

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)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство механического корпуса машиностроительного завода»

Студент

С.Б. Сабзкадамов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Электрооборудование и электрохозяйство механического корпуса машиностроительного завода».

Выпускная работа состоит из 65 страниц, заключения, в том числе 4 рисунка, 22 таблицы, списка используемых источников информации, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1. Ключевым вопросом дипломной работы является изучение электрооборудования расположенного в механическом корпусе и на основе проведенного анализа разработка системы электроснабжения, более надежной и экономичной.

Целью бакалаврской работы является создание надежной и экономичной системы снабжения электроприемников механического корпуса машиностроительного завода электроэнергией требуемого качества.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: введение, изучение технологического процесса применяемого в механическом корпусе машиностроительного завода; выбор и расчёт электродвигатели заготовительного цеха данного предприятия, а также расчет и выбор защитных и коммутационных аппаратов, проверка аппаратов на динамическую стойкость; расчет и выбор кабелей и проводов соединяющих распределительные пункты с электроприемниками; построение картограммы нагрузок и определение условного центра электрических нагрузок; расчет электрической сети системы освещения заготовительного цеха; выбор трансформаторов, расчет компенсации реактивной мощности для всего предприятия; расчёт токов короткого замыкания; проведение технико-экономических расчетов.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна для многих промышленных предприятий занимающихся производством продукции, в результате механической обработки сырья и полуфабрикатов.

Abstract

The name of the bachelor's work: "Electrical equipment and electrical facilities of the mechanical building of a machine-building plant."

The final work consists of 65 pages, a conclusion, including 4 figures, 22 tables, a list of used information sources, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the thesis is the study of electrical equipment located in a mechanical building and, based on the analysis, the development of a power supply system that is more reliable and economical.

The aim of the bachelor's work is to create a reliable and economical system for supplying electrical receivers of the mechanical building of a machine-building plant with electricity of the required quality.

Graduation work can be divided into the following logically interconnected parts: introduction, study of the technological process used in the mechanical building of a machine-building plant; selection and calculation of electric motors of the procurement workshop of the enterprise, as well as calculation and selection of protective and switching devices, checking the devices for dynamic stability; calculation and selection of cables and wires connecting distribution points to power consumers; mapping loads and determining the conditional center of electrical loads; calculation of the electrical network of the lighting system of the procurement workshop; selection of transformers, calculation of reactive power compensation for the entire enterprise; calculation of short circuit currents; technical and economic calculations.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant for many industrial enterprises involved in the production of products as a result of the mechanical processing of raw materials and semi-finished products.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ механического корпуса машиностроительного предприятия	7
1.1 Краткие сведения о механическом корпусе	7
1.2 Характеристика проектируемого корпуса и расположенных в нем потребителей электроэнергии	7
1.3 Выбор объекта для расчета, выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов, кабелей и проводов.....	9
2 Расчет внутрицеховой электрической сети	21
2.1 Определение электрических нагрузок	21
2.2 Расчет внутрицеховой электрической сети для заготовительного цеха ...	25
2.3 Выбор цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств.....	35
2.4 Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок.....	49
3 Расчет электрической сети освещения.....	51
4 Техничко-экономические показатели проекта.....	59
Заключение	62
Список используемых источников.....	63

Введение

Системы подачи электричества, обеспечивающие электричеством промышленные предприятия, существенно влияют на работу электроприводов, системы освещения, преобразовательных установок и промышленных механизмов, в итоговом счете, на весь технологический процесс. Надежное и мало затратное снабжение электро приемников электричеством требуемого качества – необходимое условие функционирования любого потребителя электроэнергии. Особенно это важно для промышленных предприятий.

Системы электроснабжения состоят из комплекса электротехнического оборудования высокого и низкого уровня напряжений. Главное назначение системы – обеспечение качественной подачи и преобразования электрической энергии до уровня питания цеховых электро приемников. Для более экономичного использования рекомендуется использовать рабочее напряжение высокого уровня для мощных электро потребителей, таких как термическая печь, лазерная резка и другие.

При проектировании системы электроснабжения использованы типовые решения с использованием серийного комплектного оборудования, а также с применением современной вычислительной машины. Пояснительная записка выпускного проекта бакалавра оформлена с помощью программы MS Word, графическая часть – в программе Компас-3D. Показанные в проекте материалы и графическая часть базируются на соответствующей нормативной информации и справочных данных.

Системой электроснабжения (СЭС) называется совокупность электроустановок, используемых для обеспечения электро приемников электроэнергией. Она содержит сети напряжением менее 1 кВ и выше 1 кВ, связанные между собой электрическими трансформаторными подстанциями.

Объектом разработки является схема электроснабжения механического корпуса машиностроительного завода.

В механическом корпусе производятся технологические процессы, включающие в себя изготовление разнообразных несущих конструкций, деталей, узлов и механизмов.

Целью бакалаврской работы является создание надежной и экономичной системы снабжения электро приемников механического корпуса машиностроительного завода электроэнергией требуемого качества.

При проектировании был применен системный подход. Также в процессе разработки конструктивного исполнения схем электроснабжения использовалось типовое оборудование.

Все заимствованные из литературных и других источников теоретические и методологические положения и концепции сопровождаются ссылками на их авторов.

1 Анализ механического корпуса машиностроительного предприятия

1.1 Краткие сведения о механическом корпусе

В механическом корпусе производятся технологические процессы, включающие в себя изготовление разнообразных несущих конструкций, деталей, узлов и т.д.

Для изготовления продукции в корпус поступают полуфабрикаты: рулоны и листы стали, различный прокат. Полученные после обработки полуфабрикаты, при необходимости, собираются в сборочные единицы и узлы, в том числе посредством сварки, их поверхности могут подвергаться гальвано обработке или окрашиванию.

1.2 Характеристика проектируемого корпуса и расположенных в нем потребителей электроэнергии

На рассматриваемом машиностроительном предприятии номинальная мощность электродвигателей находится в пределах от 0.55 кВт до 160 кВт.

По току различают потребителей электричества, работающие:

- от сети переменного I нормальной промышленной $f= 50$ Гц;
- от сети АС тока пониженной и повышенной частоты;

Подача электричества большинству электро приёмников производится от сети АС 3-х фазного тока нормальной частоты $f=50$ Гц. Электро приёмники постоянного I получают питание от преобразователей переменного I в постоянный.

По напряжению приёмники электроэнергии классифицируют на две группы:

– приёмники электричества, которые питаются непосредственно от сети 6 кВ;

– приёмники электричества, которые питаются от напряжения 400 – 690 В, что более экономически выгодно.

Режимы работы:

- продолжительный режим (S1);

- кратковременный режим работы (S2);

- повторно-кратковременный режим (S3).

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на три категории:

Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. К этой группе можно отнести: аварийное освещение, некоторые насосы высокого давления и т.д., установки аварийного электрического освещения в больших цехах. Перерыв электроснабжения может повлечь опасность для жизни людей при их эвакуации из помещений.

Электроприемники второй категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта. К этой группе можно отнести: вентиляторы, нагревательные элементы и др., а также подъемно-транспортные устройства всех крупных цехов, перерыв в электроснабжении которых может повлечь массовый простой промышленного транспорта и массовый недоотпуск продукции.

Электроприемники третьей категории – все остальные электроприемники, не подходящие под определения первой и второй категории. Это

вспомогательные и подсобные производства, например: бытовые, места тарного хранения и вспомогательные помещения.

1.3 Выбор объекта для расчета, выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов, кабелей и проводов

Так как рассматриваемый механический корпус очень большой, для расчета и дальнейшего проектирования электрооборудования и системы электроснабжения я выбрал один из его цехов – заготовительный.

Основную часть электро приемников цеха составляют обмоточные машины, волочильные станы, сварочные аппараты, вентиляторы, характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики электро приемников рассматриваемого цеха

Наименование оборудования	Мощность, кВт	№ по плану
1	2	3
Универсальный	3.55	7,9,11,13
Комбинированный станок	3.75	8,10,12,14
Ленточнопильный станок	6.05	15-18
Электродпечь	450.0	47,48
Установка лазерной резки	110.5	37,38
Форматно-раскроечный станок	5.5	23-30
Машина контактная	12.2	41,42
Пульт управления установки лазерной резки	0.55	21,22
Установка плазменной резки	220.5	33,34
Станок для резки металла	7.7	19,20
Установка термической резки	176.0	35,36
Стыко-сварочный аппарат	10.0	31,32
Машина холодной сварки	5.0	43,44
Машина стыко-сварочная	10.0	39,40
Машина контактной сварки	10.0	45,46
Станок гравировальный	0.55	1,2
Трансформатор сварочный	10.0	49-52
Станок трубогибочный	10.5	3-6
Мостовой кран	67.1	53
Вентилятор	22.0	54-57

Условия применения электродвигателей - номинальная мощность

электродвигателя P_H должна быть больше или равна мощности приводного механизма $P_{\text{МЕХ}}$ (1)

$$P_{\Sigma\text{эд}} \geq P_{\text{мех}} . \quad (1)$$

Номинальная мощность повторно-кратковременного режима работы (2):

$$P_H = P_{\Pi} \cdot \sqrt{ПВ_{\Pi}} , \quad (2)$$

где P_H – номинальная мощность электродвигателя, Вт;

$ПВ_{\Pi}$ – продолжительность работы в относительных единицах измерения.

Выбираю к применению асинхронные двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором типа АИР с оборотами вращения 1000, 1500, 3000 об/мин и напряжением 380 В.

На примере форматно-раскроечного станка покажем выбор электродвигателя.

В соответствии с условием (1) для электродвигателя имеем $P_H \geq 5.0$ кВт. Следовательно по каталогу электротехнической продукции фирмы “ТехноВид” выбираем электродвигатель АИР112М4 с данными:

- $P_H = 5.5$ кВт;
- $\cos \varphi_H = 0.86$;
- $\eta_H = 85.5\%$;
- $I_{\Pi}/I_H = 7$.

Результаты выбора с номинальными данными электродвигателей, сведения о количестве электро приемников на предприятии, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты выбора электродвигателей

Позиционное обозначение	Наименование оборудования	Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальный КПД, $\eta_{ном}$	Номинальный, $\cos\varphi_{ном}$	$I_{пуск}/I_{ном}$
1	2	3	4	5	6	7
7,9,11,13	Универсальный станок	АИР63В2	0.55	75	0.85	5
		АИР100S4	3	82	0.83	7
8,10,12,14	Комбинированный станок	АИР71А2	0.75	78.5	0.89	6
		АИР100S4	3	82	0.83	7
15-18	Ленточнопильный станок	АИР63В2	0.55	75	0.85	5
		АИР112М4	5.5	85.5	0.86	7
47,48	Электродпечь	АИР180М8	15	89	0.82	5.5
37,38	Установка лазерной резки	АИР180М4	30x2+30	92	0.87	7
		АИР180М8	15	89	0.82	5.5
		АИР112М4	5.5	85.5	0.86	7
23-30	Форматно-раскроечный станок	АИР112М4	5.5	85.5	0.86	7
41,42	Машина контактная	-----	12.2	---		---
21,22	Пульт управления установки лазерной резки	-----	0.55	---		---
33,34	Установка плазменной резки	АИР355S6	160	94	0.9	6.5
		АИР180М8	15+40	89	0.82	5.5
		АИР132S6	5.5	85	0.8	7
19,20	Станок для резки металла	АИР112М4	5.5	85.5	0.86	7
		АИР90L4	2.2	81	0.83	6.5
35,36	Установка термической резки	АИР315М8	110	93.5	0.85	6
		АИР180М8	15+40	89	0.82	5.5
		АИР132М4	11	88.5	0.85	7.5
31,32	Стыко-сварочный аппарат	-----	10	---		---
43,44	Машина холодной сварки	-----	5	---		---
39,40	Машина стыко-сварочная	-----	10	---		---

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
45,46	Машина контактной сварки	-----	10	---		---
1,2	Станок гравировальный	АИР71В6	0.55	68.5	0.7	4.6
49-52	Трансформатор сварочный	-----	10	---		---
3-6	Станок трубогибочный	АИР132М6	7.5	85.5	0.81	7
		АИР112МА6	3	81	0.76	6
53	Мостовой кран	МТКФ 011-6	8.5	60	0.74	2.6
		МТКФ 012-6	13.5x2	65	0.77	2.7
		МТКФ 112-6	31.6	74	0.74	3.4
54-57	Вентилятор	АИР180S2	22	90.5	0.89	7

На примере форматно-раскроечного станка покажем расчет электродвигателя.

