

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина
« ____ » _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы внутреннего электроснабжения ООО
«Амурский металлист»

Исполнитель
студент группы 842-об3

подпись, дата

А.Д. Черемисин

Руководитель
профессор,
доктор. техн. наук

подпись, дата

Н.В. Савина

Консультант по
безопасности и
экологичности
доцент, канд. техн. наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
доцент, канд. техн. наук

подпись, дата

А.Н. Козлов

Благовещенск 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина
« ____ » _____ 2022 г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Черемисина Анатолия Дмитриевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы внутреннего электроснабжения ООО «Амурский металлист»

(утверждено приказом от _____ № _____)

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: однолинейная схема завода, план механосборочного цеха, план литейного цеха, спецификация оборудования, материалы производственной и преддипломной практик, нормативно-справочная литература: ПУЭ, ГОСТы, ПТЭ, ПТБ.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): 1.Краткое писание технологического процесса; 2.Характеристика объекта; 3.Расчет электрических нагрузок; 4.Разработка системы низковольтного электроснабжения; 5.Выбор и проверка оборудования 6.Релейная защита и автоматика, сигнализация в системе электроснабжения предприятия; 7.Оценка надежности системы электроснабжения; 8 Безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): 1.План электроснабжения механического цеха вариант 1; 2.План электроснабжения механического цеха вариант 2; 3.План электроснабжения литейного цеха; 4.Однолинейная схема электроснабжения КТП№1; 5.Однолинейная схема электроснабжения КТП№2; 6.Однолинейная схема электроснабжения КТП№3; 7.Карты селективности автоматических выключателей механического цеха

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – А.Б. Булгаков.

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: Наталья Викторовна Савина, профессор, доктор. тех. наук.

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 205 страницах, содержит 19 рисунков, 66 таблиц, 20 источников литературы.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК, ЦЕНТР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ШИНОПРОВОД, ПЛАВКАЯ ВСТАВКА, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, КАРТА СЕЛЕКТИВНОСТИ, СЕЛЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЗАЩИТ, УСТАВКА СРАБАТЫВАНИЯ.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является реконструкция системы внутреннего электроснабжения цехов, завода ООО «Амурский металлист».

Предметом исследования является электрооборудование механосборочного и литейного цехов, выбор коммутационной аппаратуры и средств селективной защиты, автоматики.

Целью выпускной квалификационной работы является спроектировать систему электроснабжения механосборочного цеха, отвечающую всем правилам и стандартам.

Задачи: произвести расчет нагрузок силовой части электрооборудования; расчет освещения, и последующая модернизация; выбор трансформатора подстанций цехов; выбор схемы электроснабжения цехов; разработка безопасной эксплуатации оборудования; реконструкция цехового освещения.

Произведен расчет токов короткого замыкания и расчет коммутационного оборудования по номинальным данным.

Рассмотрены вопросы безопасности, экологичности, освещения и вентиляции рабочих помещений производственного цеха.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Краткое описание технологического процесса	9
2 Характеристика объекта.....	10
2.1 Характеристика электроприемников завода.....	10
3 Расчет электрических нагрузок	21
3.1 Расчет осветительной нагрузки	21
3.2 Приведение однофазных нагрузок к условным трехфазным.....	25
3.3 Расчет электрических нагрузок для проектирования низковольтной сети цеха	32
4 Разработка схемы низковольтного электроснабжения	46
4.1 Выбор схемы и конструктивное выполнение внутрицехового электроснабжения до 1кв.....	46
4.2 Определение центра электрических нагрузок	47
4.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов.....	55
4.4 Расчет компенсации реактивной мощности	84
4.5 Определение загрузки цеховых трансформаторов	87
5 Выбор и проверка оборудования.....	89
5.1 Выбор сечения кабелей и проводов	89
5.2 Выбор шинпроводов	96
5.3 Выбор силовых пунктов.....	98
5.4 Выбор питающих кабелей.....	102
5.5 Проверка проводников.....	106
5.6 Расчет токов короткого замыкания в схеме внутреннего электроснабжения	110
5.7 Выбор защитной аппаратуры	119
5.8 Выбор оптимального варианта схемы низковольтного	

электроснабжения цеха.....	135
6 Релейная защита и автоматика, сигнализация в системе электроснабжения завода	140
6.1 Выбор уставок автоматических выключателей.....	140
6.2 Разработка релейной защиты силовых трансформаторов.....	146
6.4 Выбор системы оперативного тока	159
6.5 Автоматика на ктп.....	160
6.6 Организация измерения и учета электроэнергии	163
7 Оценка надежности системы электроснабжения	164
8 Безопасность и экологичность.....	169
8.1 Безопасность	169
8.2 Экологичность	184
8.3 Чрезвычайные ситуации	185
Заключение	187
Приложение А	190
Приложение Б.....	195
Приложение В	199

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

БК – батареи конденсаторов;

ВН – высокое напряжение;

ИП – источник питания;

КЛ – кабельная линия;

НН – низкое напряжение;

ПС – подстанция;

РУ – распределительное устройство;

ТП – трансформаторная подстанция;

ЦП – центр питания.

ВВЕДЕНИЕ

Основными потребителями электрической энергии являются промышленные предприятия. Они расходуют более половины всей энергии, вырабатываемой в нашей стране.

Актуальность данной выпускной квалификационной работы заключается в том, что ввод в действие новых предприятий, расширение существующих, рост энерговооруженности, широкое внедрение различных видов электротехнологии во всех отраслях производств выдвигают проблему их рационального электроснабжения.

В настоящее время электроэнергетика России является важнейшим жизнеобеспечивающей отраслью страны. В ее состав входит более 700 электростанций общей мощностью 215,6 млн кВт.

Система распределения столь большого количества электроэнергии на промышленных предприятиях должна обладать высокими техническими и экономическими показателями и базироваться на новейших достижениях современной техники. Поэтому электроснабжение промышленных предприятий должно основываться на использовании современного конкурентоспособного электротехнического оборудования.

