

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 Модернизация системы электроснабжения завода металлоконструкций ООО
«МеталлКомплект»

Обучающийся

В.В. Санталов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.И. Платов

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

Тольятти 2024

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведена разработка проекта модернизации системы электроснабжения завода металлоконструкций ООО «МеталлКомплект».

Ключевым вопросом выпускной работы является разработка надежной и эффективной системы электроснабжения завода, с оптимизированными параметрами элементов схемы электроснабжения за счет правильного выбора их выбора, применения современного электротехнического оборудования.

Целью бакалаврской работы является реконструкция системы электроснабжения завода по производству металлических конструкций. Для этого необходимо, на основе имеющегося плана предприятия и расположенного на нем оборудования, произвести расчёты электрической нагрузки, произвести расчет мощности и выбор силовых трансформаторов, разработать схему распределительной сети, выбрать основное электротехническое оборудование распределительного устройства низкого напряжения, разработать схему релейной защиты, разработать схему системы освещения.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 59 страниц, дополняемую 11 таблицами, 3 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ технического состояния электроснабжения завода.....	6
1.1 Краткие сведения о предприятии.....	6
1.2 Анализ потребителей электрической энергии.....	9
2 Реконструкция системы электроснабжения завода.....	11
2.1 Расчет распределительной сети.....	11
2.2 Расчет силовых электрических нагрузок.....	20
2.3 Выбор схемы электроснабжения.....	26
2.4 Расчет освещения.....	28
2.5 Выбор силовых трансформаторов.....	30
2.6 Расчет и выбор компенсирующих устройств.....	36
2.7 Расчет токов короткого замыкания.....	38
2.8 Выбор проводников.....	44
3 Техничко–экономическое обоснование проекта реконструкции.....	47
3.1 Экономическое обоснование схемы внутреннего электроснабжения.....	47
3.2 Определение потребляемой электроэнергии и ее потерь.....	51
Заключение.....	54
Список используемых источников.....	55

Введение

Актуальность бакалаврской работы обусловлена необходимостью «разработки новой системы электроснабжения и освещения, а также модернизацией энергетической инфраструктуры завода металлоконструкций ООО «МеталлКомплект», расположенного в городе Талдом Московской области» [8].

Практическая значимость данного исследования заключается «в создании комплексного проекта электроснабжения, который включает тщательный выбор трансформаторов, коммутационного и защитного оборудования, силовых линий, а также детальное определение экономической эффективности проекта. Практическая ценность данного проекта выражается не только в разработке схем электроснабжения завода, но и в его готовности к последующим этапам монтажа и внедрения, что способствует его успешной реализации» [8].

Объектом исследования в рамках настоящей работы является завод, который специализируется на производстве различных металлоконструкций и имеет значительный промышленный потенциал.

Предметом исследования являются «схемы силовой сети и освещения, а также линии электропередач напряжением 0,38 и 10 кВ, силовые трансформаторы, коммутационное и защитное оборудование, распределительные устройства, измерительное оборудование и системы заземления» [8].

Цель исследования заключается в разработке проекта электроснабжения указанного завода, а также в выборе наиболее оптимального оборудования, которое будет соответствовать современным техническим требованиям и стандартам, обеспечивая эффективное и надежное электроснабжение.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- проведение всестороннего и углубленного анализа текущих потребителей электроэнергии на заводе, чтобы выявить их специфические требования и особенности;
- «выполнение детального и тщательного расчета основных электрических нагрузок предприятия, включая прогнозирование их изменений в будущем;
- осуществление выбора наиболее оптимальных схем электрических соединений для напряжений 0,38 и 10 кВ, с учетом надежности и эффективности;
- проведение отбора коммутационного и защитного оборудования, соответствующего современным стандартам безопасности и производительности;
- осуществление выбора наиболее эффективных компенсирующих устройств и силовых трансформаторов, чтобы минимизировать потери и повысить общую эффективность системы;
- проведение комплексного технико-экономического обоснования проекта, включающего анализ затрат и ожидаемой экономической выгоды» [8];
- обеспечение надлежащего уровня охраны труда и электробезопасности при выполнении всех предусмотренных работ, с акцентом на соблюдение нормативных требований.

Результатом данной работы станет разработанный проект электроснабжения завода металлоконструкций, который будет проверен на соответствие требованиям срабатывания защитных аппаратов и оценен на предмет его экономической эффективности.

1 Анализ технического состояния электроснабжения завода

1.1 Краткие сведения о предприятии

«Завод металлоконструкций ООО «МеталлКомплект» находится в городе Талдом Талдомского городского округа Московской области, что определяет его расположение в зоне умеренно–континентального климата. Климат в этом регионе характеризуется четко выраженной сезонностью, при этом лето является тёплым, а зима умеренно холодной. Период времени, когда средняя температура воздуха опускается ниже 0 °С, продолжается от 120 до 135 дней. Этот период начинается примерно в середине ноября и завершается к концу марта. Среднегодовая температура в данном регионе колеблется в пределах от 3,5 до 5,8 °С, что указывает на умеренно прохладный климат. Самый холодный месяц в году — это январь. Летний период характеризуется частыми вторжениями тропических воздушных масс с юга, что может приводить к повышению температуры» [23].

Снег в данном регионе обычно начинает выпадать в ноябре, хотя в некоторых случаях его появление возможно в конце сентября или декабре. Снежный покров начинает исчезать в середине апреля, а в некоторых случаях это происходит уже в конце марта. «Постоянный снежный покров устанавливается обычно в конце ноября, и высота сугробов составляет от 25 до 50 см. Глубина промерзания почвы в зимний период достигает 65–75 см. Самым тёплым месяцем в году является июль, когда средняя температура воздуха составляет около +18 °С. Среднегодовое количество осадков в регионе варьируется от 500 до 700 мм, при этом наиболее увлажнённым является северо–западный район» [23]. Летом, помимо циклональных дождей, также могут наблюдаться конвективные осадки.

«Завод является производственным предприятием, которое специализируется на выпуске металлоконструкций для различных нужд. В его состав входят несколько специализированных цехов, каждый из которых выполняет определённые функции. Цех раскроя металла предназначен для заготовки и хранения первичного сырья, необходимого для дальнейшей переработки. Этот цех оснащён ножницами для резки листового металла, отрезными станками для обработки кругов, а также различными кривошипными прессами для штамповки и заготовки из листового металла. В цехе также производится прокат стали и резка прутков с использованием прессов. Для перемещения заготовок внутри цеха используются кран–балки, обеспечивающие удобство и безопасность при транспортировке тяжёлых материалов» [23].

«В цехе механической обработки удаляются излишние выступы и ненужные детали заготовок, что улучшает качество конечной продукции. В состав оборудования данного цеха входят координатно–расточные станки, шлифовальные станки, станки с числовым программным управлением (ЧПУ) и обрабатывающие центры, обеспечивающие высокую точность обработки» [23]. Также имеется метизный участок, оснащённый токарно–револьверными полуавтоматами, которые позволяют производить сложные детали с высокой скоростью.

В метизном участке установлены специализированные шлифовальные станки, а также зубообрабатывающие станки, которые предназначены для выполнения высокоточной обработки различных деталей и компонентов. В отдельном участке цеха производится изготовление гидроцилиндров, что требует использования высокоточного оборудования, обеспечивающего необходимые параметры качества и точности.

Цехковки и закалки оснащён мощными молотами, необходимых в производственном процессе. Эти молоты позволяют выполнять сложные

операции с высокой степенью точности и надежности. «Перемещение заготовок по территории цеха осуществляется с помощью кран-балок, что значительно упрощает логистические процессы внутри предприятия и повышает общую производительность труда рабочих» [23].

«Инструментальный цех оборудован специальными установками для нормализации заготовок в соляных ваннах, что обеспечивает равномерное распределение температуры по всему объему заготовки и улучшает механические и физические свойства материалов. Для транспортировки заготовок внутри цеха используются кран-балки, которые позволяют быстро и безопасно перемещать тяжелые детали» [23].

«В гальваническом цехе находится современное оборудование для нанесения хромовых покрытий, цинкования и химического оксидирования, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость продукции. В этом цехе также производится изготовление табличек методом фотопечати, что позволяет создавать высококачественные и долговечные изделия» [23].

«Сварочный цех оснащён стендами для выполнения различных сварочных работ. В цехе также имеются полуавтоматы для сварки в среде углекислого газа. Данная технология сварки отличается высокими показателями качества сварных соединений» [23].

В сборочном цехе производится окончательная сборка продукции. «Для перемещения заготовок и готовых изделий по территории цеха применяются кран-балки» [23], что обеспечивает эффективную и безопасную организацию производственного процесса.

Для оптимального распределения нагрузки и обеспечения бесперебойного энергоснабжения всех производственных участков применили 1 и 2 категории надежности, что проиллюстрировано таблицей 1.

В таблицу 2 сведены расчетные нагрузки цехов.

Таблица 1 – Категории электроснабжения потребителей

Наименование цеха	Категория надёжности
Цех раскроя металла	I
Станочный цех	I
Цехковки и закалки	I
Горячий цех	I
Цех химической обработки	I
Цех сборки №1	I
Цех сборки №2	I
Управление	II

Таблица 2 – Расчетные нагрузки цехов

Наименование цеха	$P_{н}$, кВт
Цех раскроя металла	70
Станочный цех	98
Цехковки и закалки	18,8
Горячий цех	19,2
Цех химической обработки	3,1
Цех сборки №1	91,5
Цех сборки №2	100,2
Управление	6,6

1.2 Анализ потребителей электрической энергии

Общий план расположения цехов и их картограмма электрических нагрузок были детально изучены и представлены на чертеже номер один в графической части проекта, что позволяет осуществить точное планирование электротехнических мероприятий и обеспечить оптимальное распределение электрических ресурсов на территории завода.

Выводы по разделу 1.

В рамках «основных проектных требований необходимо тщательно рассмотреть выбор количества и мощности силовых трансформаторов» [21] для

обеспечения эффективной работы подстанции, что является важным аспектом для обеспечения надежного электроснабжения производственных процессов.

При «выборе сечения и маркировки кабелей для трассировки линий электропередач необходимо учитывать технические параметры и эксплуатационные условия, что обеспечит стабильность работы электрооборудования и минимизацию потерь энергии» [21].

Важно подобрать «аппаратуру коммутации, а также предусмотреть средства измерения и защиты линий от токов короткого замыкания, что существенно повысит безопасность и надежность электрических сетей на предприятии. Светотехнический расчет должен быть проведен с учетом освещенности и энергоэффективности, чтобы оптимизировать использование светильников и снизить энергопотребление на объекте» [21].