Номинальный ток трёхфазного электродвигателя:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}, \quad (3)$$

$$I_{ном} = \frac{5.5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86 \cdot 0.85} = 10.86 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя:

$$I_{пуск.i} = K_{пуск.i} \cdot I_{ном.i}, \quad (4)$$

$$I_{пуск} = 7 \cdot 10.86 = 76.02 \text{ А.}$$

По формулам (3) и (4) расчёт производится у всех остальных электродвигателей технологического оборудования, и результаты расчёта покажем в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Расчётные номинальные токи трёхфазных электродвигателей

Позиционное обозначение	Наименование оборудования	Тип двигателя	Номинальный ток, А	Пусковой ток, А
1	2	3	4	5
7,9,11,13	Универсальный станок	АИР63В2	1.25	6.23
		АИР100S4	6.36	44.54
8,10,12,14	Комбинированный станок	АИР71А2	1.56	9.36
		АИР100S4	6.36	44.54
15-18	Ленточнопильный станок	АИР63В2	1.25	6.23
		АИР112М4	10.86	76.02
47,48	Электродпечь	АИР180М8	29.67	163.17
37,38	Установка лазерной резки	АИР180М4	54.1	378.7
		АИР180М8	29.67	163.17
		АИР112М4	10.86	76.02
23-30	Форматно-раскройный станок	АИР112М4	10.86	76.02
33,34	Установка плазменной резки	АИР355S6	273.0	1774.4
		АИР180М8	29.67	163.17
		АИР132S6	11.67	81.72
19,20	Станок для резки металла	АИР112М4	10.86	76.02
		АИР90L4	4.72	30.7
35,36	Установка термической резки	АИР315М8	200.9	1205.1
		АИР180М8	29.67	163.17
		АИР132М4	21.23	159.2
1,2	Станок гравировальный	АИР71В6	1.67	7.67
3-6	Станок трубогибочный	АИР132М6	15.72	110.1
		АИР112МА6	7.03	42.2
53	Мостовой кран	МТКФ 011-6	27.63	71.84
		МТКФ 012-6	38.93	105.1
		МТКФ 112-6	80.3	273.0
54-57	Вентилятор	АИР180S2	39.64	277.5

Для защиты вышеперечисленных электродвигателей выбрал автоматические выключатели серии GV2-ME, спроектированные специально для защиты двигателей.

Они обеспечивают защиту от перегрузки с помощью биметаллического теплового элемента и защиту от короткого замыкания с помощью электромагнитного элемента, которые служат для ручных коммутаций (несколько коммутаций в смену) и защиты электродвигателей от аварийных токов и перегрузок.

Рабочие токи воздушного автомата $I_{\text{нома}}$ и его расцепителя $I_{\text{ном.р}}$ выбираются по следующим условиям:

$$I_{\text{нома}} \geq I_{\text{ном.а}}, \quad (5)$$

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ном.а}}. \quad (6)$$

Ток отсечки электромагнитного защитного механизма $I_{\text{ср.р}}$ выбирается по условию:

$$I_{\text{ср.р}} = 1,25 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (7)$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый I, который принимается в соответствии с $I_{\text{пуск}}$ при применении в цепи одиночного электродвигателя, А.

В линиях ответвления, идущего к группе электроприёмников, пиковый ток рассчитывается по формуле (8):

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.м.}} + (I_{\text{р.г.}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном.м.}}), \quad (8)$$

где $I_{\text{пуск.м.}}$ – ток во время пуска наибольшего по мощности электродвигателя из группы, А;

$I_{\text{р.г.}}$ – расчётный I группы электро приёмников, А;

$I_{\text{ном.м.}}$ – номинальный I наибольшего по току электродвигателя из линии, А.

Ток настройки электромагнитного расцепителя, (9):

$$I_{ср.р} = K_{т.о.} \cdot I_{ном.р.}, \quad (9)$$

где $K_{т.о.}$ – кратность тока отсечки.

Из (9) с учётом (6) приведенное значение кратности I отсечки находится по выражению:

$$K_{т.о.} = \frac{1.25 \cdot I_{пик}}{I_{ном.р.}}, \quad (10)$$

Расчет и выбор автомата выполним на примере форматно-раскроечного станка.

Из условий (5), (6) имеем:

$$I_{ном.а.} \geq 10.86 \text{ А}; \quad I_{ном.р.} \geq 10.86 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель серии GV2-ME16 $I_{ном.а.} = 14 \text{ А}$ с электромагнитным расцепителем на $I_{ном.р.} = 12 \text{ А}$.

Определяем значение кратности I отсечки по формуле (11)

$$K_{т.о.} \geq \frac{1.25 \cdot 76.02}{12} = 7,9. \quad (11)$$

Выбираем из [15] стандартное значение $K_{т.о.} = 10$. В этом случае по (9) $I_{ср.р.} = 10 \cdot 12 = 120 \text{ А}$. Проверяем по (7) невозможность срабатывания аппарата при пуске двигателя:

$$I_{ср.р.} \geq 1.25 \cdot 76.02 = 95.0 \text{ А};$$

$$120 \text{ А} > 95.0 \text{ А}.$$

Аналогичным путем производим расчет для остальных электродвигателей промышленного оборудования, и итог расчёта сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор автоматов защиты электродвигателей

Мощность двигателя	Автоматический выключатель					Тепловое реле перегрузки		Контактор	
	Тип	<i>I_{ном.а.}</i> , <i>A</i>	<i>I_{ном.р.}</i> , <i>A</i>	Кратно сть тока отсечк и по отноше нию к <i>I_{ном.р}</i>	Диапазо н уставок встроен ных тепловы х расцепи телей	Тип	Диапаз он уставо к	Тип	<i>I_{ном.}</i> <i>к, A</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.55	GV2- ME06	1.6	1.1	10 (22.5)	1-1.6	-	-	LC2 - D09	9
0.75	GV2- ME07	2.5	2.2	10 (33.5)	1.6-2.5	-	-	LC2 - D09	9
2.2	GV2- ME10	6.3	5.2	10 (78)	4-6.3	-	-	LC2 - D09	9
3	GV2- ME14	10	9	10 (128)	6-10	-	-	LC1 - D12	12
5.5	GV2- ME16	14	12	10 (170)	9-14	-	-	LC2 - D12	12
7.5	GV2- ME20	18	15	10 (223)	13-18	-	-	LC2 - D18	18
11	GV2- ME22	25	22	10 (327)	20-25	-	-	LC2 - D25	25
15	GV2- ME32	32	28	10 (416)	24-32	-	-	LC1 - D32	32
30	NS80H MA	50	44	12 (880)	-	LRD- 3359	37-50	LC1 - D50	50

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
55	NS160 HMA	150	107	10 (1500)	-	LRD- 4367	95-120	LC1 - D11 5	115
110	NS250 HMA	220	202	10 (2420)	-	LR9- F5371	132- 220	LC1 - F22 5	225
160	NS400 HMA	320	275	10 (3840)	-	LR9- F7375	200- 330	LC1 - F33 0	330

Произведём выбор кабеля, проложенного от шкафов до технологического оборудования проектируемого цеха.

Проводники линейных сетей всех типов и назначений первоначально принимаются, а затем проверяются на допустимый нагрев продолжительным расчётным током I_p по условию

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{I_p}{K_n}; \quad (12)$$

где K_n – коэффициент приведения на практические условия прокладки проводов и линий.

Выбранные по допустимому току сечения проводников проверяются на их соответствие воздушным автоматам, по выполнению условия

$$I_{\text{доп.}} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_n}; \quad (13)$$

где K_3 – кратность продолжительного допустимого тока линии в сравнении с номинальным I или с током уставки защитного прибора;

I_3 – ток срабатывания аппарата, А.

В качестве I_3 принимается:

– I_6 – номинальный ток плавкой вставки при защите предохранителем, причём $K_3=0.33$ (не требует защиты от перегрузки);

– $I_{н.р.}$ – номинальный I расцепителя, причём $K_3=1$.

Если фактические условия прокладки линий и кабелей близки к номинальным, то величина $K_n=1$, и формулы (12) и (13) упрощаются:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p; \quad (14)$$

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3. \quad (15)$$

По выражению (14) допускается применение ближайшего сечения провода с меньшим значением, но не настолько, чтобы не уложиться в условия нагрева расчётным током.

На основании вышесказанного покажем выбор кабеля для остроильно-затяжного станка.

Принимаем поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов по [6] $K_n=1$ в зависимости от допустимой температуры $t_{\text{доп}}=65^\circ\text{C}$ и фактической температуры проектируемого цеха $t_{\text{факт}}=25^\circ\text{C}$.

Сечения проводов определяем по условию (12):

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{10.86}{1.0} = 10.86 \text{ А.}$$

Выбираем по П4.3, стр112 [2] четырехжильный кабель площадью поперечного сечения 2.5 мм^2 , проложенный открыто, для которого $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$. Таким образом, выбираем кабель АВБбШнг (4х2.5). Проверим его на допустимый ток:

$$I_{доп} \geq \frac{1.0 \cdot 12}{1.0} = 12 \text{ А.}$$

Итак, кабель подходит по двум условиям, следовательно, кабель выбран верно.

Аналогичный выбор произведём для остального технологического оборудования данного цеха, и результаты сведём в таблицу 5

Таблица 5 – Выбор кабеля

Позиционное обозначение	Наименование оборудования	Номинальная мощность, кВт	Марка кабеля	Сечение жилы, мм ²	Допустимый ток, I _{доп} , А.
1	2	3	4	5	6
7,9,11,13	Универсальный станок	3.55	АВБбШнг	2.5	19
8,10,12,14	Комбинированный станок	3.75	АВБбШнг	2.5	19
15-18	Ленточнопильный станок	6.05	АВБбШнг	2.5	19
47,48	Электропечь	450	АВБбШнг	2x240	343
37,38	Установка лазерной резки	110.5	АВБбШнг	120	219
23-30	Форматно-раскроечный станок	5.5	АВБбШнг	2.5	19
41,42	Машина контактная	12.2	АВБбШнг	10	46
21,22	Пульт управления установки лазерной резки	0.55	АВБбШнг	2.5	19
33,34	Установка плазменной резки	220.5	АВБбШнг	2x120	219
19,20	Станок для резки металла	7.7	АВБбШнг	2.5	19

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6
35,36	Установка термической резки	176	АВБбШнг	240	343
31,32	Стыко-сварочный аппарат	10	АВБбШнг	10	46
43,44	Машина холодной сварки	5	АВБбШнг	2.5	19
39,40	Машина стыко-сварочная	10	АВБбШнг	10	46
45,46	Машина контактной сварки	10	АВБбШнг	10	46
1,2	Станок гравировальный	0.55	АВБбШнг	2.5	19
49-52	Трансформатор сварочный	10	АВБбШнг	10	46
3-6	Станок трубогибочный	10.5	АВБбШнг	4.0	27
53	Мостовой кран	67.1		120	219
54-57	Вентилятор	22	АВБбШнг	10	46

Выводы по разделу 1.

В данном разделе рассмотрены особенности технологического процесса в механическом корпусе машиностроительного завода, дана краткая характеристика проектируемого корпуса и расположенных в нем потребителей электроэнергии, произведен выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов.

2 Расчет внутрицеховой электрической сети

2.1 Определение электрических нагрузок

Расчётная реактивная мощность нагрузки цеха определяется (16)

$$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n \kappa_{ui} \cdot P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i; \quad (16)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_i$ – значение коэффициента мощности потребителей.

Расчётная активная осветительная нагрузка, кВт, определяемая по (17):

$$P_{осв} = K_{c.i} \cdot K_{ПРАi} \cdot p_{уд.i} \cdot F \cdot 10^{-3}; \quad (17)$$

где F – площадь, м^2 , определяемая $F = A \cdot B$;

A, B – габариты цеха в генплане, м (см. таблицу 6);

K_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$K_{ПРАi}$ – коэффициент, учитывающий потери в лампе;

$p_{уд}$ – удельная мощность равномерного освещения на 1 м^2 помещения, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Принимаем для нормативной освещённости $E=100\text{лк}$:

- $\rho_n=0,5$;

- $\rho_c=0,3$;

- $\rho_p=1,5$;

- $K=1,5$;

- $Z=1,1$.

Таблица 6 – Исходные данные расчёта освещения по цехам

Наименование цеха	$A, м$	$B, м$	$F, м^2$	$P_{уд}, \text{Вт/м}^2$	$E_{норм,лк}$
1.Склад	68	40	2720	13,0	75
2.Обработывующий	44	36	1584	15,6	300
3.Заготовительный	70	30	2100	20,8	300
4.Гальванический	68	40	2720	15,4	300
5.Сборочный	72	72	5184	20,8	400
6.Компрессорная	32	16	512	17,4	100
7.Насосная	16	16	256	21,4	100
8.Окрасочный	68	40	2720	28,3	200

Значение удельного потребления в каждом отдельном случае находят из расчетной формулы (18)

$$P_{уд} = \frac{P_{ум} \cdot E_H}{\eta \cdot 100}; \quad (18)$$

где $P_{ум}$ – табличная величина удельной мощности

освещения;

E_H – нормированная освещенность;

η – КПД выбранного светильника в относительных единицах.

