \text{ кА}$
	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 31,5^2 \cdot 0,3 = 297,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока марки ТПК-10-1000/5 У3	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.ав}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.ав}} = 809,2 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 18,55 \text{ кА}$
	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 50^2 \cdot 1 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ограничитель перенапряжения ОПНп-10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
Трансформатор напряжения НТМИ-10-66	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
Предохранитель для защиты ТН ПКН 001-10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$

Выбранные электрические аппараты наносятся на графический лист 3.

Выводы к разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлена разработка системы электроснабжения машиностроительного завода согласно исходных данных, задач на проектирование и в соответствии с основными положениями нормативных документов.

Получены следующие основные результаты, полученные на основании расчёта электрических нагрузок завода и токов короткого замыкания:

– выбраны и проверены два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА марки ТМН-10000/35 для установки на ГПП проектируемого машиностроительного завода;

– в результате выбора силовых трансформаторов цеховых ТП, для питания потребителей проектируемого машиностроительного завода на напряжении 0,38/0,22 кВ выбраны 7 ТП-10/0,4 кВ с номиналами трансформаторов марки ТМ на 400, 630 и 1000 кВА;

– выбран и детально проверен на питающей ВЛ-35 кВ провод марки АС-70/11;

– выбраны все кабели питающей сети напряжением 10 кВ с использованием кабелей марки АСБ-10 разных сечений;

– выбраны и проверены электрические аппараты напряжением 35 кВ системы электроснабжения машиностроительного завода: выключатель ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1со встроенными ТТ, разъединитель марки РЛНДЗ-2 – 35/600 У1, разрядник РВС-35 УХЛ1;

– выбраны и проверены электрические аппараты напряжением 10 кВ системы электроснабжения машиностроительного завода: выключатель вакуумный марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, трансформатор тока марки ТПК-10-1000/5 У3, ограничитель перенапряжения ОПНп-10, трансформатор напряжения НТМИ-10-66, предохранитель для защиты ТН ПКН 001-10.

3 Техника безопасности, охрана труда и экологическая безопасность

3.1 Обеспечение техники безопасности и охраны труда на предприятии

На основании приведённых данных по характеристике производственной среды цехов и участков машиностроительного завода, можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха машиностроительного завода) относятся к объектам с повышенной степенью опасности.

Следовательно, они требуют соблюдения определённых норм техники безопасности при выполнении работ в них.

Организация работ и ответственность за проведение всех мероприятий по охране труда, на основании [6, 7, 10, 14], в системе электроснабжения машиностроительного завода, возложена на технического руководителя предприятия (главного инженера).

При выполнении работ в системе электроснабжения машиностроительного завода необходимо неукоснительно придерживаться следующих правил и требований [10] :

- техники безопасности при выполнении работ в электроустановках;
- пожарной безопасности;
- экологической безопасности.

Поэтому в первую очередь при допуске к выполнению работ обслуживающий персонал должен знать и уметь выполнять все требования нормативных документов по охране труда и технике безопасности.

Как правило, поражение электрическим током в сетях и на понизительных подстанциях в системе электроснабжения машиностроительного завода возникает в таких случаях:

– при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики);

– при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции ГПП машиностроительного завода;

– при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);

– при нахождении человека вблизи заземления (менее 8 м), с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции ГПП машиностроительного завода.

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

– опасность возможных ожогов электрической дугой, которая возникла в результате неправильных оперативных действий с разъединителями, заземляющими ножами;

– возможность ушибов и переломов конечностей вследствие падений при движении по неровной или скользкой, или неосвещённой поверхности;

– опасность повреждения организма вследствие попадания конечностей под трущиеся и вращающиеся объекты электрооборудования.

Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах:

– при коротких замыканиях;

– при прямых попаданиях молнии;

– при перегреве и внутренних коротких замыканиях масляных трансформаторов на подстанции;

– при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгоранием;

– при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе.

Соблюдение трудовой дисциплины является основой по технике безопасности при выполнении любых работ в электроустановках.