Объектом исследования в представленной работе является механический и литейный цеха. Предметом исследования – электроснабжение этих цехов.

Основываясь на аргументации об актуальности выбранной темы, можно определить целевую ориентацию работы.

Цель выпускной квалификационной работы: дать краткую характеристику системы электроснабжения инструментального цеха по электрическим нагрузкам, режиму работы, роду тока, питающему напряжению и сделать расчет электрических нагрузок по цеху и предприятию в целом.

В соответствии с данной целью в выпускной квалификационной работе решаются следующие задачи:

1. Изучить и проанализировать литературу нормирования документа по электроснабжению отрасли.

2. Рассчитать характеристики промышленного оборудования.

3. Спроектировать схему электроснабжения.

4. Обобщить результаты, сделать выводы и оформить работу.

При написании проекта использовались методы сбора первичной информации, аналитический и метод систематизации.

1 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

«Амурский металлист» - завод тяжелого машиностроения, специализирующийся на производстве оборудования для предприятий горнодобывающего, угольного, золотодобывающего, мостостроительного, дорожно-строительного комплексов. Выпускает горнопроходческие комплексы для подземной добычи полезных ископаемых - золота, никеля, угля. Изготавливает буровые станки для строительства мостов, дорог, ЛЭП.

Завод имеет все технологические передель для производства ответственной и крупногабаритной техники весом до 30 тонн. В наличии кузнечное, термическое и литейное производство, позволяющее получать отливки весом до трех тонн из чугуна, углеродистой и марганцовистой стали, бронзы и алюминия. Механическое производство оснащено мощным парком зубофрезерных и карусельно-расточных станков. Работает установка плазменной резки металла. Сварочное производство ведется на сварочных полуавтоматах и газорезательных установках.

Механосборочное производство, состоящее из комплекса производственных участков и вспомогательных подразделений, представляет собой сложную динамическую систему, структура и параметры которой находятся в зависимости от сложности конструкции, номенклатуры выпускаемой продукции и характеристик производственного процесса ее изготовления. При этом часто необходимо выпускать новые изделия, отвечающие современным требованиям.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Снабжение механосборочного и литейного цехов электроэнергией осуществляется АО «ДРСК» Дальневосточная распределительная сетевая компания. До цеховых КТП напряжение идет по кабелю, проложенному под землей с подстанций, расположенной на территории предприятия. Передача электроэнергии, в цехе по плану, должна выполняться от шинпровода соединенным с силовым пунктом распределения энергии, далее вся система коммутируется в один единый узел через предохранители. По степени надежности электроприемники относятся к I и II категориям.

Задачей системы электроснабжения механосборочного и литейного цехов является оптимальный выбор проводников электрической энергии электрического питания, которым является главная понизительная подстанция, к комплектным трансформаторным подстанциям цехов с компенсаторами реактивной мощности, для дальнейшего распределения энергии по электрооборудованию цехов и хозяйственным помещениям. Схема сетей должна удовлетворять требования надежности, экономичности, безопасности, удобства в эксплуатации, дальнейшего развития, обеспечивать необходимое качество энергии у потребителей и экономическую чистоту, т.е. малое влияние на окружающую среду. При проектировании систем электроснабжения необходимо использовать надежные простые схемы построения электрических сетей.

2.1 Характеристика электроприемников завода

Завод имеет все технологические переделы для производства ответственной и крупногабаритной техники весом до 30 тонн. В наличии кузнечное, термическое и литейное производство, позволяющее получать отливки весом до трех тонн из чугуна, углеродистой и марганцовистой стали, бронзы и алюминия. Механическое производство оснащено мощным парком зубофрезерных и карусельно-расточных станков. Работает установка плазменной резки металла. Сварочное производство ведется на сварочных

полуавтоматах и газорезательных установках. Исходные данные трехфазных и однофазных нагрузок механосборочного цеха представлены в таблице 1 и в таблице 2 соответственно.

Таблица 1 – Трехфазные нагрузки механосборочного цеха

Участок	№ ЭП	Наименование оборудования	Активная мощность, кВт
1	2	3	4
1	1-1	Полуавтомат протяжной горизонтальный	30
	1-2	Горизонтально-протяжной станок	20
	1-4	Автомат токарно-револьверный одношпиндельный	12,8
	1-5	Автомат токарно-револьверный одношпиндельный	12,8
	1-6	Автомат токарно-револьверный одношпиндельный	12,8
	1-7	Мостовой кран 10 т	12,8
	2	2-1	Приточная установка
2-4		Токарно-винторезный станок	15
2-5		Вертикальный консольно-фрезерный станок	7
2-6		Горизонтальный консольно-фрезерный станок	5,5
2-7		Вертикальный шпоночно-фрезерный станок	3,5
2-8		Горизонтальный консольно-фрезерный станок	14
2-9		Горизонтальный консольно-фрезерный станок	5,5
2-10		Вертикальный консольно-фрезерный станок	11
2-11		Вертикальный консольно-фрезерный станок	12
2-12		Вертикальный консольно-фрезерный станок	12
2-13		Токарно-винторезный станок	13
2-14		Станок трубонарезной	19,7
2-15		Токарно-винторезный станок	12,9
2-16		Токарно-винторезный станок	14
2-17		Сверлильный станок	1,5
2-19	Мостовой кран 5-10 т	13	
3	3-1	Долбежный станок	7,5
	3-2	Долбежный станок	20
	3-3	Вертикально-фрезерный станок	15
	3-4	Горизонтально-фрезерный станок	10
	3-5	Токарно-винторезный станок	12,97
	3-6	Поперечно-строгальный станок	4,2
	3-7	Токарно-винторезный станок	10
	3-8	Токарно-винторезный станок	12
	3-9	Токарно-винторезный станок	12
	3-10	Токарно-винторезный станок	19,7
	3-11	Горизонтально-расточной станок	22,6
	3-12	Горизонтально-расточной станок	22,6
	3-13	Полуавтомат зубофрезерный универсальный	18,67