Реактивная часть осветительной нагрузки цеха, квар, (19)

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \varphi_0, \quad (19)$$

Расчетная активная, реактивная, полная нагрузки:

$$P_{рн} = P_c + P_{осв}, \quad (20)$$

$$Q_{pH} = Q_c + Q_{ocb}, \quad (21)$$

$$S_p = \sqrt{P_{pH}^2 + Q_{pH}^2}. \quad (22)$$

Результат расчета сведен в таблицу 7.

Таблица 7 – Результат выбора силовых осветительных нагрузок

Цех	$P_{уст.с.}$, кВт	Оборудование	Мощность P , кВт	Мощность наибольшего ЭП $P_{H\max}$, кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$
1.Склад	1100	ПТУ	700	70	0.2	0.7
		Вентиляция	400		0.3	0.8
2.Обрабатывающий	2100	Металлорежущие станки	1100	150	0.16	0.6
		Сварочное оборудование	500		0.25	0.6
		ПТУ	300		0.3	0.7
		Вентиляция	200		0.6	0.8
3.Заготовительный	2360	Кран мостовой	70	160	0.4	0.5
		Установки резки	1000		0.22	0.65
		Станки	300		0.16	0.6
		Печи термические	900		0.75	1
		Вентиляция	90		0.4	0.8
4.Гальванический	1900	Гальванические уст-ки	1100	80	0.4	0.8
		ПТУ	400		0.3	0.7
		Вентиляция	400		0.7	0.8
5.Сборочный	1800	Токарные станки	400	100	0.16	0.6
		Фрезерные станки	500		0.16	0.6
		Сварочное оборудование	300		0.25	0.6
		ПТУ	400		0.3	0.7
		Вентиляция	200		0.6	0.8
6.Компрессорная	800	Компрессоры	600	150	0.7	0.85
		Вентиляция	200		0.4	0.8
7.Насосная	300	Насосы	200	45	0.7	0.85
		Вентиляция	100		0.6	0.8
8.Окрасочный	1700	Окрасочное оборуд-е	400	100	0.5	0.80
		Сушильные шкафы	500		0.75	1
		ПТУ	400		0.6	0.7
		Вентиляция	400		0.7	0.80

В качестве примера приведем расчёт электрических нагрузок склада проектируемого цеха:

$$K_{и} = \frac{700 \cdot 0.2 + 400 \cdot 0.3}{700 + 400} = 0.236,$$

$$n_{э} = \frac{2 \cdot 1100}{70} = 31,$$

$$P_p = 0.75 \cdot (0.2 \cdot 700 + 0.3 \cdot 400) = 195.0 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 0.75 \cdot (0.2 \cdot 700 \cdot 1.02 + 0.3 \cdot 400 \cdot 0.75) = 174.6 \text{ квар.}$$

$$Q_{осв} = 21.28 \cdot 0 = 0 \text{ квар.}$$

$$P_{рн} = 195.0 + 21.28 = 216.28 \text{ кВт,}$$

$$Q_{рн} = 174.6 + 0 = 174.6 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{216.28^2 + 174.6^2} = 277.97 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

$$p_{уд} = \frac{11.3 \cdot 75}{100 \cdot 0.65} = 13.0 \text{ кВт,}$$

$$P_{осв} = 1.0 \cdot 0.6 \cdot 13.0 \cdot 2720 \cdot 10^{-3} = 21.28 \text{ кВт.}$$

Результаты расчётов для других цехов сведём в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчёт электрических нагрузок по цехам

Параметр	1. Склад	2. Обрабатывающий	3. Заготовительный	4. Гальванический	5. Сборочный	6. Компрессорная	7. Насосная	8. Окра – Сочный
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sum P_{н.і} \cdot K_{иі}$, кВт	260	511	1007	840	459	500	200	1095
$\sum P_{н.і} \cdot K_{иі} \cdot \text{tg} \varphi_{і}$, квар	232.8	583.1	396.7	662.4	504.4	320.3	131.8	604.8

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{н гр}$	0.236	0.243	0.427	0.442	0.255	0.625	0.667	0.644
$n_э$	31	28	29	47	36	10	13	34
K_p	0.75	0.75	0.763	0.771	0.75	0.9	0.9	0.85
$P_p, кВт$	195	383.3	768.7	647.7	344.3	450	180	930.8
$Q_p, квар$	174.6	437.4	302.8	510.8	378.3	288.3	118.6	514.1
$S_p, кВА$	261.8	581.5	826.2	824.8	511.5	534.4	215.6	1063.3
$F, м^2$	2720	1584	2100	2720	5184	512	256	2720
$p_y, Вт/м^2$	11.3	3.9	3.9	3.9	3.9	11.3	13.9	11.3
$P_{y о}, Вт/м^2$	13.0	15.6	15.6	15.4	20.8	17.4	21.4	28.25
$K_{со}$	0.6	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1	0.95
$K_{пра}$	1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1	1
$P_{pо}, кВт$	21.28	25.82	34.23	43.76	112.7	8.456	5.474	73.0
$\cos \varphi$	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1
$Q_{pо}, квар$	0	44.73	59.30	75.79	195.2	0	0	0
$P_p+P_{p о}, кВт$	216.3	409.07	802.9	691.4	456.9	458.5	185.5	1003.7
$Q_p+Q_{p о}, квар$	174.6	482.09	362.1	586.6	573.5	288.3	118.6	514.1
$S, кВА$	277.97	632.26	880.81	906.7	733.26	541.55	220.15	1127.8

2.2 Расчет внутрицеховой электрической сети для заготовительного цеха

Питание заготовительного цеха будем осуществлять от комплектной двухтрансформаторной подстанции 2х1000 производства МЭЗ.

Двухтрансформаторная КТП состоит из:

- вводного устройства со стороны высшего напряжения (УВН);
- силовых трансформаторов ;
- распределительного устройства низкого напряжения (РУНН), состоящего из шкафа стыковки с трансформатором ;
- шкафа рабочего ввода;

- секционного шкафа ;
- шкафа отходящих линий ;
- шкафа управления.

Питающие сети до 1 кВ выполняем по смешанной схеме. Её использование является наиболее приемлемым, поскольку электрооборудование разобщено по цеху. РП цеха составим из щитов серии ЩО 70. Цех относится к категории пожароопасных помещений П-Па.

Питание электрических печей будем осуществлять непосредственно от РУНН. Остальные электроприемники разобьем на группы.

В качестве примера произведем расчет электрических нагрузок для группы А1. Данные об электроприёмниках приведены в таблице 9. Групповой средневзвешенный коэффициент использования вычисляется по формуле:

$$K_u = \frac{\left(\sum_{i=1}^n k_{ui} \cdot P_{номi} \right)}{\sum_{i=1}^n P_{номi}}. \quad (23)$$

$$K_{u, A1} = \frac{0.16 \cdot (3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2) + 0.2 \cdot (10 \cdot 2) + 0.4 \cdot 22}{3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 22} = 0.22.$$

Таблица 9 – Группы электроприемников цеха

Группа	Позиционное обозначение	Наименование оборудования	Номинальная мощность, кВт	$K_{и}$	Номинальный, $\cos\varphi_{ном}$	$tg\varphi$
1	2	3	4	5	6	7
A1	7,9	Универсальный станок	3.55	0,16	0,6	1.33
A2	11,13					
A1	8,10	Комбинированный станок	3.75	0.16	0.6	1.33
A2	12,14					
A1	15,16	Ленточнопильный станок	6.05	0.16	0.6	1.33
A2	17,18					

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
	47	Электропечь	450	0.75	1	0
	48					
A4	37	Установка лазерной резки	110.5	0.22	0.65	1.17
A6	38					
A3	23,24	Форматно-раскроечный станок	5.5	0.16	0.6	1.33
A4	25,26					
A5	27,28					
A6	29,30					
A4	41	Машина контактная	12.2	0.2	0.4	2.29
A6	42					
A3	21	Пульт управления установки лазерной резки	0.55	0.2	0.9	0.48
A5	22					
	33	Установка плазменной резки	220.5	0.22	0.65	1.17
	34					
A1	19	Станок для резки металла	7.7	0.16	0.6	1.33
A2	20					
	35	Установка термической резки	176	0.22	0.65	1.17
	36					
A3	31	Стыко-сварочный аппарат	10	0.2	0.4	2.29
A5	32					
A4	43	Машина холодной сварки	5	0.2	0.4	2.29
A6	44					
A4	39	Машина стыко-сварочная	10	0.2	0.4	2.29
A6	40					
A4	45	Машина контактной сварки	10	0.2	0.4	2.29
A6	46					
A1	1	Станок гравировальный	0.55	0.16	0.6	1.33
A2	2					
A1	49,51	Трансформатор сварочный	10	0.2	0.4	2.29
A2	50,52					
A1	3,4	Станок трубогибочный	10.5	0.16	0.6	1.33
A2	5,6					
A3	53	Мостовой кран	67.1	0.4	0.5	1.73
A1	54	Вентилятор	22	0.4	0.8	0.75
A2	55	Вентилятор	22	0.4	0.8	0.75
A3	56	Вентилятор	22	0.4	0.8	0.75
A4	57	Вентилятор	22	0.4	0.8	0.75

Эффективное число электроприёмников вычисляют по формуле (24):

$$n_{\text{э}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_{\text{ном}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{ном}i}^2} \quad (24)$$

$$n_{\text{э}A1} = \frac{(3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 22)^2}{3.55^2 \cdot 2 + 3.75^2 \cdot 2 + 6.05^2 \cdot 2 + 7.7^2 + 0.55^2 + 10.5^2 \cdot 2 + 10^2 \cdot 2 + 22^2} = 8.8.$$

Коэффициент расчётной нагрузки в зависимости от $n_{\text{э}A1} = 8$ и $\kappa_{\text{и}A1} = 0.22$ равен $K_{pA1} = 1.42$.

Активная расчётная мощность группы электроприёмников находим по формуле (25)

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n \kappa_{\text{и}i} \cdot p_{\text{ном}i} \quad (25)$$

$$P_{pA1} = 1.42 \cdot (0.16 \cdot (3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2) + 0.2 \cdot (10 \cdot 2) + 0.4 \cdot 22) = 30.89 \text{ кВт};$$

Расчётная реактивная мощность нагрузки питающих сетей до 1 кВ:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n \kappa_{\text{и}i} \cdot p_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (26)$$

$$Q_{pA1} = 1.1 \cdot (1.33 \cdot 0.16 \cdot (3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2) + 2.29 \cdot 0.2 \cdot (10 \cdot 2) + 0.75 \cdot 0.4 \cdot 22) = 30.47 \text{ квар.}$$

$$S_{pA1} = \sqrt{30.89^2 + 30.47^2} = 43.39 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$I_{pA1} = \frac{43.39}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 62.63 \text{ А.}$$

Расчёт для других групп электроприёмников сводим в таблицу 10.

Таблица 10 – Определение силовых нагрузок

Группа	$K_{и}$	$n_{э}$	K_p	P_p , кВт	Q_p ,	S_p , кВА	I_p , А
A1	0.22	8	1.42	30.89	30.47	43.39	62.63
A2	0.22	8	1.42	30.89	30.47	43.39	62.63
A3	0.36	3	1.57	62.03	66.08	90.63	130.8
A4	0.23	7	1.45	61.35	59.86	85.71	123.7
A5	0.29	3	1.79	22.68	14.94	27.16	39.2
A6	0.23	7	1.45	61.35	59.86	85.71	123.7

Питание приемников 3-6 групп осуществляем от шкафов распределительных серии ШР11. При выборе должно выполняться условие (27). Результат заносим в таблицу 11.

$$I_n \geq I_p \quad (27)$$

Таблица 11 – Выбор шинпроводов

№ группы	I_p , А	I_n , А	Тип шинпровода	Степень защиты
1	62.63	100	ШРА4-100	IP44
2	62.63	100	ШРА4-100	IP44

Для быстрого и удобного отключения ШРА группы 1-2 запитываем через силовой ящик ЯВЗБ-31-1 на номинальный ток аппарата 100 А без предохранителя.

Выбор троллейных линий мостового крана.

Питание мостового крана осуществляется при помощи троллейных линий. Условие выбора:

$$I_p > I_{доп} \quad (28)$$

где I_p - расчетный ток троллельной линии;

$I_{доп}$ - допустимым током угловой стали.