Согласно действующему законодательству, администрация обязана проводить инструктаж всех работников по безопасным приемам выполнения работ.

Согласно положениям [10, 14], для рабочих проводятся по технике безопасности вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте.

Для обеспечения выполнения мероприятий по технике безопасности на предприятии существуют определенные требования к персоналу.

Проводится периодическая проверка знаний персонала, оформляется по установленным нормам допуск к работе, то есть выписывают наряды. Периодически проверяют выполнение правил по технике безопасности.

Рабочий персонал должен соблюдать правила техники безопасности, так как нарушение правил эксплуатации и ремонта может привести не только к поломке технологического оборудования, но и к несчастным случаям.

При ремонте электрооборудования понизительной подстанции ГПП машиностроительного завода, необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

Для этого необходимо выключить коммутационный аппарат и отключить установку от сети.

Для персонала, работающих в опасных условиях, выдаются средства индивидуальной защиты.

Электротехническому персоналу, работающему в электроустановках понизительной подстанции ГПП машиностроительного завода, выдаются перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Особо следует уделить внимание электроинструменту.

Проведение работы по ремонту электрооборудования необходимо проводить с помощью неповрежденного инструмента, который проверен на рабочем месте перед тем, как его использовать, а также срок проверки инструмента в лаборатории нормоконтроля не просрочены.

Электротехнический персонал в системе электроснабжения машиностроительного завода, на рабочем месте должен выполнять только ту работу, которая ему поручена (по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации) и входит в круг его обязанностей с выполнением требований и инструкций по охране труда.

Известно, что работы в электроустановках могут выполняться по наряду-допуску или по распоряжению, при полностью снятом напряжении, частично снятом либо без снятия напряжения с токоведущих частей.

В подавляющем большинстве случаев при выполнении работ в электроустановках системы электроснабжения машиностроительного завода, всё напряжение с токоведущих частей должно быть снято, рабочее место ограждено, а каждый член бригады должен знать и чётко выполнять свои обязанности при соответствующем виде работ.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен хорошо знать правила противопожарной безопасности и пожаротушения электрооборудования цеха или других подразделений завода.

При появлении дыма, огня, в электрооборудовании и электропроводке необходимо немедленно отключить аварийный сектор, предупредить пожарную команду при распространении пожара на оборудование или невозможно погасить очаг пожара собственными средствами.

Приведённые мероприятия обеспечивают безопасность проведения работ в электроустановках всех классов напряжения и являются строго обязательными к исполнению.

3.2 Экологическая безопасность

Применение химических веществ и соединений для получения готовой продукции машиностроительного завода, а также выплавка стали и литьё, сопряжённое с высокими температурами и выбросами в воздух соединений тяжёлых металлов, является крайне опасной для здоровья людей и окружающей среды.

Известно, что производственные процессы, связанные с непосредственным производством продукции машиностроительного завода, в особенности на химической основе и (или) с добавлением химических компонентов, сопровождаются применением и выделением в окружающую среду массы вредных веществ, опасных для флоры и фауны.

При этом отклонение от допустимых норм выброса токсинов в атмосферу и сточные воды на машиностроительном заводе может быть значительной.

Вентиляционные выбросы производственных цехов машиностроительного завода содержат пары химических красителей, растворителей, формальдегид, сероводород и углерод, а также соединения тяжёлых металлов. Загрязнение этими веществами атмосферы и сточных вод приводит к серьёзной экологической проблеме.

Например, в основных производственных цехах машиностроительного завода, к которым относятся: сталеплавильный цех, сборочный цех, кузнечно-прессовочный цех, литейный цех, лакокрасочный цех, среда помещений – химически активная, жаркая, а в лакокрасочном цеху – агрессивная, так как используются химикаты и органические и неорганические соединения (лакокрасочные химические материалы и реактивы), оказывающие существенное влияние не только на изоляцию и токоведущие части электроустановок и электрических сетей цехов и участков, но также на самочувствие людей.