	3-14	Долбежный станок	7
	3-15	Полуавтомат зубодолбежный вертикальный	27,7
	3-16	Полуавтомат зубодолбежный	7,5
	3-17	Полуавтомат шлицефрезерный	11,6
	3-18	Горизонтально-расточной станок	22,5
	3-19	Универсальный зубофрезерный станок	4,8
	3-20	Зубофрезерный станок	10
	3-21	Зубофрезерный станок	7
	3-22	Зубострогальный автомат	5,2
	3-23	Зубофрезерный станок	10
	3-24	Горизонтально-фрезерный станок	14,3
	3-25	Горизонтально-расточной станок	15
	3-26	Вертикальный консольно-фрезерный станок	11
	3-27	Универсальный зубофрезерный станок	34
4	4-1	Круглошлифовальный станок	15
	4-2	Универсальный круглошлифовальный станок	10
	4-3	Плоскошлифовальный станок	24,3
	4-4	Автомат токарно-револьверный одношпиндельный	12,8
	4-5	Токарно-винторезный станок	12,97
	4-7	Токарно-винторезный станок	7,3
	4-8	Фрезерный станок	7
	4-9	Полуавтомат профиленкатной роликовый	9,97
	4-10	Токарно-винторезный станок	12,97
	4-11	Радиально-сверлильный станок	1,5
	4-12	Токарно-винторезный станок	12,97
	4-13	Токарно-винторезный станок	10
	4-14	Стенд испытаний	3
	4-15	Токарно-винторезный станок	11,7
	4-16	Радиально-сверлильный станок	2,9
	4-17	Вертикально-сверлильный станок	4
	4-18	Гайконарезной станок	2
	4-19	Токарно-винторезный станок	16,3
	4-20	Токарно-винторезный станок	16,3
	4-21	Токарно-винторезный станок	16,3
	4-22	Токарно-винторезный станок	16,3
	4-23	Токарно-винторезный станок	16,3
	4-25	Токарно-винторезный станок	10
	4-26	Токарно-сверлильный станок	10
	4-27	Универсальный токарно-винторезный станок	23,6
	4-28	Универсальный токарно-винторезный станок	23,6
	4-29	Двустоечный карусельный станок	48,7
	4-30	Универсальный токарно-винторезный станок	23,6
	4-31	Токарно-карусельный станок	38,4
	4-32	Специальный трубонарезной станок	22,2

	4-33	Продольно-фрезерный станок	10
	4-34	Токарно-револьверный одношпиндельный станок	12,8
	4-35	Кран консольный	3
	4-36	Кран консольный	3
	4-37	Кран консольный	3
	4-38	Кран консольный	3
	4-39	Приточная установка	6
5	5-6	Универсальный резьбошлифовальный станок	4,1
	5-11	Стенд для испытания камней	7
	5-12	Настольно-сверлильный станок	0,65
	5-13	Пресс гидравлический 40 т	22
	5-14	Радиально-сверлильный станок	4,4
	5-15	Плоскошлифовальный станок	24,59
	5-16	Полуавтомат круглошлифовальный	10,8
	5-17	Радиально-сверлильный станок	14,1
	5-20	Вертикально-расточной станок	2
	5-21	Мостовой кран 5-10 т	13
	5-22	Точильно-шлифовальный станок	2,8
	5-23	Координатно-расточной станок	20,2
	5-24	Консольно-фрезерный станок	9,8
	5-25	Вертикальный консольно-фрезерный станок	11
5-26	Токарно-винторезный станок	12,13	
5-27	Автомат отрезной круглопильный	11,65	
6	6-1	Универсальный фрезерный станок	160
	6-2	Настольно-сверлильный станок	0,65
	6-3	Сверлильный станок	10
	6-4	Точильно-шлифовальный станок	2,8
	6-5	Долбежный станок	20
	6-6	Сверлильный станок	4
	6-7	Пресс	7
	6-8	Кран-балка 5 т	5,5
7	7-1	Ножницы листовые с наклонным ножом	10
	7-2	Радиально-сверлильный станок	2,9
	7-3	Автомат отрезной круглопильный	11,65
	7-4	Автомат отрезной круглопильный	10,31
	7-5	Автомат отрезной круглопильный	11,65
	7-6	Мостовой кран 10 т	13
	7-7	Кран-укосина	3
8	8-1	Сварочный трактор АТ-1 с источником МЗ-1000	47
	8-2	Сварочный выпрямитель ВДГ 401	14,4
	8-3	Старый сварочный аппарат	7,5
	8-4	Сварочный выпрямитель ВДГ 303	17,1
	8-5	Установка для плавки легких сплавов УПЛС-45М	60
	8-7	Электродуговая печь шахтная для газовой цементации	75

	8-8	Электродпечь шахтная для отпуска	37
	8-9	Электродпечь камерная	45
	8-10	Электродпечь камерная	75
	8-11	Электродпечь камерная	60
	8-12	Установка высокочастотная закалочная	63
	8-13	Станок закалочный	62
	8-14	Установка индукционная закалочная	138
	8-15	Кран консольный	1,5
	8-16	Кран консольный	1,5
	8-17	Кран консольный	1,5
	8-18	Кран консольный	3
	8-19	Мостовой кран 5-10 т	138
9	9-2	Сварочный пост МИГ-5000	23
	9-3	Пресс с вилковой подачей 100 т	12,2
10	10-1	Пресс ДГ 2432	10
	10-2	Агрегатный станок	90
	10-3	Консольно-фрезерный станок	14
	10-4	Горизонтально-расточной станок	22,6
	10-5	Пресс	7
	10-6	Сверлильный станок	1,5
	10-7	Пресс шнековый	8
	10-10	Пресс гидравлический 40 т	22
	10-11	Пресс рычажный	10
	10-12	Электродпечь для сушки резины	45
11	11-1	Приточная установка	6
	11-2	Приточная установка	6
	11-3	Мостовой кран 10 т	13
	11-4	Мостовой кран 10 т	13
	11-5	Стенд для нагрева ковша	14
	11-6	Вакуумная система	18,5
	11-7	Система транспортировки песка	15
	11-8	Компрессор	5,5
	11-9	Вентилятор для траспортировки	30
	11-10	Электромагнит	1
	11-11	Вибростол	2,2
	11-12	Вытяжка уличная	55
	11-13	Станция охлаждения	5,5
	11-14	Электродпечь тигельная	350
	11-15	Станок для резки полистирола	0,15
	11-16	Станок для резки полистирола	2,2
	11-17	Предвспениватель	6,6
	11-18	Компрессор	2,2
	11-19	Автоклав	9
	11-20	Парогенератор	38