Величина расчетного тока троллейной линии:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_n \cdot K_{30})^2 + (P_n \cdot K_{30} \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (29)$$

где P_n – потребляемая активная мощность крановой установки при номинальной нагрузке (30);

K_{30} – коэффициент спроса для мостового крана;

$$P_n = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{ном.}i}}{\eta_i}, \quad (30)$$

Потерю напряжения в троллейных линиях определяют:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{\text{пик}}}{U_{\text{ном}}} (r_{\text{ш}} \cos \varphi + x_{\text{ш}} \sin \varphi), \quad (31)$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток крановых электродвигателей (32);

$r_{\text{ш}}$ и $x_{\text{ш}}$ – активное и реактивное сопротивления

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н.макс}} + (I_p - I_{\text{н.макс}}), \quad (32)$$

где $I_{\text{п.макс}}$ – наибольший из пусковых токов электродвигателей в группе;

$I_{\text{н.макс}}$ – номинальный ток двигателя с максимальным пусковым током.

Максимальная потеря напряжения:

$$\Delta U = m \cdot l, \quad (33)$$

где m – потеря напряжения, изменяющаяся в зависимости

от пикового тока $I_{\text{пик}}$, %/м;

l – расстояние от места присоединения питающего кабеля до наиболее удаленного конца троллей.

Выбор троллейного шинпровода сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор троллейной линии

Наименование	$I_{\text{доп}}$, А	Размеры сечения	$I_{\text{пик}}$, А	l , м	$\Delta U_{\text{доп}}$, %/м	$\Delta U_{\text{доп}}$, %
Угловая сталь	315	50x50x5	305.4	60	0.185	7.0

Выбранную троллею проверяем на потерю напряжения:

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \phi_T + U_p \sin \phi_T), \quad (34)$$

где β_T – процент загрузки трансформатора;

U_a и U_p – составляющие напряжения КЗ U_K определяемые по формулам (35);

$$U_a = \frac{\Delta P_K}{S}, \quad U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}, \quad (35)$$

где ΔP_K – потери КЗ трансформатора, кВт;

S – паспортная мощность трансформатора, кВА.

Потери напряжения линий электропередач:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 I_p l}{U_{\text{НОМ}}} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad (36)$$

Напряжения на зажимах потребителей, в % :

$$U_{\text{Э}} = U_{\text{ХХ}} - \sum_{i=1}^n \Delta U_i, \quad (37)$$

где U_{XX} – напряжение XX трансформатора, 105 %.

Схема для расчета потери напряжения представлена на рисунке 1.

Потребляемая мощность крановой установки:

$$P_n = \frac{8.5}{0.6} + 2 \cdot \frac{13.5}{0.65} + \frac{31.6}{0.71} = 100.2 \text{ кВт.}$$

Эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(8.5 + 2 \cdot 13.5 + 31.6)^2}{8.5^2 + 2 \cdot 13.5^2 + 31.6^2} = 3.1.$$

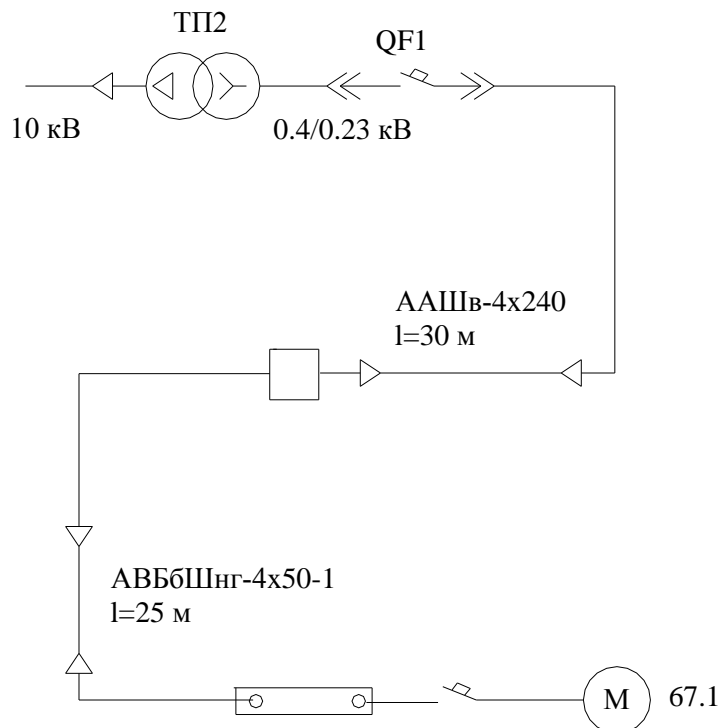


Рисунок 1 – Схема для расчета потери напряжения

Принимаем $n=3$. По [14] коэффициент спроса при $n=3$ $K_{30}=0.39$.

Тогда, расчетный ток троллейной линии:

$$I_p = \frac{\sqrt{(100.2 \cdot 0.39)^2 + (100.2 \cdot 0.39 \cdot 1.73)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 112.7 \text{ А.}$$

Номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током:

$$I_{н.макс} = \frac{31.6}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 0.71 \cdot 0.8} = 80.3 \text{ А.}$$

Пиковый ток группы двигателей:

$$I_{мик} = 273.02 + (112.7 - 80.3) = 305.4 \text{ А.}$$

Потеря напряжения в троллее по (5.13):

$$\Delta U = 0.185 \cdot 60 = 11.1\%$$

Определяем U_a , U_p .

$$U_A = \frac{\Delta P_K}{S} = \frac{10.8}{1000} = 1.08\%, \quad U_P = \sqrt{U_K^2 - U_A^2} = \sqrt{5.5^2 - 1.08^2} = 5.39\%$$

Потеря напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_T = 0.77 \cdot \left(1.08 \cdot \frac{708.5}{1000} + 5.39 \cdot \frac{282.5}{1000} \right) = 1.76\%$$

Потеря напряжения в линии ТП2-РП2:

$$\Delta U_{л1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 635.7 \cdot 0.03}{400} (0.0778 \cdot 0.5 + 0.093 \cdot 0.866) = 0.99\%$$

Потеря напряжения в питающей линии:

$$\Delta U_{л2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 112.7 \cdot 0.025}{400} (0.641 \cdot 0.5 + 0.126 \cdot 0.866) = 0.53\%$$

Определяем напряжение на зажимах электроприемников:

$$U_{\text{э}} = 105 - 11.1 - 1.76 - 0.99 - 0.53 = 90.62\%$$

$$K_u = \frac{(0.16 \cdot (3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2) + 0.2 \cdot (10 \cdot 2) + 0.4 \cdot 22) \cdot 2 + (0.16 \cdot 5.5 \cdot 2 + 0.2 \cdot (0.55 + 10) + 0.4 \cdot 22) \cdot 2 + 0.4 \cdot 67.1 + (0.22 \cdot 110.5 + 0.16 \cdot 5.5 \cdot 2 + 0.2 \cdot (12.2 + 5 + 10 + 10) + 0.4 \cdot 22) \cdot 2}{(3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 22) \cdot 2 + (5.5 \cdot 2 + 0.55 + 10 + 22) \cdot 2 + 67.1 + (110.5 + 5.5 \cdot 2 + 12.2 + 5 + 10 + 10 + 22) \cdot 2} = 0.43.$$

$$n_s = \frac{((3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 22) \cdot 2 + (5.5 \cdot 2 + 0.55 + 10 + 22) \cdot 2 + 67.1 + (110.5 + 5.5 \cdot 2 + 12.2 + 5 + 10 + 10 + 22) \cdot 2)^2}{(3.55^2 \cdot 2 + 3.75^2 \cdot 2 + 6.05^2 \cdot 2 + 7.7^2 + 0.55^2 + 10.5^2 \cdot 2 + 10^2 \cdot 2 + 22^2) \cdot 2 + (5.5^2 \cdot 2 + 0.55^2 + 10 + 22^2) \cdot 2 + 67.1^2 + (110.5^2 + 5.5^2 \cdot 2 + 12.2^2 + 5^2 + 10^2 + 10^2 + 22^2) \cdot 2} = 9.5.$$

$$P_p = 0.9 \cdot ((0.16 \cdot (3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2) + 0.2 \cdot (10 \cdot 2) + 0.4 \cdot 22) \cdot 2 + (0.16 \cdot 5.5 \cdot 2 + 0.2 \cdot (0.55 + 10) + 0.4 \cdot 22) \cdot 2 + 0.4 \cdot 67.1 + (0.22 \cdot 110.5 + 0.16 \cdot 5.5 \cdot 2 + 0.2 \cdot (12.2 + 5 + 10 + 10) + 0.4 \cdot 22) \cdot 2) = 915.1 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = (0.16 \cdot (3.55 \cdot 2 + 3.75 \cdot 2 + 6.05 \cdot 2 + 7.7 + 0.55 + 10.5 \cdot 2) \cdot 1.33 + 0.2 \cdot (10 \cdot 2) \cdot 2.29 + 0.4 \cdot 22 \cdot 0.75) \cdot 2 + (0.16 \cdot 5.5 \cdot 2 \cdot 1.33 + 0.2 \cdot (0.55 \cdot 0.48 + 10 \cdot 2.29) + 0.4 \cdot 22 \cdot 0.75) \cdot 2 + 0.4 \cdot 67.1 \cdot 1.73 + (0.22 \cdot 110.5 \cdot 1.17 + 0.16 \cdot 5.5 \cdot 2 \cdot 1.33 + 0.2 \cdot (12.2 + 5 + 10 + 10) \cdot 2.29 + 0.4 \cdot 22 \cdot 0.75) \cdot 2 = 398.3 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{915.1^2 + 398.3^2} = 998.03 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчётный ток по данному цеху:

$$I_p = \frac{998.03}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 1440.5 \text{ А.}$$

2.3 Выбор цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств

Минимальное число трансформаторов подстанции одинаковой мощности рассчитывается по формуле:

$$N_{T\min} = \frac{P_{PH}}{\beta_T \cdot S_T}, \quad (38)$$

где P_{PH} – суммарная расчетная активная мощность, кВт;

β_T – коэффициент загрузки;

S_T – принятая номинальная полная мощность одного трансформатора, кВ·А.

Максимальное значение реактивной мощности:

$$Q_T = \sqrt{(1.05 \cdot S_T \cdot \beta_T \cdot N_{T\min})^2 - P_{PH}^2}, \quad (39)$$

Суммарная мощность низковольтных конденсаторов:

$$Q_{\text{укл}} = Q_{PH} - Q_m, \quad (40)$$

Приведем пример определения КУ для проектируемого цеха. Число и мощность трансформаторов:

$$N_{T\min} = \frac{625.35}{0.8 \cdot 1000} = 1 \text{ шт.}$$

Принимаем ТМГ-1000/10. Результаты расчета трансформаторов для остальных цехов сведены в таблицу 13. Максимальное значение реактивной мощности:

$$Q_T = \sqrt{(1.1 \cdot 1000 \cdot 0.8 \cdot 1)^2 - 625.35^2} = 619.1 \text{ квар.}$$

Суммарную мощность низковольтных конденсаторов:

$$Q_{нк1} = 656.7 - 619.1 = 37.6 \text{ квар.}$$

Мощность БНК на один трансформатор:

$$Q_{НК} = \frac{37.6}{1} = 37.6 \text{ квар.}$$

Таблица 13 - Количество и каталожные данные цеховых ТП

Наименование цеха	ТП	Количество трансформаторов в цехе	Тип трансформатора	Номинальная единичная мощность, кВ·А	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток холостого хода, %
					холодного хода	короткого замыкания		
Обработывающий	ТП1	1	ТМГ	1000	1.6	10.8	5.5	1.5
Гальванический	ТП2	2	ТМГ	1000	1.6	10.8	5.5	1.5
Сборочный	ТП3	2	ТМГ	630	1.24	7.6	5.5	1.5
Окрасочный	ТП4	2	ТМГ	630	1.24	7.6	5.5	1.5

Т.к. $Q_{нк1}=37,6$ очень маленькое значение, решил не применять батарею конденсаторов. Далее вычисляем уточненное значение полной расчетной мощности по формуле:

$$S'_P = \sqrt{P_{\text{Робщ}}^2 + (Q_{\text{Робщ}} - Q_{\text{НКФ1}})^2}, \quad (41)$$

$$S'_P = \sqrt{625.35^2 + (656.7 - 0)^2} = 906.8 \text{ кВА.}$$

Уточненное значение коэффициента загрузки вычисляем по формуле:

$$\beta'_T = \frac{S'_P}{N_T \cdot S_{HT}}. \quad (42)$$

$$\beta'_T = \frac{906.8}{1 \cdot 1000} = 0.907.$$

Аналогично произведём вычисления для остальных производственных помещений и результаты сведём в таблицу 14. Определим потери в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{xx}} \cdot N_T + \frac{1}{N_T} \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S'_P}{S_{HT}} \right)^2, \quad (43)$$

$$\Delta P_m = 1.6 \cdot 1 + \frac{1}{1} \cdot 10.8 \cdot \left(\frac{906.8}{1000} \right)^2 = 10.48 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = N_T \frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{N_T \cdot 100} \cdot \frac{S^2}{S_H}, \quad (44)$$

$$\Delta Q_T = 1 \cdot \frac{1.5}{100} \cdot 1000 + \frac{5.5}{1 \cdot 100} \cdot \frac{906.8^2}{1000} = 50.23 \text{ квар.}$$

Аналогично рассчитаны потери остальных цеховых ТП завода (см. таблицу 14).