С целью предупреждения ухудшения экологической обстановки и возникновения опасности для здоровья и жизни людей от указанных объектов, представляющих повышенную экологическую опасность, осуществляется комплекс взаимосвязанных мероприятий. Надежным средством обеспечения экологической безопасности является механизм ее правового обеспечения, который с учетом подходов, включает составляющие:

- законодательное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- организационно-структурное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- функционально-правовое обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- экономический механизм обеспечения такой безопасности;
- юридическая ответственность как средство обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему электроснабжения машиностроительного завода.

Выводы к разделу 3

В результате выполнения третьего раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по безопасному проведению работ в системе электроснабжения машиностроительного завода. Рассмотрены основные опасности, имеющие место в цехах и на участках завода, на основании чего проведена разработка мероприятий по технике безопасности и экологической безопасности в системе электроснабжения машиностроительного завода.

Заключение

В результате выполнения работы, разработан проект системы электроснабжения машиностроительного завода согласно исходным данным для выполнения работы.

В работе выполнены следующие основные задачи и получены такие результаты:

– проведён анализ исходных данных машиностроительного завода, в результате которого приведена общая характеристика предприятия, а также цехов и подразделений проектируемого машиностроительного завода. Все цеха и подразделения машиностроительного завода систематизированы и классифицированы по условиям надёжности, безопасности, а также производственных условий среды;

– осуществлён выбор схемы электроснабжения машиностроительного завода согласно исходным данным, задач на проектирование и в соответствии с основными положениями нормативных документов;

– выбраны и проверены два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА марки ТМН-10000/35 для установки на ГПП проектируемого машиностроительного завода;

– в результате выбора силовых трансформаторов цеховых ТП, для питания потребителей проектируемого машиностроительного завода на напряжении 0,38/0,22 кВ выбраны 7 ТП-10/0,4 кВ с номиналами трансформаторов марки ТМ на 400, 630 и 1000 кВА;

– выбран и детально проверен на питающей ВЛ-35 кВ провод марки АС-70/11;

– выбраны все кабели питающей сети напряжением 10 кВ с использованием кабелей марки АСБ-10 разных сечений;

– выбраны и проверены электрические аппараты напряжением 35 кВ системы электроснабжения машиностроительного завода: выключатель ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1со встроенными ТТ, разъединитель марки РЛНДЗ-2 – 35/600 У1, разрядник РВС-35 УХЛ1;

– выбраны и проверены электрические аппараты напряжением 10 кВ системы электроснабжения машиностроительного завода: выключатель вакуумный марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, трансформатор тока марки ТПК-10-1000/5 У3, ограничитель перенапряжения ОПНп-10, трансформатор напряжения НТМИ-10-66, предохранитель для защиты ТН ПКН 001-10;

– осуществлена разработка мероприятий по безопасному проведению работ в системе электроснабжения машиностроительного завода. Рассмотрены основные опасности, имеющие место в цехах и на участках завода, на основании чего проведена разработка мероприятий по технике безопасности и экологической безопасности в системе электроснабжения машиностроительного завода.

Разработанная система электроснабжения машиностроительного завода соответствует требованиям основных нормативных документов по критериям надёжности, безопасности и экономичности.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская Т.В., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
2. Вахнина В. В., Самолина О.В., Черненко А.Н. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: электронное учебно-методическое пособие. – Тольятти [Электронный ресурс] : URL: <https://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/18603/> (дата обращения: 30.08.2021).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2015. 261 с.
5. Кудрин, Б. И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2018. 352 с.
6. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
7. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. 608 с.
9. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс]. – Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. 416 с.
10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.: ил.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Родыгина, С. В. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. Проектирование СЭС. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2016. 64 с.
14. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
15. Сибикин, Ю.Д, Сибикин М.Ю.. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
17. Федоров А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. – Электроснабжение. – М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.
18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения .– М.: Лань, 2015. 480 с.
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.
20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020.