	11-21	Краскомешалка	4
	11-22	Котел подогрева	9
12	12-1	Ножницы кривошипные листовые	7,5
	12-2	Машина термической резки "Вулкан"	30
	12-3	Машина плазменной резки "Кристалл"	130
	12-4	Мостовой кран 5-10 т	13
	12-5	Компрессор	5
	12-6	Пресс закрытый простого действия 1000 т	83,1
	12-7	Кромкогибочный пресс	30
	12-8	Ножницы кривошипные листовые	7,5
	12-9	Машина листогибочная трехваловая	20
	12-10	Вальцы	30
	12-11	Кран консольный	3
	12-12	Приточная установка	6
	12-13	Сварочный пост МИГ 3500	14,4
	12-14	Сварочный пост МИГ 3500	14,4
13	13-1	Приточная установка	6
	13-2	Сварочный аппарат	7
	13-3	Мостовой кран 32 т	42,84
	13-4	Радиально-сверлильный станок	6,3
	13-5	Радиально-сверлильный станок	2,9
	13-6	Радиально-сверлильный станок	7,5
	13-7	Пресс 100 т	30
	13-8	Радиально-сверлильный станок	5,3
	13-9	Вертикально-сверлильный станок	29,5
	13-10	Вертикально-сверлильный станок	26
	13-11	Сверлильный станок	7
	13-13	Радиально-сверлильный станок	2,9
	13-14	Мостовой кран 10 т	13
	13-16	Настольно-сверлильный станок	6,55
14	14-1	Радиально-сверлильный станок	2,9
	14-2	Ножницы кривошипные листовые	6,5
	14-5	Сварочный пост МИГ-350	7
	14-6	Сварочный пост МИГ-5000	23
	14-7	Кран консольный	1,5
	14-8	Мостовой кран 10 т	1
	14-9	Сварочный пост ПВУ 501	30
	14-10	Сварочный пост МИГ 3500	14,4
	14-12	Сварочный пост ВДГ-401	26,4
	14-13	Сварочный пост МИГ-350	7
	14-14	Сварочный пост МИГ-3500	14,4
	14-15	Кран консольный	1,5
	14-16	Кран консольный	1,5
	14-17	Кран консольный	1,5

14-18	Радиально-сверлильный станок	6,3
14-19	Точильно-шлифовальный станок	3
14-20	Пресс однокривошипный 630 т	20
14-21	Сварочный пост ПВУ 501	30
14-22	Ножницы кривошипные листовые	40
14-23	Пресс-ножницы комбинированные	4,8
14-24	Пресс фрикционный	3,2
14-25	Листогибочная машина	9,7
14-26	Пресс гидравлический	12,8
14-27	Ножницы листовые кривошипные	17
14-28	Пресс-ножницы комбинированные	4,8
14-29	Ножницы листовые кривошипные	17
14-30	Вертикально-сверлильный станок	26
14-31	Пресс кривошипный двойного	23,4
14-32	Мостовой кран 10 т	13
14-33	Пресс однокривошипный 40 т	4,7
14-34	Пресс однокривошипный 25 т	3
14-35	Пресс однокривошипный 100 т	11
14-36	Радиально-сверлильный станок	6,3
14-37	Пресс-ножницы комбинированные	4,8
14-38	Радиально-сверлильный станок	6,3
14-39	Радиально-сверлильный станок	6,3
14-40	Отрезной станок	8,8
14-41	Кран консольный	1,5
14-42	Приточная установка	6
14-43	Приточная установка	6

Таблица 2 – Однофазные нагрузки механосборочного цеха

Участок	№ ЭП	Наименование оборудования	Активная мощность, кВт
1	2	3	4
1	1-3	Наждачный станок	1,5
2	2-2	Заточной станок	2
	2-3	Заточной станок	2
	2-18	Наждачный станок	1,5
4	4-6	Наждачный станок	1,5
5	5-1	Универсальный заточной станок	1,67
	5-2	Универсальный заточной станок	3
	5-3	Станок для ручной заточки резцов	1
	5-4	Универсальный заточной станок	2
	5-5	Станок для заточки дисковых пил	2

	5-7	Станок для заточки резцов	2
	5-8	Обдирочно-шлифовальный станок	2
	5-9	Универсальный заточной станок	1,6
	5-10	Универсальный заточной станок	1,67
	5-18	Универсальный заточный станок	2
	5-19	Универсальный шлифовальный станок	3
	5-22	Точильно-шлифовальный станок	2,8
6	6-4	Точильно-шлифовальный станок	2,8
8	8-6	Наждачный станок	1,5
9	9-1	Заточной станок	2
10	10-8	Наждачный станок	1,5
	10-9	Наждачный станок	1,5
13	13-12	Заточной станок	3
	13-17	Заточной станок	3
14	14-3	Заточной станок	3
	14-4	Заточной станок	3