Экономически целесообразное значение реактивной мощности, потребляемой цехом в часы максимальных нагрузок из энергосистемы, определяется:

$$Q_\varphi = \bar{P}_p \cdot \text{tg} \varphi_\varphi, \quad (45)$$

Таблица 14 – Расчет низковольтных конденсаторных батарей

Параметр	Обрабатывающий	Гальванический	Сборочный	Окрасочный
1	2	3	4	5
$P_{нiK_{нi}}$, кВт	771	1847	1159	1095
$\Sigma P_{нiK_{нi}tg\varphi}$	815.98	1059.1	956.5	604.8
$K_{н ср.}$	0.24	0.43	0.4	0.64
$n_э$	42	53	38	34
K_p	0.75	0.717	0.75	0.85
P_p , кВт	578.25	1323.9	869.25	930.75
Q_p , квар	611.99	759.17	717.36	514.12
$P_{p о}$, кВт	47.1	77.99	126.6	73.0
$Q_{p о}$, квар	44.73	135.1	195.2	0
$Q_p + Q_{p о}$, квар	656.71	894.25	912.53	514.12
$P_p + P_{p о}$, кВт	625.35	1401.9	995.86	1003.7
$S_{pц}$, кВА	906.8	1662.8	1350.7	1127.8
β_T	0.8	0.8	0.8	0.8
$S_{нт}$, кВА	1000	1000	630	630
$N_{T min}$	1	2	2	2
Q_T , квар	619.1	1064.1	487.6	471.1
Q_{HK1} , квар	37.57	-84.92	212.5	21.51
Q_{HKT} , квар	0	0	0	0
$Q_{БНК}$, квар	0	0	200	0
$n_{БНКТ}$	0	0	1	0
Тип БНК	-	-	АКУ0.4-200-25У3	-
S_p' , кВА	906.8	1662.8	1224.5	1127.8
β_T'	0.907	0.831	0.972	0.895
ΔP_T , кВт	10.48	18.13	16.84	14.66
ΔQ_T , квар	50.23	86.04	71.75	61.82

$$\bar{P}_p = \kappa_o \cdot P_p, \quad (46)$$

$$\bar{Q}_p = \kappa_o \cdot Q_p, \quad (47)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{эн}} = \frac{240 \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\delta} \cdot K_1}{a \cdot d_{\max} + 50 \cdot b}, \quad (48)$$

где d_{\max} – отношение максимальной и номинальной величин потребленной энергии (т.к. таких сведений нет $d_{\max}=1$);

a – основная цена на Ра, $a=242880$ руб/(кВт·год);

b – дополнительная цена на Ра, $b= 188.1$ руб/кВт·ч;

$\operatorname{tg} \varphi_{\delta}$ – базовый коэффициент реактивной мощности, равный 0.3;

K_1 – коэффициент, отражающий изменение стоимости на КУ (49).

$$K_1 = K_w = \frac{a \cdot \kappa_{w1} + b \cdot T_{\max} \cdot 10^{-2} \cdot \kappa_{w2}}{a + b \cdot T_{\max} \cdot 10^{-2}} \quad (49)$$

где K_{w1} и K_{w2} – коэффициенты увеличения основной и дополнительной ставки цены на электроэнергию (рассчитываются делением по формулам (50) и (51))

$$\kappa_{w1} = \frac{a_{\text{действ}}}{a} = \frac{242880}{60} = 3570, \quad (50)$$

$$\kappa_{w2} = \frac{b_{\text{действ}}}{b} = \frac{188.1}{1.8 \cdot 10^{-2}} = 9222.22, \quad (51)$$

$$\bar{P}_p = 0.9 \cdot (771 + 1847 + 1159 + 1095 + 47.1 + 77.99 + 126.6 + 73 + 10.48 + 18.13 + 16.84 + 14.66) = 4731.1 \text{ кВт.},$$

$$\bar{Q}_p = 0.9 \cdot (815.98 + 1059.1 + 956.5 + 604.8 + 44.73 + 135.1 + 195.2 + 0 + 50.23 + 86.04 + 71.75 + 61.82) = 3673.1 \text{ квар.},$$

$$K_1 = K_w = \frac{60 \cdot 3570 + 1.8 \cdot 9222.22 \cdot 4500 \cdot 10^{-2}}{60 + 1.8 \cdot 4500 \cdot 10^{-2}} = 6653.03,$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{эн}} = \frac{240 \cdot 0.3 \cdot 6653.03}{214200 + 50 \cdot 166 \cdot 100} = 0.459,$$

$$Q_s = 4731.1 \cdot 0.459 = 2170.36 \text{ квар.}$$

Произведём анализ баланса реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой по формулам (52...63).

$$\Delta Q' = \bar{Q}_p - Q_{нк1} - Q_3 = 3673.1 - 200 - 2170.36 = 1302.8 \text{ квар.}$$

$$Q_{мэ} = \frac{3_{нк} - C_{QII}}{2 \cdot A}; \quad (52)$$

$$A = \frac{C_{pn} \cdot R_3}{U_n^2 \cdot 10^3}; \quad (53)$$

$$C_{pII} = a \cdot K_{w1} + b \cdot \tau_Q \cdot 10^{-2} \cdot K_{w2}, \quad (54)$$

При $\Psi \leq K_M$:

$$\tau_Q = T_2 \left[\frac{K_M - \Psi}{1 - \Psi} + \frac{1 \cdot (1 - K_M)^2}{3 \cdot (1 - \Psi)^2} \right], \quad (55)$$

При $\Psi > K_M$:

$$\tau_Q = \frac{T_\Gamma \cdot (1 - \Psi)}{2 \cdot (1 - K_M)}, \quad (56)$$

$$\Psi = 1 - \frac{Q_{мэ}}{\bar{Q}_p} = 1 - \frac{\Delta Q'}{\bar{Q}_p} = 1 - \frac{1302.8}{3673.1} = 0.65. \quad (57)$$

$$\tau_Q = \frac{4000 \cdot (1 - 0.83)}{2 \cdot (1 - 0.8)} = 2168.4 \text{ ч.}$$

$$C_{pn} = 60 \cdot 3570 + 1.8 \cdot 2168.4 \cdot 9222.22 \cdot 10^{-2} = 574151.5 \text{ руб/кВт.}$$

$$R_3 = \frac{(R_m + r_0 \cdot l_{cp})}{N_m}; \quad (58)$$

$$l_{cp} = \frac{L}{N_m}, \quad (59)$$

$$3_{нк} = 0.22 \cdot C_{кн} \cdot K_1 + 3_{ркн}, \quad (60)$$

$$3_{ркн} = C_{pz} \cdot \Delta P_{кн}, \quad (61)$$

$$C_{pz} = a \cdot K_{w1} + b \cdot T_2 \cdot 10^{-2} \cdot K_{w2} = 60 \cdot 3570 + 1.8 \cdot 4000 \cdot 10^{-2} \cdot 9222.22 = 878200 \text{ руб/квар;}$$

$$\Delta P_{кн} = 0.004 \text{ кВт/квар.}$$

$$Z_{PHK} = 878200 \cdot 0.004 = 3512.8 \text{ руб/квар.}$$

$$Z_{HK} = 0.22 \cdot 9 \cdot 6653.03 + 3512.8 = 16685.8 \text{ руб/квар.}$$

$$C_{QII} = (C_2 + d_2 \cdot T_{mQn} \cdot 10^{-2}) \cdot \frac{2 \cdot K_1 \cdot K_w}{1 + K_1}, \quad (62)$$

$$T_{mQn} = \frac{T_z \cdot (1 - \psi)}{2 \cdot (1 - K_m)} = \frac{4000 \cdot (1 - 0.65)}{2 \cdot (1 - 0.8)} = 2872.2 \text{ ч.} \quad (63)$$

$$C_{QII} = (3,6 + 0,09 \cdot 2872.2 \cdot 10^{-2}) \cdot \frac{2 \cdot 6653.03^2}{1 + 6653.03} = 76423.9 \text{ руб/квар} \cdot \text{год.}$$

Т.к. $Q_{T3} < 0$, то принимаем $Q_{HK2} = \Delta Q'$.

Произведем распределение Q_{HK2} пропорционально потребляемой реактивной мощности и в зависимости от количества трансформаторов на подстанции:

$$Q_{HKT21} = 1302.8 \cdot \frac{656.71}{(656.71 + 894.25 + 912.53 + 541.12)} = 287.3 \text{ квар;}$$

Увеличиваем мощность БНК с 0 до 300 квар, т.е. устанавливаем АКУ-0.4-300-20УЗ.

$$Q_{HKT22} = 1302.8 \cdot \frac{894.25}{(656.71 + 894.25 + 912.53 + 541.12)} = 391.3 \text{ квар;}$$

Увеличиваем мощность БНК с 0 до 400 квар, т.е. устанавливаем 2 АКУ-0.4-200-25УЗ.

$$Q_{HKT23} = 1302.8 \cdot \frac{912.53}{(656.71 + 894.25 + 912.53 + 541.12)} = 399.2 \text{ квар;}$$

Увеличиваем мощность БНК с 200 до 600 квар, т.е. устанавливаем 2

АКУ-0.4-300-25У3.

$$Q_{\text{НКТ2А}} = 1302.8 \cdot \frac{541.12}{(656.71 + 894.25 + 912.53 + 541.12)} = 224.9 \text{ квар};$$

Увеличиваем мощность БНК с 0 до 200 квар, т.е. устанавливаем АКУ-0.4-200-25У3. Произведем анализ баланса реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой:

$$\Delta Q'' = \bar{Q}_p - Q_{\text{нк1}} - Q_{\text{э}} - Q_{\text{нк2}} = 3673.1 - (300 + 2 \cdot 200 + 3 \cdot 200 + 200) - 2170.4 = 2.76 \text{ квар}.$$

Т.к. $\Delta Q'' > 0$, то эта реактивная энергия будет потребляться из энергосистемы. На этом расчет компенсации закончен. Результаты выбора БНК сводим в таблицу 15.

Таблица 15 – Выбор низковольтных конденсаторных батарей

Наименование цеха	Тип КУ	Номинальная мощность, квар	Мощность ступени, квар	Число ступеней, шт
Обрабатывающий	АКУ-0.4-300-25У3	1х300	25	12
Гальванический	АКУ-0.4-200-25У3	2х200	25	8
Сборочный	АКУ-0.4-300-25У3	2х300	25	8
Окрасочный	АКУ-0.4-200-25У3	1х200	25	8

Экономический эффект и срок окупаемости приборов компенсации реактивной мощности.

Прибыль определяется разностью затрат:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2, \quad (64)$$

где Z_1 – приведенные затраты до установки КУ (65);

Z_2 – приведенные затраты после установки КУ (66).

$$Z_1 = I_{1\text{пот}} , \quad (65)$$

$$Z_2 = E_n K_{\text{ку}} + I_{\text{ку}} + I_{2\text{пот}} , \quad (66)$$

где $I_{1\text{пот}}$ и $I_{2\text{пот}}$ – стоимость потерь до и после компенсации, имеющиеся в электрических линиях предприятия;

$K_{\text{ку}}$ – стоимость установленных КУ;

$I_{\text{ку}}$ – издержки на эксплуатацию КУ (67).

$$I_{\text{ку}} = I_{\text{ам ку}} + I_{\text{экс ку}} + I_{\text{пот ку}} , \quad (67)$$

где $I_{\text{ам ку}}$ – амортизация КУ;

$I_{\text{экс ку}}$ – эксплуатационные траты;

$I_{\text{пот ку}}$ – стоимость потерь электроэнергии в КУ.