Разработка схемы внешнего электроснабжения завода по производству металлоконструкций требует комплексного подхода к инженерным решениям, учитывая потребности в электроэнергии и обеспечивая гибкость в случае возможных изменений и модернизаций производственных процессов.

2 Реконструкция системы электроснабжения завода

2.1 Расчет распределительной сети

«Электродвигатели, предназначенные для приведения в действие производственных механизмов, должны быть подобраны с учетом нескольких важных параметров, таких как напряжение питания, мощность, режим работы, частота вращения и условия эксплуатации в окружающей среде» [8], чтобы обеспечить эффективную и надежную работу оборудования.

В процессе выбора электродвигателей для применения на производственном оборудовании важно учитывать особенности станочного цеха как основного ориентира для расчетов и технического проектирования.

С учетом стандартов и спецификаций, требуемых для выбора и установки электродвигателей на промышленное оборудование, необходимо выполнить тщательный анализ, чтобы соответствовать требованиям безопасности и эффективности работы.

В связи с классификацией помещения как В1а, наиболее предпочтительным вариантом становятся асинхронные электродвигатели в «специализированном взрывозащищенном исполнении с высокой степенью защиты IP54, что обеспечивает надежную работу в условиях повышенной опасности» [8].

«Условие выбора электродвигателя» [14]:

$$P_H > P_{\text{мех}}, \quad (1)$$

где P_H – номинальная мощность электромеханизма двигателя, кВт;

$P_{\text{мех}}$ – мощность допустимым приводного механизма, кВт» [14].

«В качестве двигателя основного движения одношпиндельного настольно-сверлильного станка необходим электродвигатель мощностью 7,5

кВт» [1]. Проверка мощности: $7,5 \text{ кВт} > 6,9 \text{ кВт}$. Проверка пройдена. Подбираем электродвигатель: А132S4.

«Рассчитывается номинальный ток электродвигателя по формуле» [14]:

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (2)$$
$$I_n = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,875} = 14,8 \text{ А}.$$

«Рассчитывается пусковой ток электродвигателя по формуле» [14]

$$I_{\text{пуск}} = I_n \cdot k_p, \quad (3)$$

где « k_p – коэффициент пуска» [14].

$$I_{\text{пуск}} = 14,8 \cdot 7,5 = 110,9 \text{ А}.$$

В таблице 3 приведены исходные данные о установленной мощности электродвигателей, а также подробные результаты процесса выбора оптимальных электрических двигателей для каждого приемника электрической мощности.

Таблица 3 также отображает результаты выбора электродвигателей, основываясь на анализе технических характеристик и эксплуатационных условий, что позволяет обеспечить оптимальную работу всей электроэнергетической системы.

«Номинальная мощность электро механизма повторного и кратковременного режима (тельфера) вероятно сводиться к продолжительному режиму по формуле» [16]

$$P_{\text{ном.д}} = P_p \cdot \sqrt{ПВ_p}, \quad (4)$$

где « $P_{\text{п}}$ – паспортная мощность электродвигателя, кВт;

$PВ_{\text{п}}$ – паспортная продолжительность включения в относительных величинах. Для двигателя тельфера: МТКФ312–6 [29], $P_{\text{п}}=15$ кВт и $PВ=40\%$ » [18].

$$P_{\text{ном,д}} = 15 \cdot \sqrt{0,38} = 9,25 \text{ кВт}$$

Таблица 3 – Результаты выбора электродвигателей

Наименование станка	$P_{\text{мех}}$, кВт	Марка двигателя	$P_{\text{н}}$, кВт
Вытяжка	0,4	A71A2	0,70
Универсальный токарно-фрезерный станок	2,6	A80B2	2,2
	6,0	A100L2	6,0
Универсальный токарно-фрезерный станок с ЧПУ	12,0	A132M2	11
	7,1	A112M2	7,5
	1,9	A112MA8	2,2
Хонинговальный	31	A180M4	30
	6,9	A160S8	7,5
Токарный	6,9	A112M2	7,5
Одно шпиндельный настольно-сверлильный	7,1	A112M2	7,5
Горизонтально-расточной	23	A180S2	22
	3,1	A112MB8	3
Заточной	10,0	A132M2	11
Притирочный	12,4	A132M2	11
	2,9	A112MB8	3
Станок для суперфиниширования	3,1	A112MB8	3
Станок для нарезания червячных и шевронных колес	22,4	A180S2	22
Станок для нарезания конических колес с прямыми и криволинейными зубьями	2,97	A112MB8	3
	0,61	A71A2	0,7
Резьбошлифовальный	7,3	A112M2	7,5
Зубострогальный	7,08	A112M2	7,5
Карусельный	5,12	A112MB8	5,5
	3,11	A112MB8	3
Продольно-долбежный	7,33	A112M2	7,5
Копировально-фрезерный	12,5	A132M2	11
	3,11	A112MB8	3
	0,60	A71A2	0,7

Рассмотрим выбор магнитных пускателей. «Выбор осуществляется по степени защиты от воздействия окружающей среды, номинальному напряжению и по неравенству» [11]:

$$I_{\text{НП}} > I_p, \quad (5)$$

где « $I_{\text{НП}}$ – номинальный ток контактов пускателя, А;

I_p – расчётный ток приёмника, А, для одного двигателя принимаем равным номинальному току» [11].

Для тока 14,8 А выбрали пускатель ПМЛ 221002 с $I_{\text{НП}}=22\text{А}$, IP54.

«Условие выбора теплового реле» [30]:

$$I_{\text{Т.р}} > I_p, \quad (6)$$

где « $I_{\text{Т.р}}$ – ток теплового расцепителя, А» [30].

Выбираем тепловое реле РТЛ102104: $I_{\text{Т.р}}=25\text{ А}$, $I_{\text{ср}}=13\text{–}18\text{ А}$.

«Для защиты двигателя от токов КЗ выбираются автоматические выключатели» [2]:

$$I_a > I_{\text{дл}}, \quad (7)$$

$$I_p > I_{\text{дл}}, \quad (8)$$

где « I_a – номинальный ток автоматического выключателя, А;

I_p – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А;

$I_{\text{дл}}$ – длительный ток линии, А» [2].

Выбираем автомат ВА51Г–25: $I_a=25\text{ А}$, $I_p=16\text{ А}$.

«Определяется требуемое значение кратности токовой отсечки» [2]:

$$K_{TO} = \frac{1,25I_{\text{пуск}}}{I_{\text{нр}}}, \quad (9)$$

где « $I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток двигателя, А» [2].

$$K_{TO} = \frac{1,25 \cdot 110,9}{16} = 8,6 \approx 10.$$

«Ток срабатывания автоматического выключателя» [2]:

$$I_{CP} = K_{TO} \cdot I_{\text{нр}}. \quad (10)$$

$$I_{CP} = 10 \cdot 16 = 160 \text{ А}$$

«Проверяется условие несрабатывания аппарата при пуске» [3]:

$$I_{CP} \geq 1,25I_{\text{пуск}}, \quad (11)$$

$$160 \geq 1,25 \cdot 110,9 = 138,6.$$

Условие выполняется.

Проведем пример выбора предохранителя. Основное условие выбора:

$$I_{\text{вс}} > I_{\text{р}}, \quad (12)$$

$$I_{\text{вс}} > \frac{I_{\text{пик}}}{\alpha} = \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha}, \quad (13)$$

где « $I_{\text{пик}}$ и $I_{\text{пуск}}$ – соответственно пиковый и пусковой токи, А;

α – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки» [6].

«Эффективное число электроприемников» [21]:

$$n_{\text{эф}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n p_i^2}, \quad (14)$$

где « p_i – мощности двигателей в станке, кВт» [8].

$$n_{\text{эф}} = \frac{(3 + 11)^2}{3^2 + 11^2} = 1,5.$$

«Находится коэффициент расчётной нагрузки k_p » [21]:

$$k_p = \frac{k_{ИБ} - k_{И}}{k_{ИБ} - k_{ИМ}} (k_{РБ} - k_{РМ}) + k_{РМ}, \quad (15)$$

$$k_p = \frac{(0,15 - 0,12)}{(0,15 - 0,1)} (8 - 4,33) + 4,33 = 6,59$$

«Определяется активная расчётная нагрузка» [21]:

$$P_p = k_{И} \cdot k_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}, \quad (16)$$

$$P_p = 6,59 \cdot 0,12(11 + 3) = 11,1 \text{ кВт}.$$

«Определяется расчётная реактивная нагрузка при $n_{\text{эф}} \leq 10$ » [21]:

$$Q_p = 1,1 \cdot k_u \cdot \text{tg} \varphi \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}, \quad (17)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot (0,12 \cdot 2,29(11 + 3)) = 4,23 \text{ квар}.$$

«Расчётный ток» [21]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (18)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{11,1^2 + 4,23^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,05 A$$

«Пиковый ток в линии при n=2 рассчитываем по формуле» [21]

$$I_{пик} = I_{nmax} + I_{номmin}, \quad (19)$$

где « I_{nmax} – пусковой ток наибольшего электродвигателя, А;

$I_{номmin}$ – номинальный ток меньшего по мощности двигателя, А» [20].

$$I_{пик} = 166,8 + 6,7 = 173,5 A.$$

Выбираем предохранитель ПН2–100/80, $\alpha = 2,5$, т. к. условия пуска лёгкие.

«Провода и кабели выбираются по следующим условиям» [10]:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{дл}}{K_n}, \quad (20)$$

где « $I_{доп}$ – допустимый ток провода, А,

K_n – поправочный коэффициент, учитывающий температуру в цехе» [10].

«Проверяется выбранное сечение по условию соответствия аппарату максимальной токовой защиты» [10]

$$I_{доп} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_n}, \quad (21)$$

где « K_3 – кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата;

I_3 – номинальный ток (ток срабатывания) защитного аппарата» [10].

Для ответвления к электродвигателю:

$$I_{доп} \geq 1,25 \cdot I_{ном}. \quad (22)$$

Например, выбор для заточного станка. Кабели в стальных трубах, которые проложены в полу. На начальном этапе выбирается провод АПВ–4 (1×4), поскольку это обусловлено соответствием условию (20), выраженному следующим образом: 23 А > 22,2 А. Затем проводится тщательная проверка соответствия сечения провода автоматическому выключателю. В данном случае выбирается провод АПВ–4 (1×6), у которого допустимый ток $I_{доп}$ составляет 30 А. Далее проводится проверка выполнения условия для нового провода, чтобы убедиться в его соответствии требованиям:

$$I_{доп} = 30 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 22,2 = 27,75 \text{ А}.$$

Условие выполняется, кабель [9] подходит.