Таблица 3 – Трехфазные нагрузки литейного цеха

Участок	№ ЭП	Наименование оборудования	Активная мощность, кВт
1	2	3	4
1	1-1	Бегуны смешивающие	55
	1-2	Бегуны смешивающие	30
	1-3	Машина формовочная 234А	1
	1-4	Машина формовочная 234А	1
	1-5	Машина формовочная 232	1
	1-6	Машина формовочная 232	1
	1-7	Мостовой кран формовочного отделения	12,8
	1-8	Приточная установка	6
	1-9	Обогреватель	2
	1-10	Мостовой кран формовочного отделения	12,8
	1-11	Гильотина	10
	1-12	Система конвейеров	10
2	2-1	Печь ДСП 1,5	1350
	2-2	Печь для сушки ферросплавов	15
	2-3	Печь для сушки стопоров	10
	2-4	Мостовой кран 10 т	12,8
	2-5	Установка высокочастотная плавильная ИСТ 0,4/0,5	480
	2-6	Вытяжка крышная	25
	2-7	Вытяжка уличная	20
3	3-1	Решетка выбивная	22

	3-2	Сварочный пост	20
	3-3	Настольный Сверлильный станок 2М112	0,55
	3-4	Радиально-Сверлильный станок 2Л53У	2,9
	3-5	Токарно-винторезный станок 1К62	10
	3-6	Приточная установка	6
	3-7	Приточная установка	6
	3-8	Мостовой кран 10т.	12,8
	3-9	Мостовой кран 10т.	12,8
	4	4-1	Бегуны смешивающие
4-3		Железо отделитель	20
4-2		Транспортерная система	10
5	5-1	Установка для варки жидкого стекла	15
	5-2	Установка для варки жидкого стекла	9
	5-3	Мостовой кран 10 т,	12,8
	5-4	Печь для сушки песка в кипящем слое	50
	5-5	Сварочный трансформатор	20
	5-6	Барабан дробеметный конвейерный	21,5
	5-7	Барабан очистной дробеметный	36,6
	5-8	Камера очистная дробеструйная	28,9
	5-9	Электропечь ПВТ-1,2-600	300
	5-10	Вытяжка барабана	5
	5-11	Вытяжка барабана	5
	5-12	Вытяжка камеры	5
	5-13	Мостовой кран 10 т	12,8

Механосборочный цех включает в себя: токарно-протяжной участок, фрезерно-долбежный участок, участок карусельных станков, токарно-винторезный участок, инструментальный участок, пыльно-покрасочный участок, участок изготовления монорельс, термо-закалочный участок, агрегатно-прессовый участок, участок РТИ, малый литейный цех, участок изготовления моделей, вальцовочно-резочный участок, сварочный участок, участок прессов и ножниц, участок сборки продукции, бытовые помещения и склады.

В состав литейного цеха входят: формовочный участок, сталелитейный участок, выбивной участок, земледельный участок, бытовые помещения, склады и обрубное отделение.

Планы цехов с расположением оборудования представлены на рисунках 1 и 2.