Стоимость электроэнергии:

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{a}{T_{\text{мах}}} + b . \quad (68)$$

Потери активной энергии в ТП:

$$\Delta W_m = \Delta P_{\text{xx}} T_{\text{г}} + \Delta P_{\text{к}} \beta_m^2 \tau , \quad (69)$$

Данные о сечениях кабельных линий предприятия показаны в таблице 16. Потери в сетях электропередач определяются:

$$\Delta W_n = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot \tau = \frac{S_p^2}{U^2} \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot \tau . \quad (70)$$

Приведем пример расчета потерь подстанции ТП1 и линии, питающей ее. Потери до компенсации:

$$\Delta W_T = 1.6 \cdot 4000 + 10.8 \cdot 0.907^2 \cdot 2500 = 36230 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

$$\Delta W_m = 1.6 \cdot 4000 + 10.8 \cdot 0.72^2 \cdot 2500 = 28010 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Таблица 16 – Предварительный выбор сечений кабельных линий

Участок	Число и мощность питающих трансформаторов	Номинальный ток трансформатора, А	Экономическая плотность тока по [2], А/мм ²	Расчетное сечение кабеля, мм ²	Выбранное сечение кабеля, мм ²	Удельное сопротивление кабеля, Ом/км
РП-ТП1	1×1000+ +1×630	94.1	1.4	67.2	70	0.443
РП-ТП2	2×1000	57.74		41.2	50	0.641
ТП1-ТП3	2×630	36.37		25.9	35	0.778
РП-ТП4	2×630	36.37		25.9	35	0.778
ГПП-РП	1×1000+ +2×1000+ +2×630+ +2×630	318.7/2		113.8	120	0.253

Сеть, питающая ТП1 до установки конденсаторов:

$$\Delta W_{л} = \frac{2425.2^2}{10^2} \cdot 0.641 \cdot 0.144 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 6966.2 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

После установки конденсаторов:

$$\Delta W_{л} = \frac{1807.3^2}{10^2} \cdot 0.641 \cdot 0.144 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 3868.6 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Остальные расчеты занесены в таблицу 17 и таблицу 18.

Таблица 17 – Потери энергии в трансформаторах

ТП	Число трансформаторов	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	β_T	ΔW_T , МВт·ч
1	2	3	4	5	6	7
До компенсации						
ТП1	1×1000	1.6	10.8	950.8	0.907	36.23
ТП2	2×1000	1.6	10.8	1725.5	0.831	37.35
ТП3	2×630	1.24	7.6	1412.2	0.972	30.70
ТП4	2×630	1.24	7.6	1170.0	0.895	29.33
Сумма :						133.6
После компенсации						
ТП1	1×1000	1.6	10.8	743.2	0.720	28.01
ТП2	2×1000	1.6	10.8	1525.5	0.743	35.42
ТП3	2×630	1.24	7.6	1073.2	0.828	28.27
ТП4	2×630	1.24	7.6	1081.6	0.835	28.35
Сумма :						120.1

Таблица 18 – Потери электроэнергии в кабельных линиях завода

Участки	Удельное сопротивление, Ом/км	Длина линии, км	Расчетная активная мощность, кВт	Расчетная реактивная мощность, квар	Расчетная полная мощность, кВА	Потери энергии $\Delta W_{л}$, кВт·ч
До компенсации						
РП-ТП1	0.443	0.144	1142.2	1199.1	1656.0	6966.1
РП-ТП2	0.641	0.033	1420.0	980.3	1725.5	1097.9
ТП1-ТП3	0.778	0.057	1012.7	984.3	1412.2	1776.2
РП-ТП4	0.778	0.085	1018.4	575.9	1170.0	1818.1
ТП1-РП1	0.1	0.036	216.3	174.6	278.0	4347.2
ТП2-РП2	0.039	0.035	802.9	362.1	880.8	16546.5
ТП3-РП3	0.061	0.036	458.5	288.3	541.6	10064.9
ТП3-РП4	0.125	0.062	185.5	118.6	220.2	5871.6
ГПП-РП	0.253	0.2	4136.6	3467.1	5397.4	10196.2
Сумма :						58684.8
После компенсации						
РП-ТП1	0.443	0.144	1136.9	573.4	1273.3	3868.6
РП-ТП2	0.641	0.033	1417.0	565.0	1525.5	858.2
ТП1-ТП3	0.778	0.057	1008.8	366.4	1073.2	1025.8
РП-ТП4	0.778	0.085	1016.8	368.7	1081.6	1553.7
ТП1-РП1	0.1	0.036	216.3	174.6	278.0	4347.2
ТП2-РП2	0.039	0.035	802.9	362.1	880.8	16546.5
ТП3-РП3	0.061	0.036	458.5	288.3	541.6	10064.9
ТП3-РП4	0.125	0.062	185.5	118.6	220.2	5871.6
ГПП-РП	0.253	0.2	4075.2	1690.3	4411.8	6812.4
Сумма						50949.0

Определим потери в ГПП с трансформаторами 2x25 МВА. Коэффициент загрузки трансформаторов принимаем $\beta=0.65$, параметры трансформаторов ГПП $\Delta P_{xx}=25$ кВт, $\Delta P_{кз}=120$ кВт. В рабочем режиме трансформатор загружен мощностью $S=0.65 \cdot S_{ном}=0.65 \cdot 25000=16250$ кВА. Из них активной мощностью загружен на $P=S \cdot \cos \varphi=16250 \cdot 0.7=11375$ кВт, где $\cos \varphi=0.7$ по [2] для электротехнической промышленности.

После компенсации реактивная мощность:

$$Q_2 = S \cdot \sin \varphi = 16250 \cdot 0.714 = 11602.5 \text{ квар.}$$

До компенсации реактивная мощность:

$$Q=Q_2+Q_{нк1}/2=11602.5+1500/2=12353 \text{ квар.}$$

Потери в трансформаторах после компенсации:

$$\begin{aligned} \Delta W_2 &= 2 \cdot (25 \cdot 8760 + 120 \cdot 0.65^2 \cdot 2500) = 438000 + 253500 = 691500 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = \\ &= 691.5 \text{ МВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Затраты энергии в трансформаторах ГПП до установки конденсаторов

$$\begin{aligned} \Delta W_1 &= 2 \cdot \left(25 \cdot 8760 + 120 \cdot \left(\frac{\sqrt{11375^2 + 12353^2}}{25000} \right)^2 \cdot 2500 \right) = 438000 + 270708 = \\ &= 708708 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 708.708 \text{ МВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Потери энергии в линии «ГПП завод- ТП энергосистемы» (АС-70/11 с

$r_0=0.4204$ Ом/км) после установки КУ:

$$\Delta W_2 = 2 \cdot \left(\frac{4411.8^2}{110^2} \cdot 0,4204 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 \right) = 67625.3 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 67.625 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Потери энергии в линии электропередач 110 кВ до установки КУ:

$$\Delta W_1 = 2 \cdot \left(\frac{5397.4^2}{110^2} \cdot 0,4204 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 \right) = 101215.4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 101.215 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

Далее рассчитываем потери мощности и электричества в конденсаторных установках:

$$\Delta P = \Delta p_y \cdot Q_{\text{нк}} = 0.004 \cdot 1500 = 6.0 \text{ кВт}.$$

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau = 6.0 \cdot 2500 = 15.0 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

По литературе [7] стоимость конденсаторных батарей АКУ-0.4-200-25УЗ – 3.51 тыс. руб., АКУ-0.4-300-25УЗ – 4.58 тыс. руб. в ценах 1991 года.

Суммарная стоимость конденсаторных установок с учетом коэффициента инфляции $K_{\text{инф}}=3000$:

$$K_{\text{ку}} = (6 \cdot 3.51 + 1 \cdot 4.58) \cdot 3000 = 55860 \text{ тыс.руб.}$$

Тогда:

$$I_{\text{ам ку}} = 0.044 \cdot 55860 = 2457.8 \text{ тыс.руб.},$$

$$I_{\text{экс ку}} = 0.03 \cdot 55860 = 1675.8 \text{ тыс.руб.},$$

$$I_{\text{пот ку}} = \Delta W \cdot \beta_{\text{ср}} = 15.0 \cdot 242.07 = 3631.05 \text{ тыс.руб.},$$

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{242880}{4500} + 188.1 = 242.07 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

$$I_{\text{ку}} = I_{\text{ам ку}} + I_{\text{экс ку}} + I_{\text{пот ку}} = 2457.8 + 1675.8 + 3631.05 = 7764.7 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные потери в элементах электроснабжения до компенсации:

$$\begin{aligned} I_{1\text{пот}} &= \beta_{\text{ср}} \cdot (\Delta W_{\text{T}} + \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_{\text{T25MBA}} + \Delta W_{\text{T25MBA}} + \Delta W_{\text{л до сист}}) = \\ &= 242.07 \cdot 10^{-3} \cdot (133.6 + 58.684 + 708.708 + 101.215) = 242.604 \text{ млн.руб.}, \end{aligned}$$

После компенсации:

$$\begin{aligned} I_{2\text{пот}} &= \beta_{\text{ср}} \cdot (\Delta W_{\text{T}} + \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_{\text{T25MBA}} + \Delta W_{\text{л до сист}}) = \\ &= 242.07 \cdot 10^{-3} \cdot (120.1 + 50.949 + 691.5 + 67.625) = 225.167 \text{ млн.руб.} \end{aligned}$$

Срок окупаемости установки конденсаторных батарей:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{кy}}}{I_{1\text{ном}} - (I_{2\text{ном}} + I_{\text{кy}})} \quad (71)$$

Для данного случая срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = \frac{55.86}{242.604 - (225.167 + 7.765)} = 5.8 \text{ года.}$$

$$З_1 = 242.604 \text{ млн.руб.},$$

$$З_2 = 0.12 \cdot 55.86 + 7.765 + 225.167 = 239.635 \text{ млн.руб.}$$

Тогда

$$\Delta З = 242.604 - 239.635 = 2.969 \text{ млн.руб.},$$

Полученное ΔZ больше нуля, значит установка компенсирующих устройств экономически обоснована и окупится через 5.8 года.

2.4 Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок

Радиус круга в мм каждого цеха рассчитывается по выражению:

$$r = \sqrt{\frac{P_{pc}}{\pi \cdot m}}, \quad (72)$$

где m – размер площади круга, кВт/мм². Принимаем $m = 0.125$ кВт/мм².

$$r = \sqrt{\frac{216.27}{3.14 \cdot 0.125}} = 23.5 \text{ мм},$$

Угол сектора нагрузки освещения α , гр., вычисляется по выражению:

$$\alpha = \frac{P_{po}}{P_{pc}} \cdot 360^\circ, \quad (73)$$

$$\alpha = \frac{21.28}{216.27} \cdot 360^\circ = 35^\circ 4'.$$

Расположение центра электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия рассчитывается по выражениям (74) и (75):

$$y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}} \quad (74)$$

$$x_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}} \quad (75)$$

где x_i и y_i – координаты центра нагрузок цехов.

Результаты расчета в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет центра электрических нагрузок

Название цеха	P_p , кВт	$P_{осв}$, кВт	$P_{общ}$, кВт	R_i , мм	$\alpha_{осв}$, град	X_i , м	Y_i , м
Склад	195.0	21.28	216.3	23.5	35.4	35	152
Обработывающий	383.3	25.82	409.1	32.3	22.7	89	140
Заготовительный	768.7	34.23	802.9	45.2	15.3	158	147
Гальванический	647.7	43.76	691.4	41.9	22.8	193	98
Сборочный	344.3	112.7	456.9	34.1	88.7	51	48
Компрессорная	450.0	8.46	458.5	34.2	6.64	123	74
Насосная	180.0	5.47	185.5	21.7	10.6	115	46
Окрасочный	930.8	73.0	1003.7	50.6	26.2	193	34
Центр электрических нагрузок (ЦЭН)						142	89

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия рассчитываем по формулам (74) и (75)

$$x_{цэн} = \frac{195.0 \cdot 35 + 383.3 \cdot 89 + 768.7 \cdot 158 + 647.7 \cdot 193 + 344.3 \cdot 51 + 450.0 \cdot 123 + 180.0 \cdot 115 + 930.8 \cdot 193}{195.0 + 383.3 + 768.7 + 647.7 + 344.3 + 450.0 + 180.0 + 930.8} = 142 \text{ м,}$$

$$y_{цэн} = \frac{195.0 \cdot 152 + 383.3 \cdot 140 + 768.7 \cdot 147 + 647.7 \cdot 98 + 344.3 \cdot 48 + 450.0 \cdot 74 + 180.0 \cdot 46 + 930.8 \cdot 34}{195.0 + 383.3 + 768.7 + 647.7 + 344.3 + 450.0 + 180.0 + 930.8} = 89 \text{ м.}$$

Выводы по разделу 2.

Во втором разделе выполнен расчет внутрицеховой электрической сети: рассчитаны электрические нагрузки, в том числе подробно для заготовительного цеха. Определен центр электрических нагрузок. Расчет компенсирующих устройств.

3 Расчет электрической сети освещения

Выбор сечений проводов осветительной сети производим по допустимой потере напряжения ΔU_{∂} и по допустимому нагреву длительным расчётным током.

Произведём расчёт рабочего освещения для проектируемого заготовительного цеха по допустимому нагреву длительным расчётным током.

Установленная мощность рабочего освещения, кВт:

$$P_{y.o.} = N \cdot P_{л}, \quad (76)$$

где N – общее количество светильников;

$P_{л}$ – единичная мощность лампы, кВт.

Расчетная мощность:

$$P_{po} = K_{co} \cdot K_{п} \cdot P_{y.o.}, \quad (77)$$

где K_{co} – коэффициент спроса на освещение, который принимается равным $K_{co}=0.95$;

$K_{п}$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующих аппаратах. Принимаем $K_{п}=1.1$ для ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДнаТ; для люминесцентных ламп со стартерной схемой пуска $K_{п}=1.2$.