Расчет электропитания для тельфера.

«Расчет приводится к выбираемому размеру угловой стали или же вида троллейного шинпровода, удовлетворяющего назначениям нагрева и допустимой утрате напряжения» [23].

$$I_{доп} \geq I_{макс}. \quad (23)$$

Предельный ток $I_{макс}$:

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{(P_{\text{номр}} \cdot \kappa_{30})^2 + (P_{\text{номр}} \cdot \kappa_{30} \cdot \text{tg}\phi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (24)$$

где « $P_{\text{номр}}$ – потребляемая мощность крановой установки при номинальной нагрузке, кВт;

κ_{30} – коэффициент спроса в крановой уставки, определяемый в зависимости от режима работы и приведенного числа электроприемников;

$\text{tg}\phi$ – среднее значение коэффициента мощности» [23].

«Величина потребляемой мощности» [23]:

$$P_{\text{номр}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{ном}i}}{\eta_i}, \quad (25)$$

где « n – число электродвигателей крановой установки;

η_i – КПД i -ого двигателя» [23].

При $P_1 = 15 \text{ кВт}$, $P_2 = 5 \text{ кВт}$, $P_3 = 11 \text{ кВт}$, $\eta_1 = 0,81$, $\eta_2 = 0,74$, $\eta_3 = 0,775$ по формуле:

$$P_{\text{номр}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{ном}i}}{\eta_i}, \quad (26)$$

где « n – число электродвигателей крановой установки;

η_i – КПД i -ого двигателя» [23].

$$P_{\text{ПОТР.Р}} = \frac{15}{0,81} + \frac{5}{0,74} + \frac{11}{0,775} = 39,46 \text{ кВт}.$$

При $P_{\text{номр}} = 39,46 \text{ кВт}$, $\kappa_{30} = 0,5$, $\text{tg}\phi = 1,73$ по формуле

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{(39,46 \cdot 0,5)^2 + (39,46 \cdot 0,5 \cdot 1,73)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 59,9 \text{ А}.$$

«Определяется пиковый ток» [23]:

$$I_{\text{ПИК}} = I_{\text{ПУСК-МАХ}} + (I_P - K_{\text{И}} \cdot I_{\text{НОМ-МАХ}}), \quad (27)$$

где « $I_{\text{пуск max}}$ – очень большой из всех пусковых токов двигателей, А;

$I_{\text{ном max}}$ – номинальный ток двигателя с пусковым током, А» [23].

$$I_{\text{ПИК}} = 205 + (34,8 - 0,35 \cdot 22,8) = 231 \text{ А}.$$

Выбираем сталь $50 \times 50 \times 5$ с $I_{\text{пик}} = 315 \text{ А}$.

Потеря напряжения:

$$\Delta U = m \cdot l, \quad (28)$$

где « m – удельная потери напряжения, %/м. Принимаем $m=0,07$ %/м;

l – расстояние от место крепления питающей линии до максимально наиболее удаленного конца троллеев, м. Принимаем $l=66,7$ м» [23]

$$\Delta U = 0,07 \cdot 66,7 = 4,69\% .$$

2.2 Расчет силовых электрических нагрузок

Определение электрических нагрузок будет осуществляться с применением метода расчётных коэффициентов [27], что является стандартным подходом в инженерной практике данной области. Для каждого электроприемника будут тщательно подобраны усредненные значения коэффициентов использования ($K_{\text{и}}$). Эти коэффициенты будут строго соответствовать установленным методическим рекомендациям, что гарантирует соблюдение всех нормативов. Значения активной и реактивной мощности также будут выбраны на основе данных методических указаний. Это обеспечивает

высокую точность и надёжность расчётов, что является критически важным для корректного функционирования системы.

Вся информация обо всех электроприемниках заносится в таблицу 4. Это необходимо для систематизации данных и последующего их анализа, что позволяет проводить дальнейшие расчеты с высокой степенью точности.

Таблица 4 – Электроприемники

Группа	Позиция	Наименование	$P_{\Sigma P}$, кВт	Ки	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6
А1	11	Вытяжка	0,4	0,75	0,8/0,75
	2–5	Универсальный токарно-фрезерный	34,4	0,18	0,6/1,33
	8	Универсальный токарно-фрезерный с ЧПУ	20,0	0,18	0,6/1,33
А2	6–9	Универсальный токарно-фрезерный	34,4	0,18	0,6/1,33
	8, 9	Универсальный токарно-фрезерный с ЧПУ	40	0,18	0,6/1,33
А3	12	Хонинговальный	37,9	0,09	0,4/2,29
	13, 16	Токарный	13,8	0,09	0,4/2,29
	17–19	Одно шпиндельный настольно-сверлильный	21,3	0,09	0,4/2,29
А4	22	Токарный	6,9	0,09	0,4/2,29
	17	Горизонтально-расточной	26,1	0,18	0,6/1,33
	19	Вытяжка	0,4	0,75	0,8/0,75
	24, 25	Притирочный	30,6	0,09	0,4/2,29
А5	28	Вытяжка	0,4	0,75	0,8/0,75
	25–27	Станок для суперфиниширования	9,3	0,09	0,4/2,29
	29–31	Притирочный	45,9	0,09	0,4/2,29
	30	Токарный	6,9	0,75	0,8/0,75
	31, 32	Вытяжка	0,4	0,09	0,4/2,29
А6	33, 37	Станок для нарезания червячных и шевронных колес	44,8	0,09	0,4/2,29
	35, 38	Одно шпиндельный настольно-сверлильный	14,2	0,09	0,4/2,29

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
А7	39–45	Заточной	60,0	0,09	0,4/2,29
	58–66	Резьбошлифовальный	58,4	0,09	0,4/2,29
	46–48	Зубострогальный	21,24	0,09	0,4/2,29
	69	Универсальный токарно-фрезерный	8,6	0,09	0,4/2,29
	65, 66, 67, 71, 77, 78	Карусельный	49,38	0,09	0,4/2,29
А8	47	Хонинговальный	37,9	0,09	0,4/2,29
	72–75, 78–81	Копировально-фрезерный	97,26	0,09	0,4/2,29
	50–52	Одно шпиндельный настольно-сверлильный	21,3	0,09	0,4/2,29
	83, 84	Горизонтально-расточной	52,2	0,09	0,4/2,29
	53–57, 84–87	Токарный	62,1	0,09	0,4/2,29
А9	88	Тельфер	40,04	0,40	0,5/1,73

Для примера приведем расчет группы А1.

«Групповой коэффициент использования» [17] определяется с использованием следующей формулы:

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ui} \cdot p_{ном i}}{\sum_{i=1}^n p_{ном i}}, \quad (29)$$

$$K_{II} = \frac{0,55 \cdot 0,8 + 6,3 \cdot 0,2 \cdot 8 + 15,9 \cdot 0,2 \cdot 3}{0,55 + 6,3 \cdot 8 + 15,9 \cdot 3} = 0,2.$$

Формула (29) учитывает специфические параметры группы электроприемников. Качественное количество электроприемников рассчитывается следующим образом, с учетом всех задействованных устройств в данной подгруппе:

$$n_{\text{э}} = \frac{(0,55 + 6,3 \cdot 8 + 15,9 \cdot 3)^2}{0,55^2 + (6,3 \cdot 8)^2 + (15,9 \cdot 3)^2} = 2,02.$$

В данном случае принимается, что эффективное число приёмников равно 2, что соответствует условиям задачи. «Определим коэффициент расчётной нагрузки, который принимается на основе эффективного числа приёмников группы и группового коэффициента использования. Для расчёта распределительных шкафов, а также различных пунктов и других устройств, которые питаются с помощью проводов и кабелей, значения коэффициента расчётной нагрузки берутся из соответствующих методических указаний» [17]. Эти указания, приведённые в источнике [17], подробно описывают необходимые значения для точного и корректного расчёта. Принимаем коэффициент расчётной нагрузки $K_p=3,39$, что подтверждается расчетными данными.

Расчётная активная нагрузка определяется с использованием следующей формулы, которая учитывает все активные компоненты нагрузки в системе:

$$P_p = 3,39(0,55 \cdot 0,8 + 6,3 \cdot 0,2 \cdot 8 + 15,9 \cdot 0,2 \cdot 3) = 68 \text{ кВт}.$$

Реактивная нагрузка:

$$Q_p = 1,1(0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 6,3 \cdot 0,2 \cdot 8 \cdot 1,33 + 15,9 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 1,33) = 29,1 \text{ квар}$$

«Полная расчётная мощность» [17]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (30)$$

$$S_p = \sqrt{68^2 + 29,1^2} = 73,9 \text{ кВА}.$$

Расчётный ток вычисляется следующим образом, что позволяет определить величину тока, необходимого для нормального функционирования системы:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (31)$$

$$I_p = \frac{73,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 112,4 \text{ A.}$$

Для всех остальных групп производится аналогичный расчёт, с использованием тех же методических подходов и формул. Все полученные результаты заносятся в таблицу 5 для дальнейшего анализа и сравнения.

Таблица 5 – Расчёт нагрузок

Номер	κ_H	$n_э$	K_p	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
A1	0,190	1	3	68	29,1	73,9	112,4
A2	0,180	1	3	47,8	15,98	47,43	72,54
A3	0,115	2	6,12	40,11	18,77	44,71	70,11
A4	0,112	2	5,22	37,41	16,11	37,74	60,08
A5	0,133	2	6,05	39,77	18,07	43,15	68,22
A6	0,133	1	7,11	55,33	20,68	59,14	92,37
A7	0,115	3	2,98	66,08	53,31	83,72	130,24
A8	0,115	2	4,97	72,41	34,12	80,08	122,47
A9	0,144	–	–	11,45	4,05	12,97	21,3

На листе 3 графической части проекта показана вся сеть, включая основные и второстепенные распределительные линии. Далее, производится тщательное определение нагрузки по цеху с учетом всех подключенных потребителей. Это является важным и ответственным этапом проектирования, требующим точных расчетов. Количество электроприёмников рассчитывается

по специальной формуле, что позволяет учесть все особенности их распределения и нагрузки:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ном i}}{P_{ном max}}, \quad (32)$$

$$n_{эф} = \frac{2 \cdot 749}{37,5} = 39,9.$$

Принимаем $n_э=39$.