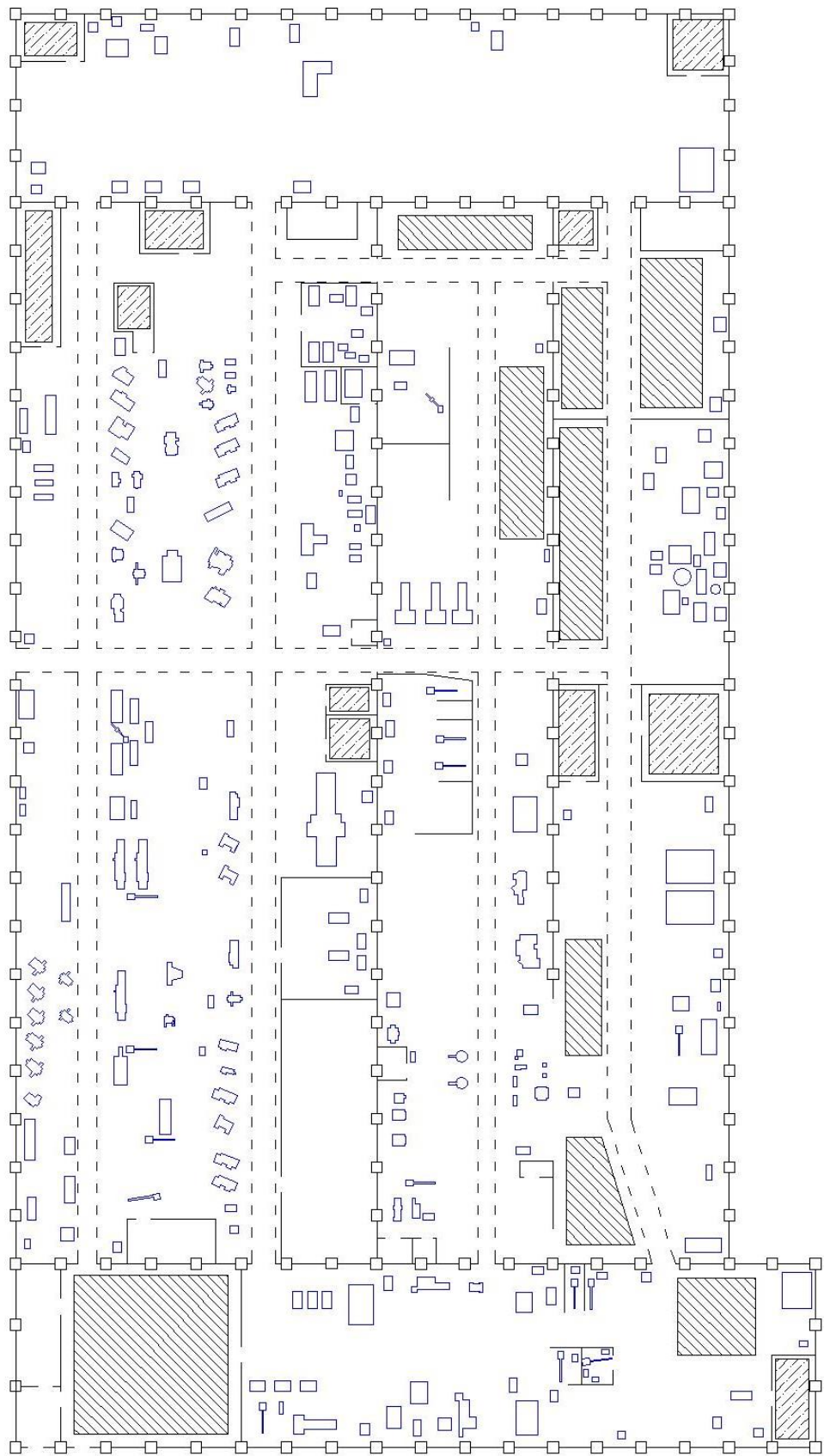


Рисунок 1 – Генеральный план механосборочного цеха

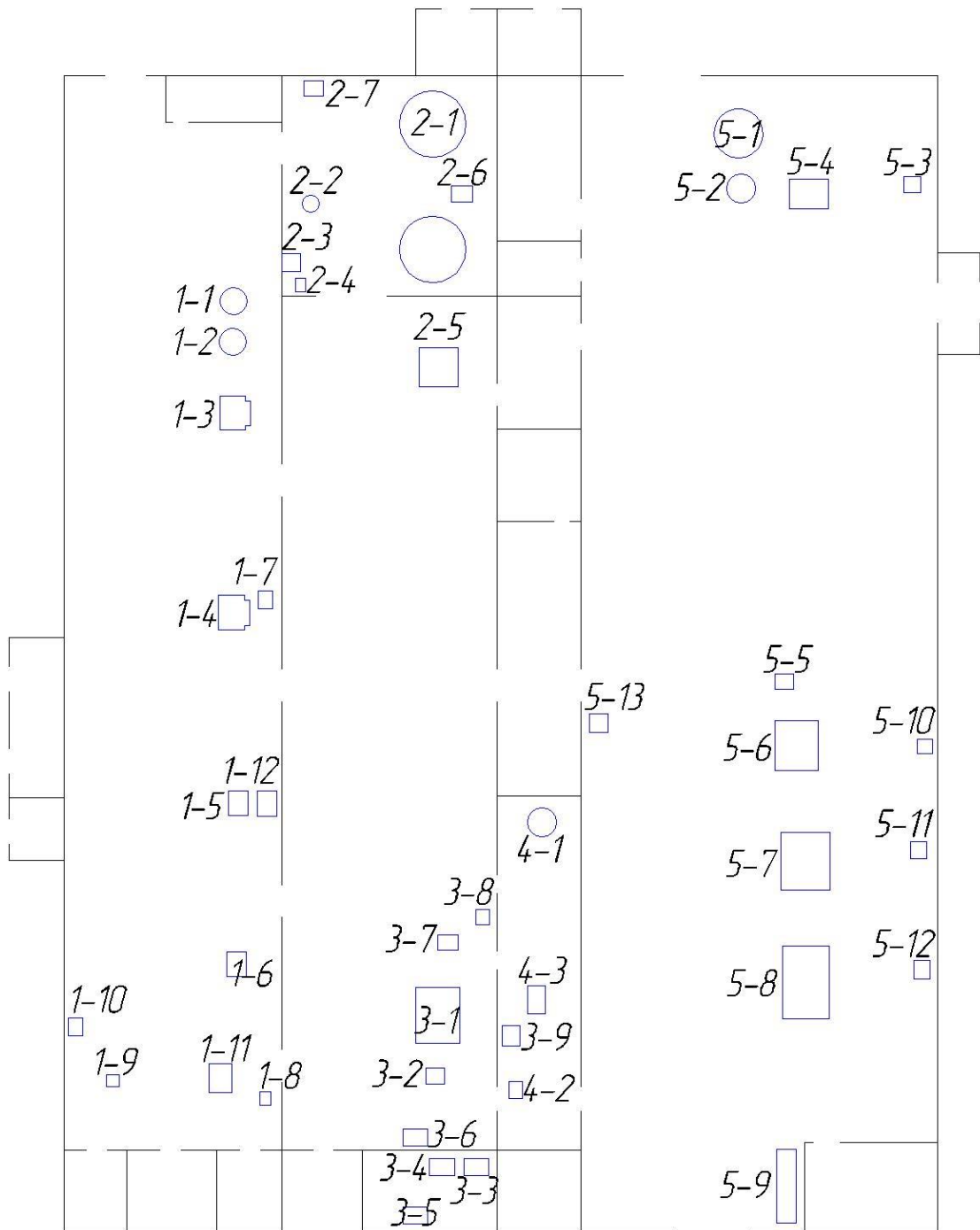


Рисунок 2 – Генеральный план литейного цеха

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

3.1 Расчет осветительной нагрузки

На предприятиях в целях улучшения производственных показателей, а также для снижения утомляемости работников на рабочем месте, постоянно совершенствуются технологии освещения, производится замена ламп ДРЛ на более экономичные и долговечные светодиодные светильники.

Для всех отделений цеха светотехнический расчёт выполняется методом коэффициента использования светового потока. Методика основана на точечном расчете суммарной мощности цеховых осветительных установок, применяемом для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом расположении источников света. Этот метод применяется при непосредственном проектировании осветительных установок в тех случаях, когда известно расположение источников света на плане цеха.

Расчет произведен для половины производственных помещений механосборочного цеха, включающая в себя склад, термический, пыльно-покрасочный, прессовый и сварочный участки.

В помещении с нормальными условиями среды, с разрядом зрительных работ IV, необходимо достичь освещенности $E_H=200$ лк.