Расчетный групповой ток:

а) для трехфазных линий:

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (78)$$

б) для двухфазных линий с нулевым проводом:

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{2 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (79)$$

в) для однофазных линий:

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi}. \quad (80)$$

Для групповых линий осветительной сети рекомендуется принимать коэффициента мощности нагрузки 0.9÷0.95.

Расчётная схема рабочего освещения, в соответствии с проектом цеха, приведена на рисунке 2. Действующее значение напряжения в осветительной сети ΔU_{∂} рассчитывают по формуле:

$$\Delta U_{\partial} = U_{xx} - U_{min} - U_T, \quad (81)$$

Потери U в трансформаторе:

$$\Delta U_m = \beta_m \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_m + U_p \cdot \sin \varphi_m), \quad (82)$$

где

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.м.}}; \quad U_p = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2}; \quad (83)$$

Номинал проводов осветительной линии определяют из выражения

$$q = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\partial}}, \quad (84)$$

где

$$M = P_{po} \cdot L, \quad (85)$$

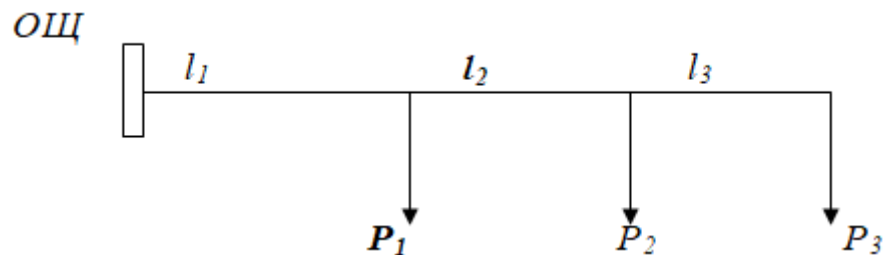


Рисунок 2 – Схема групповой осветительной сети

Для примера составляем схему системы освещения заготовительного цеха (см. рисунок 3). Для него рассчитываем:

$$P_{po} = 0.95 \cdot (1.1 \cdot 27 \cdot 0.7 + 1.0 \cdot 8 \cdot 0.2 + 1.0 \cdot 2 \cdot 0.1 + 1.2 \cdot 8 \cdot 0.13) = 22.6 \text{ Вт.}$$

$$U_a = \frac{10.8}{1000} \cdot 100\% = 1.08 \%,$$

$$U_p = \sqrt{5.5^2 - 1.08^2} = 5.39,$$

$$\Delta U_T = 0.743 \cdot (1.08 \cdot 0.8 + 5.39 \cdot 0.6) = 3.04 \%.$$

$$\Delta U_d = 105 - 95 - 3.04 = 6.96\%.$$

Вычислим приведенный момент для питающей линии щитка освещения №1. Для этого необходимо рассчитать моменты отдельных групп светильников.

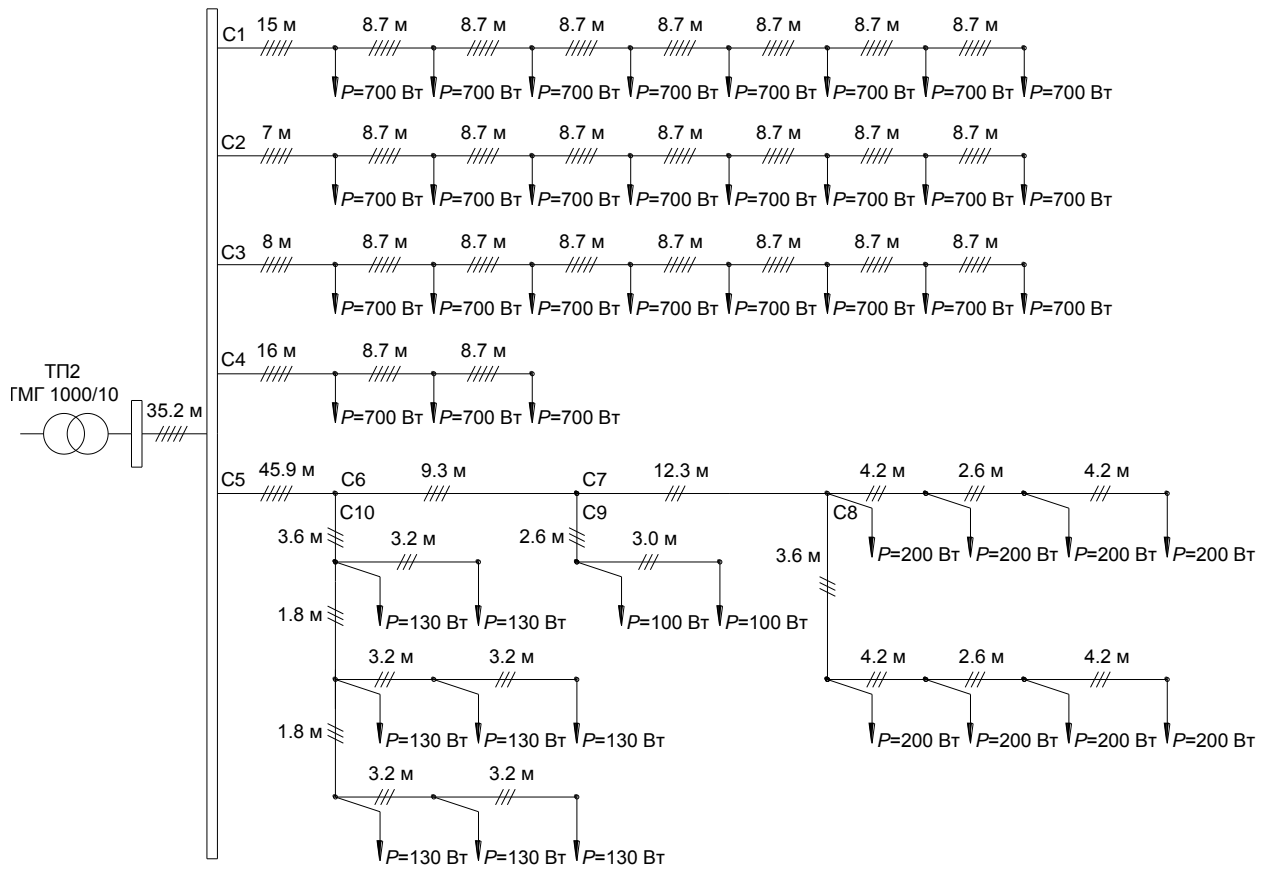


Рисунок 3 – Схема освещения заготовительного цеха

Определим расстояние до центров приложения нагрузки:

$$L_1 = 15 + \frac{8 \cdot (8-1)}{2} = 43 \text{ м.}$$

$$L_2 = 7 + \frac{8 \cdot (8-1)}{2} = 35 \text{ м.}$$

$$L_3 = 8 + \frac{8 \cdot (8-1)}{2} = 36 \text{ м.}$$

$$L_4 = 16 + \frac{8 \cdot (3-1)}{2} = 24 \text{ м.}$$

Тогда по (87):

$$M_1 = 5.6 \cdot 43 = 240.8 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_2 = 5.6 \cdot 35 = 196.0 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_3 = 5.6 \cdot 36 = 201.6 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_4 = 2.1 \cdot 24 = 50.4 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_5 = (1.25 + 0.2 + 1.6) \cdot 45.9 = 140.0 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_6 = (0.2 + 1.6) \cdot 9.3 \cdot 1.39 = 23.27 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_7 = 1.6 \cdot 12.3 \cdot 1.33 = 26.17 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_8 = (0.2 \cdot 4.2 + 0.4 \cdot 2.6 + 0.6 \cdot 4.2 + 0.8 \cdot 0.6 + \\ + 0.2 \cdot 4.2 + 0.4 \cdot 2.6 + 0.6 \cdot 4.2 + 0.8 \cdot 3.6) \cdot 1.85 = 22.5 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_9 = (0.1 \cdot 2.6 + 0.2 \cdot 3.0) \cdot 1.33 = 1.14 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$M_{10} = (0.13 \cdot 3.2 + 0.26 \cdot 3.2 + 0.39 \cdot 10.5 + \\ + 0.13 \cdot 3.2 + 0.26 \cdot 3.2 + 0.39 \cdot 8.7 + 0.13 \cdot 3.2 + 0.26 \cdot 6.8) \cdot 1.33 = 16.19 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Для питающей сети момент нагрузки вычисляем как:

$$M_{II} = 22.65 \cdot 35.2 = 797.28 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Приведенный суммарный момент равен:

$$M_{\text{ПРИВ.}\Sigma} = 240.8 + 196.0 + 201.6 + 50.4 + 140.0 + 23.37 + 26.17 + \\ + 22.5 + 1.14 + 16.19 + 797.28 = 1715.35 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

По (89) сечение питающей линии равно:

$$q = \frac{1715.35}{44 \cdot 6.96} = 5.6 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АВВГ сечением 10 мм² с $I_{доп}=55$ А.

Расчетный ток групповой сети:

$$I_{po} = \frac{22.65 \cdot 10^3}{3 \cdot 230 \cdot 0.95} = 34.55 \text{ А},$$

Т.к. $I_{доп} > I_{po}$, то сечение провода, выбранное по потере напряжения, удовлетворяет условиям нагрева. Принимаем кабель АВВГ-0.6(5x10) с $I_{доп}=55$ А.

Действительное значение потери напряжения в питающей линии:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{1715.35}{44 \cdot 10} = 3.9 \text{ \%}.$$

$$\Delta U_{до} = 6.96 - 3.9 = 3.06 \text{ \%}.$$

Расчет остальных линий производим аналогично результаты сводим в таблицу 20. Уточнённая расчётная схема аварийной осветительной сети представлена на рисунке 4. Выбор сечений проводов для рабочей и аварийной сети освещения представлен в таблице 20.

Для питания групповых линий принимаем по [12] таблица 5.12 распределительные пункты типа ПР41-4303-43У3 с $U_{ном}=380$ В с автоматическим выключателем А3720 на вводе, трёхполюсными автоматическими выключателями АЕ2043 на отходящих линиях.

В качестве примера произведём выбор уставки автоматического выключателя для участка сети ТП2–ЩО-1.

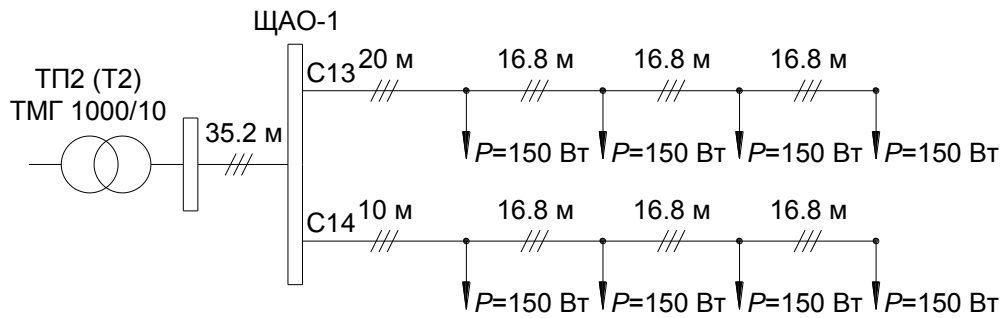


Рисунок 4 – Расчётная схема аварийного освещения

Таблица 20 – Выбор проводов осветительной сети рабочего и аварийного освещения

Участок сети		$M_{\text{ПРИВ}}$, кВт·м	$I_{\text{ро}}$, А	Марка и сечение провода	$I_{\text{доп}}$, А	$\Delta U_{\text{ф}}$, %
начало	конец					
1	2	3	4	5	6	7
ТП2 (Т1)	ЩО-1	1715.35	34.55	АВВГ-0.6(5x10)	55	3.9
ЩО-1	1	240.8	13.53	АВВГ-0.6(5x2.5)	19	2.19
ЩО-1	2	196.0	13.53	АВВГ-0.6(5x2.5)	19	1.78
ЩО-1	3	201.6	13.53	АВВГ-0.6(5x2.5)	19	1.83
ЩО-1	4	50.4	5.07	АВВГ-0.6(5x2.5)	19	0.46
ЩО-1	5	140.0	4.91	АВВГ-0.6(5x6)	34	0.53
5	6	23.27	3.91	АВВГ-0.6(4x4)	27	0.30
6	7	26.17	6.96	АВВГ-0.6(3x4)	27	0.88
7	8	22.5	6.96	АВВГ-0.6(3x4)	27	0.76
8	9	1.14	0.87	АВВГ-0.6(3x2.5)	19	0.06
9	10	16.19	6.04	АВВГ-0.6(3x2.5)	19	0.88
ТП2 (Т2)	ЩАО1	42.24	5.22	АВВГ-0.6(3x2.5)	19	4.89
ЩАО-1	13	27.12	2.61	АВВГ-0.6(3x2.5)	19	1.47
ЩАО-1	14	21.12	2.61	АВВГ-0.6(3x2.5)	19	1.14

Устанавливается автоматический выключатель А3720 с $I_{\text{ном.а.}}=250$ А.