«Средневзвешенный коэффициент использования» [25]:

$$K_{II} = \frac{4 \cdot 0,55 \cdot 0,8 + 588 \cdot 0,12 + 119,3 \cdot 0,2 + 39,5 \cdot 0,35}{4 \cdot 0,55 + 588 + 119,3 + 39,5} = 0,146.$$

«Расчетная активная нагрузка группы электроприемников» [25]:

$$P_p = 1,13 \cdot (4 \cdot 0,55 \cdot 0,8 + 588 \cdot 0,12 + 119,3 \cdot 0,2 + 39,5 \cdot 0,35) = 124,3 \text{ кВт}.$$

«Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников» [25]:

$$Q_p = 4 \cdot 0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 588 \cdot 0,12 \cdot 2,29 + 119,3 \cdot 0,2 \cdot 1,33 + 39,5 \cdot 0,35 \cdot 1,73 = 218 \text{ квар}.$$

«Расчётный ток группы электроприемников» [25]

$$I_p = \frac{\sqrt{124,3^2 + 218^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 381 \text{ А}$$

2.3 Выбор схемы электроснабжения

«Электропитание различных групп потребителей осуществляется через распределительные шкафы, которые, в свою очередь, получают электропитание от комплектной трансформаторной подстанции (КТП)» [26], установленной непосредственно в цехе для обеспечения надежного электроснабжения. Для обеспечения стабильного питания групп потребителей А7 и А8 был выбран «шинопровод типа ШРА4–250, номинальный ток которого составляет 250 А» [26], при этом расчетный ток составляет 185 А, что соответствует необходимым требованиям.

Шинопровод ШРА4–250 обладает высокой электродинамической стойкостью 7 кА, что обеспечивает его надежную работу в условиях высоких нагрузок, и имеет степень защиты IP44, что гарантирует его безопасность и долговечность. После получения всех необходимых данных производится тщательный выбор распределительных шкафов, при этом критерии выбора определяются согласно формуле (33), что позволяет учитывать все основные параметры и требования к оборудованию. Эта формула включает в себя учет различных факторов, таких как «номинальные токи, расчетные токи, электродинамическая стойкость, степень защиты и другие важные параметры, что обеспечивает надежную и безопасную работу системы» [26]:

$$I_{вр} > I_p, \quad (33)$$

где « $I_{вр}$ – номинальный ток вводного рубильника в амперах» [26].

Необходимо также, чтобы «количество предохранителей и их размеры соответствовали числу и размеру присоединений распределительного шкафа.

Процесс выбора показан на примере группы А1. Для этой группы выбран шкаф ШРС1–24 с номинальным током вводного рубильника $I_{вр} = 400 \text{ А}$. Проверка по формуле (33) показывает, что $400 \text{ А} > 112,4 \text{ А}$ » [26].

Аналогичный процесс выбора проводится для остальных групп, и результаты вносятся в таблицу 6.

«Выбор кабелей для питания распределительных шкафов и шинопроводов также осуществляется согласно условию (33). Выбранные сечения кабелей проверяются на соответствие аппарату защиты. Панели, которые выбираются, поставляются с предохранителями, соответствующими условиям селективности на 2–3 ступени выше.

Для групп А6–А9 выбирается линейная панель ЩО70М–06. Для групп А1, А4 и А5 выбирается панель ЩО70М–05. От этой панели также будет питаться осветительная сеть. Для питания соседнего кузнечного цеха для каждой секции выбираются панели ЩО70М–13, 400×1. Эти панели оснащены автоматическим выключателем ВА51–37 с номинальным током $I_n = 400 \text{ А}$. Вводные панели выбираются как ЩО70М–19 с автоматическим выключателем ВА55–41 с номинальным током $I_n = 1600 \text{ А}$. Секционная панель выбирается как ЩО70М–35 с автоматическим выключателем ВА53–41 с $I_n = 1000 \text{ А}$ » [26].

Таблица 6 – Вывод выбора распределительных шкафов

Номер группы	$I_p, \text{ А}$	РУ в цехе		Тип шкафа в КТП
		Тип	$I_{вр}, \text{ А}$	
А1	112,4	ШРС1–24	400	ЩО70М–05 (100×6)
А2	72,54	ШРС1–24	400	
А3	70,11	ШРС1–24	400	
А4	60,08	ШРС1–24	400	ЩО70М–05 (100×6)
А5	68,22	ШРС1–24	400	
А6	92,37	ШРС1–24	400	ЩО70М–06 (200×4)
А7	130,24	ШРА4–250	250	
А8	122,47	ШРА4–250	250	
А9	21,3	ЯБПВУ–2	200	

2.4 Расчет освещения

Для примера производится расчет размещения светильников для станочного цеха механообработки. «Определяется высота установки светильников над расчетной поверхностью» [17]:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (34)$$

где « H – высота помещения, равная 7 м;

h_c – свес светильника ($0 \div 1,5$) м, принимается $h_c=1,2$ м;

h_p – высота расчетной поверхности над полом, принимается $h_p=0,8$ м» [17].

$$H_p = 7 - 1,2 - 0,8 = 5 \text{ м.}$$

В случае «если КСС типа Г [28], отношение L/H_p можно принять в пределах $\frac{L}{H_p} = 0,8 \dots 1,1$. Тогда расстояние между соседними светильниками или рядами светильников» [5]:

$$L = H_p \cdot l, \quad (35)$$

$$L = 5 \cdot 1 = 5 \text{ м.}$$

«Расстояние от крайних светильников до стен» [17]:

$$l = (0,3 \dots 0,5) \cdot L, \quad (36)$$

$$l = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ м.}$$

«Число рядов светильников в помещении» [17]:

$$R = \frac{B-2 \cdot l}{L} + 1, \quad (37)$$

$$R = \frac{22 - 2 \cdot 3}{5} + 1 = 3,2 \approx 4 \text{ ряда.}$$

«Число светильников в ряду» [17]:

$$N_R = \frac{A-2 \cdot l}{L} + 1, \quad (38)$$

где «А – длина помещения (А=72 м);

В – ширина помещения (В=22 м)» [17].

$$N_R = \frac{72 - 2 \cdot 3}{5} + 1 = 14 \text{ светильников.}$$

«Пересчитывается реальное расстояние между рядами ЛВ и светильниками в ряду LA» [17]:

$$L_B = \frac{B-2 \cdot l}{R-1}, \quad (39)$$

$$L_B = \frac{22 - 2 \cdot 3}{4 - 1} = 5,3 \text{ м,}$$

$$L_A = \frac{A-2 \cdot l}{N_R-1}, \quad (40)$$

$$L_A = \frac{72 - 2 \cdot 3}{14 - 1} = 5,5 \text{ м.}$$

«Общее количество светильников» [17]:

$$N = N_R \cdot R, \quad (41)$$

$$N = 14 \cdot 4 = 56 \text{ светильников.}$$

Результаты расчета других участков станочного цеха в таблице 7 и на чертеже графической части проекта.

Таблица 7 – Результаты размещения светильников

Наименование помещения	A, м	B, м	H _p , м	L, м	l, м	R	NR	N	LA, м	LB, м
Обрабатывающий	80	22	5	5	2,5	4	14	56	5,5	5,3
Доводочный	28	14	5	5	2,5	3	6	18	4,3	4
Шлифовальный	14,6	14	5	5	2,5	3	2	6	4	4
Участок закалки	15,5	6	5	5	2,5	1	3	3	4,4	0
Копировальный	16,8	14	5	5	2,5	3	3	9	4,5	4
Хонинговальный	13,5	4	5	5	2,5	1	3	3	4,4	0
ОТК	13,5	4	3	4,5	1,8	1	5	5	4,4	0
ТП	9	4,5	2,7	4,5	2,5	2	3	6	2,06	4,78

2.5 Выбор силовых трансформаторов

В таблице 8 указаны основные силовые нагрузки по цехам завода.

Таблица 8 – Цеховые нагрузки

N цеха	Наименование цеха	Установленная мощность, кВт	Kи	cos φ/ tg φ	P _{наиб} , кВт
1	2	3	4	5	6
1	Цех раскроя металла, 796 кВт	1. Ленточнопильный станок с ручным подъемом 295 2. Дисковые пилы по металлу 195 3. Гидравлический дисковый станок 98 4. Станок лазерной резки 77 5. Вытяжка 61 6. Электрическая таль 70	0,20 0,20 0,22 0,22 0,75 0,40	0,5/1,73 0,5/1,73 0,65/1,17 0,65/1,17 0,8/0,75 0,5/1,73	75
2	Станочный цех, 881 кВт	1. Вытяжка 79 2. Электрическая таль 36 3. Обрабатывающие центры 611 4. Универсальные токарно-фрезерные с ЧПУ 155	0,75 0,40 0,20 0,18	0,8/0,75 0,5/1,73 0,4/2,29 0,6/1,33	41
3	Цехковки и закалки, 488 кВт	1. Вытяжка 125 2. Тельфер 116	0,75 0,40	0,8/0,75 0,5/1,73	49

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6
		3. Кузнечный ковочный электрогидравлический молот 247	0,25	0,65/1,17	
4	Инструментальный цех, 498 кВт	1. Вытяжка 115 2. Тельфер 148 3. Оборудование для гальванопластики 235	0,77 0,40 0,44	0,8/0,75 0,5/1,73 0,8/0,75	56
5	Цех химической обработки, 321 кВт	1. Вытяжка 68 2. Тельфер 155 3. Оборудование для хромирования и железнения 98	0,75 0,40 0,35	0,8/0,75 0,5/1,73 0,7/1,02	58
6	Цех сборки №1, 1567 кВт	1. Вытяжка 118 2. Тельфер 157 3. Сварочные посты 697 4. Компрессор 595	0,75 0,40 0,18 0,18	0,8/0,75 0,5/1,73 0,4/2,29 0,4/2,29	77
7	Цех сборки №2, 398 кВт	1. Вытяжка 57 2. Тельфер 341	0,75 0,40	0,8/0,75 0,5/1,73	55
8	Управление, 199 кВт	1. ПК 151 2. Кондиционеры 48	0,55 0,75	0,9/0,48 0,8/0,75	4,0

«Расчёт силовых электрических нагрузок производится способом расчётных коэффициентов» [7].

Расчёт выполним на примере цехаковки и закалки.