Используется светодиодный светильник «Колокол» СДП61Н-11001Д- П-65 со следующими параметрами:

Степень защиты IP67; тип кривой силы света (КСС) Д; КПД светильника $\eta = 90\%$, Потребляемая мощность 70 Вт.

Для определения установленной мощности ламп необходимо найти их количество, которое зависит от размещения светильников.

Размещение светильников в плане и в разрезе помещения определяется следующими размерами:

H – высота помещения, м;

h_c – расстоянием светильника от перекрытия, м;

h_p – высотой расчетной поверхности над полом, м.

Расчётная высота светильника определяется формулой:

$$h = H - h_c - h_p. \quad (1)$$

Так как для расчета освещения выбранного участка значения высоты помещения разные, то и считать эти участки будем отдельно. Расчетная высота для сварочного участка и термо-закалочного участка соответственно:

$$h_{\text{св}} = 14 - 5 - 0,8 = 8,2 \text{ м};$$

$$h_{\text{терм}} = 12,2 - 3 - 0,8 = 8,4 \text{ м}.$$

Расстоянием между соседними светильниками или рядами ламп:

$$L = \lambda_c \cdot h, \quad (2)$$

где λ_c – относительное расстояние между светильниками, принимается равным 1.1, о.е.

$$L_{\text{св}} = 1,1 \cdot 8,2 = 9,02 \text{ м};$$

$$L_{\text{терм}} = 1,1 \cdot 8,4 = 9,24 \text{ м}.$$

Расстояние от крайнего светильника до стены прием равным:

$$l_A = 0,3 \cdot L; \quad (3)$$

$$l_{CB} = 0,3 \cdot 9,02 = 2,71 \text{ м};$$

$$l_{CB} = 0,3 \cdot 9,24 = 2,77 \text{ м}.$$

Число светильников в ряду, шт.:

$$N_A = \frac{A-2 \cdot l}{L} + 1; \quad (4)$$

$$N_B = \frac{B-2 \cdot l}{L} + 1, \quad (5)$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м.

Для сварочного участка число светильников в рядах:

$$N_A = \frac{25-2 \cdot 2,71}{9,02} + 1 = 3,2;$$

$$N_B = \frac{109-2 \cdot 2,71}{9,02} + 1 = 12,5.$$

Округляем в большую сторону и принимаем $N_A = 4$, $N_B = 13$.

Количество светильников в помещении, шт.:

$$N = N_A \cdot N_B. \quad (6)$$

Для сварочного участка число светильников будет:

$$N_{\text{св}} = 3 \cdot 13 = 52 \text{ шт.}$$

Установленная мощность ламп:

$$P_{\text{уст}} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{ном.л.}}$$

где $P_{\text{ном.л.}} = 70 \cdot 10^{-3}$ кВт номинальная мощность лампы.

$$P_{\text{уст}} = 52 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 3,64 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка P_{po} питающей осветительной сети определяется по формуле:

$$P_{po} = K_c \cdot K_{\text{ПРА}} \cdot P_{\text{уст}},$$

где K_c -коэффициент спроса осветительной нагрузки 0,95.

$K_{\text{ПРА}}$ - коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре. 1,1

$$P_{po} = 0,95 \cdot 1,1 \cdot 3,64 = 3,8 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка освещения, квар:

$$Q_{\text{расч}} = P_{\text{po}} \cdot \text{tg}\varphi,$$

где $\text{tg}\varphi$ - коэффициент реактивной мощности освещения, равный 0,48 для выбранных ламп.

$$Q_{\text{расч}} = 3,8 \cdot 0,48 = 1,83 \text{ квар.}$$

Для остальных помещений расчёт производится аналогично.

Результаты расчёта сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет осветительных нагрузок цеха

Участок	Количество светильников N, шт.	Установленная мощность $P_{\text{уст}}$, кВт.	Расчетная нагрузка P_{po} , кВт.	Расчетная реактивная нагрузка $Q_{\text{расч}}$, квар.
1	2	3	4	5
Сварочный участок	52	3,64	3,80	1,83
Термический участок	96	6,72	7,02	3,37
Сборочный участок	48	3,36	3,51	1,69
Механический участок	96	6,72	7,02	3,37
Формовочный участок	30	2,1	2,19	1,05
Сталелитейный участок	44	3,08	3,22	1,54
Обрубное отделение	40	2,8	2,93	1,40
Котельная	24	1,68	1,76	2,60

3.2 Приведение однофазных нагрузок к условным трехфазным

В проекте имеются однофазные нагрузки, которые необходимо привести к трехфазным: станки заточные и станки наждачные.

Для первого варианта конфигурации сети нагрузки распределим по фазам с наибольшей равномерностью и определяем величину неравномерности. Пофазное распределение нагрузки для всех цеховых подстанций с однофазной нагрузкой указано в таблицах 5,6,7.

Таблица 5 – Пофазное распределение нагрузки для КТП №1

Фаза	№ ЭП	Распределенное оборудование	Активная мощность, кВт	Итого нагрузка на фазу, кВт
А	2-2	Заточной станок	2	3,5
	2-18	Наждачный станок	1,5	
В	2-3	Заточной станок	2	3,5
	4-6	Наждачный станок	1,5	
С	6-4	Точильно-шлифовальный станок	2,8	2,8

Таблица 6 – Пофазное распределение нагрузки для КТП №2

Фаза	№ ЭП	Распределенное оборудование	Активная мощность, кВт	Итого нагрузка на фазу, кВт
А	5-5	Станок для заточки дисковых пил	2	11,5
	5-4	Универсальный заточной станок	2	
	5-7	Станок для заточки резцов	2	
	5-8	Обдирочно-шлифовальный станок	2	
	1-3	Наждачный станок	1,5	
	9-1	Заточной станок	2	
В	5-18	Универсальный заточной станок	2	11,6
	5-10	Универсальный заточной станок	2	
	5-1	Универсальный заточной станок	1,6	
	5-19	Универсальный шлифовальный станок	3	
	13-12	Заточной станок	3	
С	5-2	Универсальный заточной станок	3	11,4
	5-3	Станок для ручной заточки резцов	1	
	5-9	Универсальный заточной станок	1,6	
	5-22	Точильно-шлифовальный станок	2,8	
	13-17	Заточной станок	3	