Из таблицы 20 $I_{\text{рн}}=34.55$ А.

Условие выбора уставки автомата:

$$I_{\text{ср.р.}} = \kappa_{\text{т.о.}} \cdot I_{\text{рп}}, \quad (86)$$

$$I_{\text{ср.р.}} = 1.4 \cdot 34.55 = 48.4 \text{ А.}$$

Для остальных участков осветительной сети выбор аналогичен (см. таблицу 21).

Таблица 21 – Выбор автоматических выключателей осветительной сети рабочего и аварийного освещения

Участок сети		$I_{\text{ро}}$, А	Отношение тока срабатывания аппарата защиты к расчётному току осветительной линии, $\kappa_{\text{т.о.}}$	Тип автоматического выключателя	$I_{\text{ном.а}}$, А	$I_{\text{ном.р}}$, А
Начало	Конец					
ТП2 (Т1)	ЩО-1	34.55	1.4	A3720	250	160
ЩО-1	1	13.53	1.4	AE2043	63	20
ЩО-1	2	13.53	1.4	AE2043	63	20
ЩО-1	3	13.53	1.4	AE2043	63	20
ЩО-1	4	5.07	1.4	AE2043	63	8
ЩО-1	5	4.91	1.4	AE2043	63	8
ТП2 (Т2)	ЩАО-1	5.22	1.4	BA51-33	160	80
ЩАО-1	13	2.61	1.4	BA51-29	63	6.3
ЩАО-1	14	2.61	1.4	BA51-29	63	6.3

Выводы по разделу 3.

Выбор сечений проводов осветительной сети выполнен по допустимой потере напряжения $\Delta U_{\text{д}}$ и по допустимому нагреву длительным расчётным током. Основное освещение подключено к щитку освещения ЩО-1, аварийное освещение – к щитку аварийного освещения ЩАО-1. Составлены расчетные схемы освещения. Для каждой линии освещения подобраны защитные аппараты.

4 Технико-экономические показатели проекта

Годовое потребление электроэнергии W находим

$$W=W_{\text{СИЛ}}+W_{\text{ОСВ}}+\Delta W, \quad (87)$$

$$W_{\text{СИЛ}}=P_{\text{СИЛ}} \cdot T_{\text{МАХ}}, \quad (88)$$

$$W_{\text{ОСВ}}=P_{\text{Р.ОСВ}} \cdot T_{\text{ОСВ}}, \quad (89)$$

где $W_{\text{СИЛ}}$ – энергия, потребления силовой нагрузкой предприятия;

$W_{\text{ОСВ}}$ – энергия на освещение;

ΔW – годовая величина потерь электроэнергии в общезаводских сетях (после компенсации);

$T_{\text{ОСВ}}$ – число часов использования в году максимума осветительной нагрузки, для предприятия, работающего в две смены $T_{\text{ОСВ}}=1600$ г/год;

$P_{\text{ОСВ}}$ – мощность осветительных приборов;

$P_{\text{СИЛ}}$ – максимальная активная нагрузка силовых электроприемников.

$$W_{\text{СИЛ}}=3899,6 \cdot 4500=17548,2 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч};$$

$$W_{\text{ОСВ}}=324,7 \cdot 1600=519,5 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta W=120,1+50,949=171,05 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}.$$

$$W=17548,2+519,5+171,05=18238,75 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}.$$

Максимальное значение потребляемой активной мощности

$$P_{\text{МАХ}}=W/T_{\text{МАХ}}, \quad (90)$$

$$P_{\text{МАХ}}=18238,75/4500=4,053 \text{ МВт}.$$

Стоимость полезного кВт·ч $C_{\text{ПОЛ}}$ по выражению

$$C_{\text{ПОЛ}} = (\Pi_{\text{ЭЛ}} + I_{\text{ам.}} + 1,1 \cdot I_{\text{экс.}}) / W_{\text{пол.}}, \quad (91)$$

где $\Pi_{\text{ЭЛ}}$ – плата за электрическую энергию.

$$\Pi_{\text{ЭЛ}} = a \cdot P_{\text{МАХ}} + b \cdot W, \quad (92)$$

$$\Pi_{\text{ЭЛ}} = 242880 \cdot 4053 + 188,1 \cdot 18238,75 \cdot 10^3 = 4415,1 \text{ млн. руб.}$$

Тогда стоимость полезного кВт·ч по (15.19)

$$C_{\text{ПОЛ}} = (4415,1 + 12,32 + 1,1 \cdot 9,24) / 18067,7 = 245,6 \text{ руб. /кВт·ч.}$$

Расчет других технико-экономических показателей произведен в предыдущих пунктах, результаты сводим в таблицу 22.

Таблица 22 – Техничко-экономические показатели

№ пп	Наименование показателей	Обозначение	Ед. измерения	Величина
1	2	3	4	5
1	Суммарная мощность цеховых трансформаторов	$S_{\text{ТР}}$	МВА	5.52
2	Максимальная мощность, потребляемая блоками цехов по производству малогабаритных трансформаторов	$P_{\text{МАХ}}$	МВт	4.053
3	Время использования максимума нагрузки	$T_{\text{МАХ}}$	ч/год	4500
4	Годовое потребление энергии	W	тыс. кВт·ч	18238.75
5	Потери электроэнергии (после компенсации)	ΔW	тыс. кВт·ч	171.05
6	Стоимость основных фондов	$K_{\text{ОФ}}$	млн. руб.	308.2

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5
7	Стоимость потребленной электроэнергии	П _{ЭЛ}	млн. руб.	4415.1
8	Стоимость полезного кВт·ч энергии	С _{пол}	руб. /квт·ч	245.6
9	Приведенные затраты выбранного варианта электроснабжения.	З	млн. руб.	99.93
10	Срок окупаемости КУ	Т _{ок}	год	5.8
11	Годовой экономический эффект	ΔЗ	млн. руб.	2.969

Выводы по разделу 4.

В данном разделе подсчитаны экономические показатели проекта и в единую таблицу сведены технико-экономические показатели. За годовое время работы принято число часов использования в году максимума осветительной нагрузки, для предприятия, работающего в две смены $T_{осв}=1600$ ч/год. Приведенные затраты выбранного варианта электроснабжения составили 99,93 млн. руб. Срок окупаемости компенсирующих устройств 5,8 лет. Годовой экономический эффект 2,969 млн. руб.

Заключение

В работе спроектирована надежная и экономичная система снабжения электроприемников механического корпуса машиностроительного завода электроэнергией требуемого качества.

В механическом корпусе производятся технологические процессы, включающие в себя изготовление разнообразных несущих конструкций, деталей, узлов и т.д.

В первом разделе рассмотрены особенности технологического процесса в проектируемом объекте, дана краткая характеристика проектируемого корпуса и расположенных в нем потребителей электроэнергии, произведен выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов.

Во втором разделе выполнен расчет внутрицеховой электрической сети: рассчитаны электрические нагрузки, в том числе подробно для заготовительного цеха. Произведен выбор трансформаторов и КУ. Расчет показал, что применение КУ окупится через 5,8 лет.

Рассчитана электрическая сеть освещения. Для групповых линий осветительной сети принят коэффициент мощности нагрузки 0.95. Составлена расчётная схема рабочего освещения, в соответствии с проектом цеха. Произведен выбор сечений проводов осветительной сети с применением метода допустимой потери напряжения ΔU_{∂} и по допустимому нагреву длительным расчётным током. Основное освещение подключено к щитку освещения ЩО-1, аварийное освещение – к щитку аварийного освещения ЩАО-1. Составлены расчетные схемы освещения. Для каждой линии освещения подобраны защитные аппараты.

В четвертом разделе определены технико-экономические показатели проекта. Приведенные затраты выбранного варианта электроснабжения составили 99,93 млн. руб. Годовой экономический эффект 2,969 млн. руб.

Список используемых источников

1. Обобщение мировых тенденций развития трансформаторного оборудования (по итогам 46-й сессии СИГРЭ 2016 г) [Электронный ресурс] / URL: <http://cigre.ru/46ru/presentations/%D0%902%20%D0%9B%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%20%D0%92.%D0%A1..pdf> (дата обращения: 15.04.2020).
2. Виды электрических сетей [Электронный ресурс]: Интернет-портал «Школа для электрика». URL: <http://electricalschool.info/sety/1508-vidy-jelektricheskikh-setejj.html> (дата обращения 15.04.2020).
3. Радиальные и магистральные схемы электроснабжения [Электронный ресурс]: Информационные ресурс «StudFiles». URL: <https://studfile.net/preview/4238205/page:10/> (дата обращения 15.04.2020).
4. Климова Г. Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение : учеб. пособие для приклад. Бакалавриата. Москва. : Юрайт, 2016. 179 с.
5. Косоухов Ф. Д. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке. Санкт-Петербург. : Лань, 2016. 280 с.
6. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2017 г. М.: КНОРУС, 2017. 782 с
7. Коэффициенты использования $K_{и}$ и $\cos\phi$ машиностроительного оборудования [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Онлайн Электрик». URL: <https://online-electric.ru/dbase/kicos.php?query=&type=%EE&type4> . (дата обращения 01.05.2020).
8. Вопросы электроснабжения, электрооборудования физкультурно-оздоровительного комплекса [Электронный ресурс] : учебные материалы для студентов. URL: <http://vunivere.ru/work68937>. (дата обращения: 01.05.2020).

9. Методические рекомендации Методические рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и линейных сооружений коммунальных распределительных электрических сетей. Выпуск 1. Техническое обслуживание и ремонт трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ [Электронный ресурс]: URL: https://znaytovar.ru/gost/2/Methodicheskie_rekomendaciiMeto395.html (дата обращения 01.05.2020).

10. Маньков В. Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. СПб: НОУ ДПО "УМИТЦ "Электро Сервис". 2016. с 664.

11. Козловская В. Б. Электрическое освещение: справочник. 2-е изд. Минск: Техноперспектива, 2018. 271 с.

12. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М.: Высшая школа, 2016. 327 с

13. Синенко Л. С., Попов Ю. П., Сизганова Е. Ю., Южанников А. Ю. Системы электроснабжения: сб. заданий по курсовому проектированию. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2014. 84 с.

14. Стандарт IEEE 1366-2003 Индексы надежности распределения и факторы, влияющие на их расчеты [Электронный ресурс]: Информационный портал «Standart Association». URL: <https://standards.ieee.org/standard/1366-2003.html> (дата обращения 02.05.2020).

15. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 78 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>

16. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 510 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>

17. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и

городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1>

18. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд., испр. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2019. – 214 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1009603>

19. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152>

20. Кокин, С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев, А.И. Хальясма. – 2-е изд., стер. – М. : Флинта ; Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 100 с.

21. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. – М : Инфра-Инженерия, 2018. – 148 с.19.

22. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 46 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>

23. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлению подготовки "Электроэнергетика и электротехника", профиль "Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений" / Э. А. Киреева. - Гриф УМО. - Москва : КНОРУС, 2016. - 233 с.

24. Библия электрика : ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. - 3-е изд. - Москва : [Эксмо], 2016. - 750 с.
25. Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств [Электронный ресурс] : произв.-практ. пособие / В. В. Красник. - Москва : ЭНАС, 2016. - 319 с.
26. Потери энергии в электрических сетях и установках [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. В. Маслакова [и др.]. - Липецк : Липец. гос. техн. ун-т : ЭБС АСВ, 2018. - 79 с.
27. Соловьев А.Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад ; под ред. А. В. Беляева. - Санкт-Петербург : Политехника, 2016. - 175 с.
28. Расчет режимов распределительных электрических сетей [Электронный ресурс] : учеб. пособие для магистров / П. О. Гуков [и др.] ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. Императора Петра I. - Воронеж : ВГАУ им. Петра I, 2017. - 105 с.
29. Electric Power Substations Engineering (Electric Engineering Handbook). Third Edition. Edited by John D. McDonald. CRC Press, May 16, 2016. 536 pages
30. GRID 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 years, United States Department of Energy, Office of Electric Transmission and Distribution, 2015. 389 pages
31. A. Apostolov and M. Janssen. IEC 61850 impact on substation design, paper number 0633, IEEE PES, 2018. 698 pages
32. Electric Power Generation, Transmission, and Distribution, Third Edition Edited by Leonard L. Grigsby. CRC Press, 2015. 489 pages
33. Electric Power Transformer Engineering, Third Edition Edited by James H. Harlow. CRC Press, 2016. 657 pages.