«По формуле (14) определяется эффективное количество электроприёмников» [7]

$$n_{эф} = \frac{2 \cdot 530}{50} = 21,2 \approx 21.$$

«По формуле (29) определяется средневзвешенный коэффициент использования» [7]

$$K_{И.Г} = \frac{130 \cdot 0,8 + 150 \cdot 0,35 + 250 \cdot 0,24}{130 + 150 + 250} = 0,408.$$

Согласно данным, приведённым в источнике [7], значение коэффициента K_p составляет 0,85. Данный показатель определяется на основании расчетных значений эффективного числа приемников n , и среднего коэффициента использования $K_{иср}$. Коэффициент расчетной нагрузки выбирается в соответствии с нормативной таблицей, предназначенной для магистральных шинопроводов с рабочим напряжением до 1 кВ. Эта таблица также применяется для шин, используемых в цеховых трансформаторах, с учетом особенностей их эксплуатации. Установка трансформаторного пункта в данном цехе является целесообразной и рекомендованной для оптимизации энергопотребления.

«Расчётная активная нагрузка по формуле (16)» [7]:

$$P_p = 0,85 \cdot (130 \cdot 0,8 + 150 \cdot 0,35 + 250 \cdot 0,24) = 184 \text{ кВт}.$$

«Расчётная реактивная нагрузка по формуле (17)» [7]:

$$Q_p = 0,85 \cdot (130 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 150 \cdot 0,35 \cdot 1,73 + 250 \cdot 0,2 \cdot 1,17) = 193,2 \text{ квар}.$$

«Рассчитывается осветительная нагрузка всех цехов способом удельных норм освещения на единицу производственной площади. Расчётная активная мощность определяется по формуле» [7]

$$P_{PO} = K_c \cdot P_y \cdot F \cdot N_{\text{Э}}, \quad (42)$$

где K_c – коэффициент спроса;

P_y – установленная мощность светильников, кВт;

F – площадь здания, m^2 ;

N_3 – количество этажей здания» [7].

«Установленная мощность светильников» [7]

$$P_v = P_{yt} \cdot \frac{E}{100 \cdot \eta}, \quad (43)$$

где « P_{yt} – установленная, табличная мощность светильников $Вт/м^2$;

E – нормируемая освещённость цеха, лк;

η – КПД светильника» [7].

Цехковки и закалки характеризуется особо тяжелыми условиями эксплуатации, что требует использования специализированных светильников, устойчивых к таким неблагоприятным условиям работы. Для освещения данного производственного помещения были выбраны светильники типа РСП 05–400, которые оснащены лампами ДРЛ мощностью 400 кВт, обеспечивающими высокую интенсивность освещения. Площадь цеха составляет 3000 квадратных метров, что предъявляет дополнительные требования к качеству и мощности осветительных приборов. Высота потолков в этом цехе достигает 8 метров, что также необходимо учитывать при выборе и установке осветительного оборудования:

$$P_v = 6 \cdot \frac{300}{100 \cdot 0,8} = 22,5 \text{ кВт} / \text{м}^2,$$

$$P_{PO} = 0,95 \cdot 22,5 \cdot 0,86 \cdot 1 = 18,4 \text{ кВт}.$$

«Определяется расчётная реактивная нагрузка освещения цеха» [7]

$$Q_{po} = P_{po} \cdot tg\phi_o, \quad (44)$$

где $tg\phi_o$ – коэффициент реактивной мощности освещения.

$$Q_{po} = 18,4 \cdot 1,73 = 31,9 \text{ квар.}$$

Результаты расчета электропотребления цеховых систем освещения заносятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Электропотребление цеховых систем освещения

№ цеха	Название	$F, \text{ м}^2.$	η	$E, \text{ лк.}$	$P_{y.m}, \text{ Вт/м}^2.$	$P_y, \text{ Вт/м}^2.$	$P_{p.o}, \text{ кВт.}$	$Q_{p.o}, \text{ квар.}$
1	Цех раскроя металла	3200	0,8	200	10,05	28,44	69,38	126,3
2	Станочный цех	2330	0,8	300	10,05	39,84	101	170,5
3	Цехковки и закалки	3000	0,8	300	10,05	22,5	18,4	31,9
4	Инструментальный цех	900	0,8	200	9,12	19,18	18,66	40,11
5	Цех химической обработки	300	0,8	300	5,88	23,44	2,99	6,04
6	Цех сборки №1	3550	0,8	200	10,05	28,44	90,11	160,2
7	Цех сборки №2	4000	0,8	200	10,05	28,44	99,88	181,6
8	Управление	420	0,48	300	5,88	23,44	7,95	7,51

Расчетная нагрузка освещения добавляется к силовым цеховым нагрузкам и суммируется с ними:

$$P_{p.ц} = P_p + P_{p.o}, \quad (45)$$

$$Q_{p.ц} = Q_p + Q_{p.o}, \quad (46)$$

Объединённая нагрузка сведена в таблицу 10.

«Определяется расчётная нагрузка предприятия» [7]:

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ui} + \sum_{i=1}^n P_{poi} , \quad (47)$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \varphi + \sum_{i=1}^n Q_{poi} , \quad (48)$$

где « K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузки, определяется исходя из условия $K_o=f(K_{иср};n)$,
 n – число присоединений 6(10) кВ на шинах РП, ГПП» [7].

Таблица 10 – Результаты расчёта нагрузок

№ цеха	Наименование	$P_{рц}$, кВт	$Q_{рц}$, квар
1	Цех раскроя металла	199,47	288,12
2	Станочный цех	198,32	355,51
3	Цехковки и закалки	195,86	230,47
4	Инструментальный цех	270,11	270,06
5	Цех химической обработки	150,91	190,11
6	Цех сборки №1	398,74	750,63
7	Цех сборки №2	255,54	399,74
8	Управление	144,22	90,08
–	Итого	1813,17	2574,72

Из таблицы 10 берем значения $P_p=1813,17$ кВт и $Q_p=2574,72$ квар. Полная мощность:

$$S_p = \sqrt{1813,17^2 + 2574,72^2} = 2913,4 \text{ кВА.}$$

«Определяется минимальное число трансформаторов, необходимое для питания расчётной активной нагрузки» [7]:

$$N_{m.мин} = \frac{P_{p.ч}}{S_m \cdot \beta_m} , \quad (49)$$

где « $P_{рн}$ – расчетная активная нагрузка на напряжении до 1 кВ данной группы трансформаторов, кВт;

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов, определяемый в зависимости от категории электроприемников по надежности электроснабжения, для двух трансформаторной подстанции принимаем 0,7, для одно трансформаторной подстанции принимаем 0,8;

S_T – единичная мощность цеховых трансформаторов, кВА» [7].

Для примера произведём расчёт для станочного цеха и цехаковки и закалки, питающихся от одной ТП:

$$N_{т.мин} = \frac{394,18}{630 \cdot 0,7} = 0,89.$$

Принимаются два трансформатора ТМЗ 630/10.

2.6 Расчет и выбор компенсирующих устройств

«С целью унификации электрооборудования внутри заводской сети рекомендуется использовать трансформаторы одного-двух типоразмеров для упрощения эксплуатации и технического обслуживания. Для цеховых трансформаторных подстанций преимущественно выбираются трансформаторы мощностью в диапазоне 630–1000 кВА, что обеспечивает оптимальную производительность» [4]. В энергоёмких цехах применяются трансформаторы мощностью 1600–2500 кВА, поскольку это необходимо, когда плотность нагрузки превышает 0,2 кВА/м², что обеспечивает надежную работу оборудования. «Максимальное значение реактивной мощности Q_T , которое может быть передано через трансформаторы в сеть с напряжением 0,4 кВ,

составляет определённое значение, что важно для эффективного распределения электроэнергии» [4]:

$$Q_m = \sqrt{(1,1 \cdot S_m \cdot N_m \cdot \beta_m)^2 - P_{p.ц}^2} \cdot \quad (50)$$

«Мощность компенсирующего устройства по критерию выбора трансформаторов минимальной мощности» [4]

$$Q_{н.к.1} = Q_{p.н} - Q_m \cdot \quad (51)$$

Далее «определяется новый коэффициент загрузки с учётом компенсации по формуле» [4]

$$\beta_T = \frac{\sqrt{P_{p.ц}^2 + (Q_{p.ц} - Q_{кв})^2}}{S_{НПМ}}, \quad (52)$$

Результаты в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор КУ

Место установки	$P_{p.ц}$, кВт	$Q_{p.ц}$, квар	N_T , шт	$S_{T.ном}$, кВ·А	Тип трансформатора	Q_T , квар	$Q_{н.к.1}$, квар	Тип КУ	β_T
ТП-1 1,5	350,38	478,23	2	630	ТМЗ-630/10	886	0	нет	0,51
ТП-2 2,3	394,18	585,98	2	630	ТМЗ-630/10	796	0	нет	0,65
ТП-3 4,7	525,65	669,8	2	630	ТМЗ-630/10	795	0	нет	0,69
ТП-4 6,8	542,96	840,71	2	630	ТМЗ-630/10	792	0	нет	0,78

2.7 Расчет токов короткого замыкания

«Расчет токов короткого замыкания осуществляется в относительных единицах, применяя базисную мощность $S_B = 1000$ МВА и базисное напряжение $U_B = 10,5$ кВ. Для точного определения токов короткого замыкания разрабатывается расчетная схема рисунка 1, включающая все необходимые элементы, через которые протекают токи к выбранным точкам. На этой схеме отражаются основные технические параметры используемого оборудования, которые критически важны для последующего выполнения расчетов. Для удобства и эффективности дальнейших расчетов формируется схема замещения рисунка 2, где каждый компонент заменяется соответствующим сопротивлением в расчетных целях» [19].

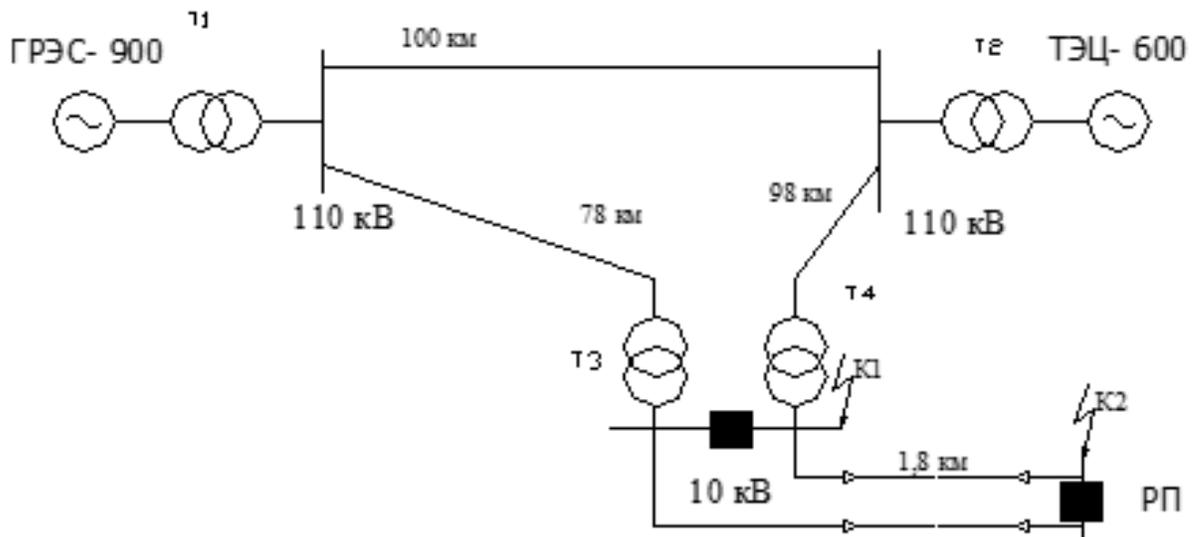


Рисунок 1 – Расчетная схема

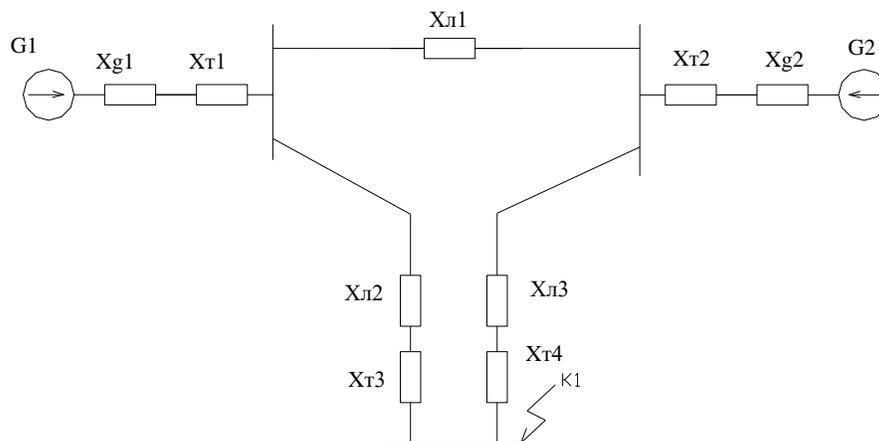


Рисунок 2 – Схема замещения сети

«Базисный ток определяется по выражению» [18]:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (53)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54985,74 \text{ A} = 54,986 \text{ кА.}$$

«Выполняется приведение сопротивлений к базисным условиям» [18]:

Генераторы:

$$X_{\Gamma} = x''_d \frac{S_B}{P_H} \cos \varphi, \quad (54)$$

где « x''_d – сверхпереходное относительное индуктивное сопротивление генератора;

P_H – активная номинальная мощность, МВт;

$\cos \varphi$ – номинальное значение коэффициента мощности генератора»

[18].

$$x_{Г1,Г2} = 0,195 \cdot \frac{1000}{300} \cdot 0,85 = 0,533.$$

Трансформаторы:

$$x_T = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}}, \quad (55)$$

где « $U_{к\%}$ – короткого замыкания, %;

S_{HT} – номинальная мощность трансформатора, МВ·А» [18].

$$x_{T1,T2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 0,263,$$

$$x_{T3,T4} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 16} = 6,56.$$

«Индуктивное сопротивление кабельных линий» [18]:

$$X_L = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2}, \quad (56)$$

где « X_0 – индуктивное сопротивление одного километра линии, принимаемое равным для воздушных линий 6÷10 кВ $X_0=0,4$ Ом/км кабельных линий $X_0=0,08$ Ом/км;

l – длина кабельной линии, км» [18].

$$x_{л1} = 0,4 \cdot 100 \cdot \frac{1000}{115^2} = 3,02,$$

$$x_{л2} = 0,4 \cdot 78 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2,35,$$

$$x_{л3} = 0,4 \cdot 98 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2,96.$$

На схеме рисунка 1 G1, G2 марки ТГВ–300–2У3; T1, T2 марки ТДЦ–400000/110; T3, T4 – ТДН–16000/10.

ЭДС генератора находится по формуле:

$$E = \sqrt{(1 \cdot 0,195 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0,195 \cdot 0,527)^2} = 1,09.$$

«Для дальнейших расчетов необходимо преобразовать схему замещения рисунка 3, используя способ токораспределения и сложив сопротивления трансформаторов Т3 и Т4 с сопротивлениями присоединенных линий» [18]:

$$x_{G1,T1} = \frac{x_{G1} + x_{T1}}{3}, \quad (57)$$

$$x_{G1,T1} = \frac{0,533 + 0,263}{3} = 0,265,$$

$$x_{G2,T2} = \frac{x_{G2} + x_{T2}}{2}, \quad (58)$$

$$x_{G2,T2} = \frac{0,533 + 0,263}{2} = 0,398,$$

$$x_{T4,L3} = x_{T4} + x_{L3}, \quad (59)$$

$$x_{T4,L3} = 6,56 + 2,96 = 9,52,$$

$$x_{T3,L2} = x_{T3} + x_{L2}, \quad (60)$$

$$x_{T3,L2} = 6,56 + 2,35 = 8,91.$$

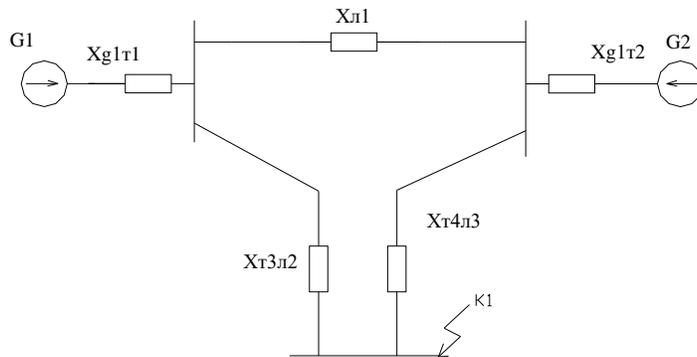


Рисунок 3 – Схема замещения сети

«Далее производится преобразование треугольника сопротивлений» [18]:

$$x_{T4T3} = \frac{x_{T4Л3} \cdot x_{T3Л2}}{x_{T4Л3} + x_{T3Л2} + x_{Л1}}, \quad (61)$$

$$x_{T4T3} = \frac{9,52 \cdot 8,91}{9,52 + 8,91 + 3,02} = 3,95,$$

$$x_{G1T1Л1} = \frac{x_{Л1} \cdot x_{T3Л2}}{x_{T4Л3} + x_{T3Л2} + x_{Л1}} + x_{G1T1}, \quad (62)$$

$$x_{G1T1Л1} = \frac{3,02 \cdot 8,91}{9,52 + 8,91 + 3,02} + 0,265 = 1,519,$$

$$x_{G2T2Л1} = \frac{x_{Л1} \cdot x_{T4Л3}}{x_{T4Л3} + x_{T3Л2} + x_{Л1}} + x_{G2T2}, \quad (63)$$

$$x_{G2T2Л1} = \frac{3,02 \cdot 9,52}{9,52 + 8,91 + 3,02} + 0,398 = 1,738.$$

«Ток установившегося КЗ в начальный момент времени определяется» [18]

$$I_{\text{ПО}} = \frac{E''}{x_{\Sigma}} \cdot I_{\text{Б}}, \quad (64)$$

$$I_{\text{П,0}} = \frac{1,09}{4,76} \cdot 54,98 = 12,59 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ определяется по формуле

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{ПО}}, \quad (65)$$

где « k_y – ударный коэффициент, значение которого находится по [19], в зависимости от отношения x_{Σ}/r_{Σ} » [18].

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,59 = 32,06 \text{ кА}.$$

Для точки К1 приведем схему к простейшему виду рисунка 4.

Схема приводится к простейшему виду:

$$x_{\Sigma} = \frac{x_{G1T1Л1} \cdot x_{G2T2Л1}}{x_{G1T1Л1} + x_{G2T2Л1}} + x_{T3T4}, \quad (66)$$

$$x_{\Sigma} = \frac{1,519 \cdot 1,738}{1,519 + 1,738} + 3,95 = 4,76.$$

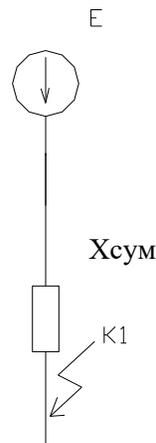


Рисунок 4 – Схема замещения сети

«Чтобы посчитать ток КЗ в точке К2, необходимо знать сечение кабеля от ГПП до РП. Удельные сопротивления выбранного кабеля ГПП – РП будут $x_0 = 0,077 \text{ Ом/км}$ и $r_0 = 0,208 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$. Тогда по формуле (56) активное и индуктивное сопротивления в относительных единицах» [18]:

$$r_{кл} = \frac{0,208}{2} \cdot 1,8 \frac{1000}{10,5^2} = 1,695,$$

$$r_{кл} = \frac{0,078}{2} \cdot 1,8 \frac{1000}{10,5^2} = 0,635.$$

«Результирующее сопротивление до точки КЗ К2» [18]

$$x_{рез} = 4,76 + 1,695 = 6,455$$

Активное сопротивление не учитывается, поскольку отношение $X_{рез}/R_{рез}=6,455/0,635>3$. При $X/R=10$ $k_y=1,72$:

$$I_{п,0} = \frac{1,09}{6,455} \cdot 54,98 = 9,28 \text{ кА},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,72 \cdot 9,28 = 22,59 \text{ кА}.$$

2.8 Выбор проводников

«Для выбора кабелей напряжением выше 1 кВ сечения жил кабелей выбираются по экономической плотности тока и проверяются по нагреву и термической стойкости при КЗ» [5]

Производится выбор кабеля для ТП1.

«Сечения жил кабеля по экономической плотности тока» [5]

$$F_э = \frac{I_{пл}}{j_э}, \quad (67)$$

где « $j_э$ – экономическая плотность тока, А/мм². Принимаем для кабелей с пластмассовой изоляцией при $T_{макс}=4500$ ч, $j_э=1,7$ А/мм²;

$I_{пл}$ – расчётный ток кабеля в нормальном режиме работы, А (68)» [5].

$$I_{пл} = \frac{S'_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (68)$$

$$I_{пл} = \frac{\sqrt{(351,65 + 5,97)^2 + (482,4 + 13,9 - 0)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 17,65,$$

$$F_3 = \frac{17,65}{1,7} = 10,4 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель ААБ–3×16 с допустимым током $I_{\text{доп}}=75$ А.

Выводы по разделу 2.

В результате «выполнения расчетов для распределительной сети цехов, а также анализа основных силовых электрических нагрузок, были определены модели применяемых электродвигателей серии АИР. Также были выбраны магнитные пускатели серии ПМЛ, тепловые реле РТЛ и автоматические выключатели серии ВА51» [12], что подтверждает высокий уровень их надёжности. Применили провода АПВ-3, АПВ-4, АПВ-5 и КГ-4, что дополнительно способствует повышению общей надёжности и безопасности электрической сети предприятия. Суммарная нагрузка цехов была определена и составила 411,53 кВт, что представляет собой значительное значение для данного производственного объекта и требует соответствующего технического обеспечения. По итогам «детального расчета сети освещения было установлено, что общая мощность освещения, потребляемая одним цехом, составляет 2900 Вт, что полностью удовлетворяет нормативным требованиям. Для уменьшения проектных затрат и оптимизации сети освещения было принято рациональное решение объединить линии освещения заготовительного и химического цехов. Также были объединены линии освещения цеха механообработки и кузнечного цеха, термического и сборочного цеха, а также сборочно-сварочного цеха и административного корпуса» [12].

Для обеспечения надежного электроснабжения всего комплекса были выбраны четыре силовых трансформатора модели ТМЗ-630/10. Эти трансформаторы полностью соответствуют требованиям по мощности и надёжности, что критически важно для бесперебойной работы предприятия. В результате «проведения тщательных расчетов токов короткого замыкания были

подобраны соответствующие коммутационные и защитные аппараты» [12], которые обеспечивают необходимый уровень защиты и безопасности. В результате проведенных расчетов было установлено, что в данном контексте использование компенсирующих устройств не является необходимым.

Все инженерные решения были разработаны с полным соответствием установленным нормативам и стандартам безопасности. Светильники, используемые в осветительной части системы, обладают высокими характеристиками пожарной и электрической безопасности, что гарантирует надежность и безопасность их эксплуатации.

Электрические кабели, применяемые в системе, также имеют высокую огнестойкость, что существенно снижает вероятность возгорания и повышает общую безопасность функционирования системы.

Разработанная «система релейной защиты для линий, а также выбранные автоматические выключатели и коммутационные аппараты, обеспечивают высокую степень защиты от коротких замыканий и перегрузок» [12], что не только предотвращает возможность пожаров, но и эффективно предотвращает нарушение целостности изоляции проводников в эксплуатационных условиях.

3 Технико–экономическое обоснование проекта реконструкции

3.1 Экономическое обоснование схемы внутреннего электроснабжения

«С целью отыскания наиболее экономичного варианта воспользуемся способом минимума приведенных затрат. Приведенные затраты для каждого варианта определяются как» [13]:

$$Z_i = E_H \cdot K_i + I_i, \quad (69)$$

где « K_i – капитальные вложения, тыс. руб.;

I_i –издержки, тыс. руб./год;

E_H – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности, равный 0,12 (руб./год)/руб» [13].

«Капитальные затраты на компоненты системы электроснабжения рассчитываются на основе укрупненных показателей стоимости, которые актуальны на 2021 год. При проведении расчета учитывается изменение оптовых цен на промышленную продукцию, которое выражается коэффициентом $K_{инф} = 2200$. Капитальные вложения определяются по следующему методу» [13]:

$$K_{ТП} = \sum_{i=1}^n K_{ТПi} \cdot K_{инф}, \quad (70)$$

$$K_{КУ} = \sum_{i=1}^n K_{КУi} \cdot K_{инф}, \quad (71)$$

$$K_{РП} = \sum_{i=1}^n K_{Яi} \cdot K_{инф}, \quad (72)$$

где « $K_{\text{тп}}$ – стоимость трансформаторной подстанции;

$K_{\text{ку}}$ – стоимость конденсаторных установок;

$K_{\text{я}}$ – стоимость ячейки, установленной в РП» [13].

«Ежегодные издержки, связанные с эксплуатацией электрооборудования и сетей определяются как» [13]

$$I = I_{\text{ам}} + I_{\text{экс}} + I_{\text{пот}}, \quad (73)$$

где « $I_{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления;

$I_{\text{экс}}$ – эксплуатационные расходы;

$I_{\text{пот}}$ – стоимость потерь электрической энергии» [13].

«Составляющие издержек определяются по формулам» [13]

$$I_{\text{ам}} = \frac{\alpha_{\text{ам}}}{100} \cdot K, \quad (74)$$

$$I_{\text{экс}} = \frac{\alpha_{\text{экс}}}{100} \cdot K, \quad (75)$$

$$I_{\text{пот}} = \Delta W \cdot \beta_{\text{ср}}, \quad (76)$$

где « $\alpha_{\text{ам}}$ – норма амортизационных отчислений, для оборудования 4,4%,

для линий 4%;

$\alpha_{\text{экс}}$ – норма эксплуатационных расходов, для оборудования 3%, для линий 2%;

$\beta_{\text{ср}}$ – средняя стоимость электроэнергии» [13].

Средняя стоимость электроэнергии:

$$\beta_{CP} = \frac{a}{T_{\max}} + b, \quad (77)$$

где «а – основная ставка тарифа за 1кВт заявленной максимальной мощности, принимается равной а=120000 руб./кВт·год);

б – дополнительная ставка тарифа за 1кВт электроэнергии, учтённой расчётным счётчиком на стороне первичного напряжения, принимаемый равным б=83 руб./кВт·ч;

T_{\max} – число часов использования максимальной нагрузки предприятия, $T_{\max}=4500$ ч» [13].

Капитальные вложения в электрооборудование напряжением выше 1кВ определим по выражению [31]:

$$K = K_{III} + K_{KV} + K_{PI} + K_{L}. \quad (78)$$

Определяются капитальные вложения на сооружение линий:

- первый вариант кабельных линий 22,371 млн.руб;
- второй вариант кабельных линий 21,826 млн.руб;
- стоимость трансформаторов 79,64 млн. руб;
- стоимость ячеек РП КРУ 10 кВ 1,48 млн. руб.

Общая стоимость РП:

$$K_{PI1} = 8 \cdot 1480 \cdot 2200 \cdot 10^{-6} = 26,048 \text{ млн.руб.},$$

$$K_{PI2} = 4 \cdot 1480 \cdot 2200 \cdot 10^{-6} = 13,024 \text{ млн.руб.}$$

Суммарные капиталовложения по вариантам:

$$K_1 = 22,371 + 79,64 + 26,048 = 128,059 \text{ млн.руб.},$$

$$K_2 = 21,826 + 79,64 + 13,024 = 114,4899 \text{ млн.руб.}$$

Время максимальных потерь в технико-экономических расчётах, определяется по [22], исходя из этого принимается $\tau=2500$ ч.

«Годовые потери электроэнергии в рассматриваемом варианте, кВт·ч» [22]

$$\Delta W_{\text{год}} = \sum_{i=1}^n \Delta W_{Ti} + \sum_{k=1}^l \Delta W_{Lk}, \quad (79)$$

где « ΔW_{Ti} – потери активной энергии в i -м трансформаторе, кВт·ч;

ΔW_{Lk} – потери активной энергии в k -й кабельной линии, кВт·ч» [22].

«Потери активной энергии в двухобмоточном трансформаторе определяются как, кВт·ч» [22]:

$$\Delta W_T = \Delta P_X \cdot T_{\text{max}} + \Delta P_K \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \tau. \quad (80)$$

Потери активной энергии в кабельной линии

$$\Delta W_{Ll} = 3 \cdot I_n^2 \cdot l \cdot r_0 \cdot \tau, \quad (81)$$

где r_0 – удельное активное сопротивление кабельной линии Ом/км.

Результаты потерь мощности в трансформаторах и линиях:

- в трансформаторах $\Delta W_T = 77261,7$ кВт·ч;
- по первому варианту в КЛ $\Delta W_{Ll} = 29435,09$ кВт·ч;

- по второму варианту в КЛ $\Delta W_{\text{л}} = 29180,43$ кВт·ч/

Расчет потерь:

$$\Delta W_{\text{зод1}} = 77261,7 + 29435,09 = 106696,79 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$\Delta W_{\text{зод2}} = 77261,7 + 29180,43 = 106442,13 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$\beta_{\text{CP}} = \frac{154000}{4500} + 120 = 152 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год},$$

$$I_{\text{AM1}} = \frac{4,4}{100} \cdot 105,688 + \frac{4}{100} \cdot 22,371 = 5,544 \text{ млн. руб},$$

$$I_{\text{AM2}} = \frac{4,4}{100} \cdot 92,664 + \frac{4}{100} \cdot 21,826 = 4,95 \text{ млн. руб},$$

$$I_{\text{ЭКС1}} = \frac{3}{100} \cdot 105,688 + \frac{2}{100} \cdot 22,371 = 3,618 \text{ млн. руб},$$

$$I_{\text{ЭКС2}} = \frac{3}{100} \cdot 92,664 + \frac{2}{100} \cdot 21,826 = 3,216 \text{ млн. руб},$$

$$I_{\text{Пот1}} = 106696,79 \cdot 152 \cdot 10^{-6} = 16,21 \text{ млн. руб},$$

$$I_{\text{Пот2}} = 106442,3 \cdot 152 \cdot 10^{-6} = 16,179 \text{ млн. руб},$$

$$I_1 = 5,544 + 3,618 + 16,218 = 25,38 \text{ млн. руб},$$

$$I_2 = 4,95 + 3,216 + 16,179 = 24,345 \text{ млн. руб},$$

$$З_1 = 0,12 \cdot 128,059 + 25,38 = 40,747 \text{ млн. руб},$$

$$З_2 = 0,12 \cdot 114,4899 + 24,345 = 38,0839 \text{ млн. руб},$$

Т.к. разница между вариантами составляет более 5%, то принимается второй вариант.

3.2 Определение потребляемой электроэнергии и ее потерь

В производственных цехах, где требуется непрерывный и точный контроль текущих параметров электрического тока, осуществляется обязательная установка амперметров. Эти высокоточные измерительные

приборы монтируются на всех вводах распределительных пунктов (РП) для обеспечения надежного мониторинга. Кроме того, амперметры устанавливаются на всех трансформаторах и отходящих линиях для обеспечения точного контроля их работы. Кроме того, амперметры необходимы для «установки на всех перемычках между секциями сборных шин для гарантии надежного функционирования. Их также монтируют в конденсаторных установках и на определённых, особо важных электроприёмниках. Таким образом, обеспечивается надёжный, всесторонний и непрерывный мониторинг функционирования всех данных компонентов системы» [24].

«Напряжение измеряется на каждой секции сборных шин распределительных пунктов (РП) и трансформаторных подстанций (ТП). На понижающих подстанциях измерение напряжения допускается только на стороне низшего напряжения. Это возможно при условии, что установка трансформатора напряжения на первичной стороне не требуется для выполнения других целей» [24].

«В трехфазных установках обычно измеряется одно междуфазное напряжение, что оказывается достаточно для контроля режимов работы. В сетях с изолированной нейтралью (напряжением 6–35 кВ) вольтметры используются для постоянного и непрерывного контроля состояния изоляции. Они подключаются к фазным напряжениям через измерительный трансформатор типа ЗНОЛП, который относится к секции распределительного пункта (РП)» [24].

«Учет электроэнергии на промышленных предприятиях делится на два типа: расчетный (коммерческий) и технический (контрольный). На данном заводе металлоконструкций для автоматического учета электроэнергии устанавливается система СИКОН (сетевой индустриальный контроллер). Эта система обеспечивает точный и надежный учет электрической энергии, затрачиваемой на нужды предприятия» [24].

Выводы по разделу 3.

В системе электроснабжения промышленного предприятия требуется осуществлять измерение текущих значений тока, напряжения и мощности. Эти измерения необходимы для получения более детализированных характеристик режимов работы всей системы, а также её отдельных компонентов.

Кроме того, такие измерения играют важную роль в обеспечении точного учёта потребляемой и вырабатываемой электроэнергии. Это, в конечном итоге, способствует повышению общей эффективности работы системы электроснабжения.

Оптимизация работы системы также достигается благодаря данным измерениям, что позволяет реализовать более точные и надёжные методы управления и контроля электропотребления.

Заключение

Исследование включало в себя разработку системы электроснабжения для завода металлоконструкций ООО «МеталлКомплект». В ходе проектирования была создана новая схема линий электропередач, что существенно улучшило функциональность предприятия.

Основное внимание было уделено проектированию схем освещения и размещения оборудования в цехах, что привело к повышению эффективности их работы. Для запуска рабочего оборудования выбраны электрические двигатели серии АИР, сочетаемые с магнитными пускателями серии ПМЛ.

Проведенный анализ показал, что общая электрическая нагрузка предприятия составляет 411,53 кВт, включая 2,9 кВт, потребляемые освещением одного цеха. Для оптимизации работы сети освещения было решено объединить схемы освещения нескольких цехов. Это позволило уменьшить длину используемого кабеля и равномерно распределить электрические нагрузки по сети.

В качестве силовых трансформаторов были установлены четыре «мощных трансформатора модели ТМЗ-630/10, полностью отвечающих энергетическим потребностям завода» [18].

Анализ вопроса о компенсации реактивной мощности показал, что «использование батарей компенсирующих конденсаторов в данном случае не требуется, что способствует сокращению затрат» [12]. Технико-экономический анализ показал, что второй вариант построения системы электроснабжения является наиболее выгодным и рациональным.

Таким образом, проект электроснабжения для завода металлоконструкций ООО «МеталлКомплект» соответствует современным требованиям и готов к внедрению на предприятии.

Список используемых источников

1. 1В340Ф30 – станок токарно-револьверный с ЧПУ [Электронный ресурс] : Официальный сайт ООО «Рубикон». URL: https://stanki-katalog.ru/sprav_1v340f30.htm (дата обращения: 07.05.2024 г.).
2. АИР112М2 7,5 кВт 3000 об/мин Асинхронный электродвигатель [Электронный ресурс] : Официальный сайт ООО «Рубикон». URL: https://stanki-katalog.ru/sprav_1v340f30.htm (дата обращения: 02.03.2024 г.).
3. Выбор автоматического выключателя [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Электромир». URL: https://electromirbel.ru/vybor_avtomaticheskogo_v (дата обращения: 04.03.2024 г.).
4. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Elec.Ru». URL: <https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/vybor-ust-v-pri-proektirovanii/> (дата обращения: 17.03.2024 г.).
5. Выбор мощности, тока и сечения проводов и кабелей [Электронный ресурс] : URL: <https://eds-perm.ru/blog/sovety/vybor-moshchnosti-toka-i-secheniya-provodov-i-kabeley/> (дата обращения: 21.03.2024 г.).
6. Выбор предохранителя и сечения провода [Электронный ресурс] : информационный ресурс «ЭлМарте». URL: <https://elmarkets.ru/blog/sovety-rokupatelyam/vybor-predokhranatelya-i-secheniya-provoda/> (дата обращения: 09.03.2024 г.).
7. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : образовательная социальная сеть «Nsportal.Ru». URL: <https://nsportal.ru/npo-spo/energetika-energeticheskoe-mashinostroenie-i-elektrotehnika/library/2020/09/27/vybor-chisla> (дата обращения: 15.03.2024 г.).

8. Завод строительных металлоконструкций [Электронный ресурс] : официальный сайт завода металлоконструкций ООО «МеталлКомплект». URL: <https://tzm-k.ru/> (дата обращения: 01.04.2024 г.).

9. Кабель АПВ 4×16 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Элькабель». URL: <https://www.elektro-company.ru/kabel-apv/apv-4x16/> (дата обращения: 12.03.2024 г.).

10. Кабель для двигателя [Электронный ресурс] : информационный ресурс «СКС электро». URL: <https://xn----jtbncduncbo1j.xn--plai/articles/kabel-dlya-dvigatelya/> (дата обращения: 11.03.2024 г.).

11. Как выбрать магнитный пускатель [Электронный ресурс] : информационный ресурс «RES.UA». URL: <https://res.ua/rus/blog-ru/kak-vybrat/yak-vybraty-magnitnyj-puskatel.html> (дата обращения: 03.03.2024 г.).

12. Как написать заключение в научной статье: подробная инструкция и примеры [Электронный ресурс] : информационный ресурс «АПНИ». URL: <https://apni.ru/blog/kak-pisat-zaklyuchenie-nauchnoj-stati> (дата обращения: 10.04.2024 г.).

13. Метод сравнительной эффективности приведенных затрат (метод минимума затрат) [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Finsociality.Ru». URL: <http://www.finsociality.ru/sofs-703-1.html> (дата обращения: 09.04.2024 г.).

14. Правила выбора электродвигателя [Электронный ресурс] : Официальный сайт «СЗЭМО» URL: <https://www.szemo.ru/press-tsentr/article/pravila-vybora-elektrodvigatelya/> (дата обращения: 06.05.2024 г.).

15. Пример расчета и выбор компенсирующего устройства на шинах низшего напряжения КТП [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Online Electric». URL: https://online-electric.ru/theory/cb_sample1.php (дата обращения: 07.04.2024 г.).

16. Расчет мощности и выбор электродвигателя для повторно-кратковременного и кратковременного режимов работы [Электронный ресурс] : информационный ресурс «StudFile» ООО «Рубикон». URL: <https://studfile.net/preview/5648358/page:24/> (дата обращения: 02.03.2024 г.).

17. Расчет освещения помещения [Электронный ресурс] : информационный ресурс «TERRA». URL: <https://terra-led.ru/reviews/detail/raschet-osveshcheniya-pomeshcheniya/> (дата обращения: 13.03.2024 г.).

18. Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях. Методические указания. СТО ДИВГ-058 [Электронный ресурс] : URL: https://www.mtrele.ru/files/project/raschet_ustavok/raschet_tokov_korotkih_zamykanij_i_zamykanij_na_zemlyu_v_rasp_redelitelnyh_setyah.pdf (дата обращения: 20.03.2024 г.).

19. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс] : информационный ресурс «КПМ». URL: <https://complectprom.ru/calc/> (дата обращения: 08.04.2024 г.).

20. Расчет электрических нагрузок [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Школа для электрика». URL: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/1162-raschet-jelektricheskikh-nagruzok.html> (дата обращения: 10.03.2024 г.).

21. Реконструкция системы электроснабжения предприятия. Объем проектной документации [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Проектант». URL: <https://www.proektant.org/index.php?topic=38750.0> (дата обращения: 03.04.2024 г.).

22. Технико-экономический расчет трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] : информационный ресурс «StudFiles». URL: <https://studfile.net/preview/4617227/page:8/> (дата обращения: 27.03.2024 г.).

23. Троллейный шинопровод. Расчет линии питания. [Электронный ресурс] : URL: https://ital-tecno.com.ua/image/pdf_cat/SH.pdf (дата обращения: 13.03.2024 г.).

24. Учет и экономия электроэнергии [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Marketelectro.Ru». URL: <https://www.marketelectro.ru/upload/File/sprav/sprav34.htm> (дата обращения: 10.04.2024 г.).

25. Черненко Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции. Выполнение курсового проекта: учеб.-метод. пособие /Ю.В. Черненко. Тольятти: ТГУ, 2020. – 1 оптический диск.

26. Шкаф распределительный силовой ШРС-1-24У3 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «KazElectroSnab». URL: <https://iicom.kz/production/shkafy-raspredeleniya-0-4-kv/shkaf-raspredelitelnyy-silovoy-shrs-1-24uz/> (дата обращения: 05.04.2024 г.).

27. A Guide to Electrical Load Calculation [Electronic resource] : URL: <https://www.familyhandyman.com/article/electrical-load-calculation/> (дата обращения: 14.04.2024 г.).

28. Luminous Intensity Distribution Curve [Electronic resource] : URL: <https://www.trilux.com/en/lighting-practice/lighting-equipment/luminaires/photometric-classification/luminous-intensity-distribution-curve/> (дата обращения: 20.04.2024 г.).

29. МТКН МТКФ 312-6 crane electric motor 15 kW 1000 rpm with short-circuited rotor IM 1001 [Electronic resource] : URL: https://www.ekvives.com/en/index.php?route=product/product&path=61&product_id=124 (дата обращения: 12.04.2024 г.).

30. The working principle and selection of thermal relay [Electronic resource] : URL: <https://www.quisure-circuit-breaker.com/blog-technology-the->

working-principle-and-selection-of-thermal-relay.html (дата обращения: 15.04.2024 г.).

31. Unit Investment Cost Indicators – Project Support to Acer [Electronic resource] : URL: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/UIC_report_2023_corrigendum.pdf (дата обращения: 18.04.2024 г.).