Таблица 7 – Пофазное распределение нагрузки для КТП №3

Фаза	№ ЭП	Распределенное оборудование	Активная мощность, кВт	Итого нагрузка на фазу, кВт
А	10-8	Наждачный станок	1,5	3
	10-9	Наждачный станок	1,5	
В	14-3	Заточной станок	3	3
С	14-4	Заточной станок	3	4,5
	8-6	Наждачный станок	1,5	

Величина неравномерности определяется по формуле:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $P_{\text{ф.нб}}$ – наиболее загруженная фаза. Принимаем пару фаз С,

$P_{\text{ф.нм}}$ – наименее загруженная фаза. Принимаем пару фаз А.

Получаем величину неравномерности для КТП №2:

$$H_{\text{КТП№2}} = \frac{11,6 - 11,4}{11,4} \cdot 100\% = 1,8 \%$$

Так как величина неравномерности меньше 15%, то однофазные электроприемники учитываются как трехфазные той же суммарной мощности.

Аналогично определим величину неравномерности для других цеховых подстанций с однофазными нагрузками.

$$H_{\text{КТП№1}} = \frac{3,5 - 2,8}{2,8} \cdot 100\% = 25 \%$$

$$H_{\text{КТП№3}} = \frac{4,5 - 3}{3} \cdot 100\% = 50 \%$$

В обоих случаях величина неравномерности превышает 15%. Следовательно, величина условной трехфазной равна:

$$P_y = 3 \cdot P_{\text{ф.нб}}; \quad (8)$$

$$P_{y \text{ КТПП}\#1} = 3 \cdot 3,5 = 10,5 \text{ кВт};$$

$$P_{y \text{ КТПП}\#3} = 3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ кВт}.$$

Через пропорции мощностей ЭП определим номинальную мощность каждого ЭП. Общая однофазная нагрузка станков:

$$P_{\text{ном.1фаз}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.1фаз}i}, \quad (9)$$

где $P_{\text{ном.1фаз}i}$ – однофазная нагрузка ЭП.

$$P_{\text{ном.1фаз}\Sigma 1} = 2,8 + 3,5 + 3,5 = 9,8 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ном.1фаз}\Sigma 3} = 4,5 + 3 + 3 = 10,5 \text{ кВт}.$$

Нагрузка однофазных ЭП, приведенная к условной трехфазной находится через пропорции мощностей:

$$P_{\text{ном.3фаз}} = \frac{P_{\text{ном.1фаз}}}{P_{\text{ном.1фаз}\Sigma}} \cdot P_y. \quad (10)$$

Тогда условная трехфазная нагрузка заточного станка 2-2 примет значение:

$$P_{\text{ном.3фаз}} = \frac{2,8}{8} \cdot 8,4 = 2,94 \text{ кВт};$$

Все однофазные нагрузки цеха, приведенные к трехфазным занесены в таблицу 8.

Таблица 8 – Однофазные нагрузки механосборочного цеха

Участок	№ ЭП	Наименование оборудования	Активная мощность, кВт
1	2	3	4
1	1-3	Наждачный станок	1,5
2	2-2	Заточной станок	2,14
	2-3	Заточной станок	2,14
	2-18	Наждачный станок	1,61
4	4-6	Наждачный станок	1,61
5	5-1	Универсальный заточной станок	1,67
	5-2	Универсальный заточной станок	3
	5-3	Станок для ручной заточки резцов	1
	5-4	Универсальный заточной станок	2
	5-5	Станок для заточки дисковых пил	2
	5-7	Станок для заточки резцов	2
	5-8	Обдирочно-шлифовальный станок	2
	5-9	Универсальный заточной станок	1,6
	5-10	Универсальный заточной станок	1,67
	5-18	Универсальный заточной станок	2
	5-19	Универсальный шлифовальный станок	3
	5-22	Точильно-шлифовальный станок	2,8
6	6-4	Точильно-шлифовальный станок	3
8	8-6	Наждачный станок	1,93
9	9-1	Заточной станок	2
10	10-8	Наждачный станок	1,93
	10-9	Наждачный станок	1,93
13	13-12	Заточной станок	3
	13-17	Заточной станок	3
14	14-3	Заточной станок	3,86
	14-4	Заточной станок	3,86

Пофазное распределение нагрузки для подстанций второго варианта конфигурации указано в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Пофазное распределение нагрузки для КТП №1

Фаза	№ ЭП	Распределенное оборудование	Активная мощность, кВт	Итого нагрузка на фазу, кВт
1	2	3	4	5
А	9-1	Заточной станок	2	5
	10-8	Наждачный станок	1,5	
	10-9	Наждачный станок	1,5	
В	14-4	Заточной станок	3	4,5
	8-6	Наждачный станок	1,5	
С	14-3	Заточной станок	3	3

Таблица 10 – Пофазное распределение нагрузки для КТП №2

Фаза	№ ЭП	Распределенное оборудование	Активная мощность, кВт	Итого нагрузка на фазу, кВт
1	2	3	4	5
А	2-2	Заточной станок	2	14,1
	2-3	Заточной станок	2	
	2-18	Наждачный станок	1,5	
	5-4	Универсальный заточной станок	2	
	5-9	Универсальный заточной станок	1,6	
	5-18	Универсальный заточной станок	2	
	5-19	Универсальный шлифовальный станок	3	
В	4-6	Наждачный станок	1,5	14,1
	5-1	Универсальный заточной станок	1,6	
	5-2	Универсальный заточной станок	3	
	5-3	Станок для ручной заточки резцов	1	
	5-5	Станок для заточки дисковых пил	2	
	5-10	Универсальный заточной станок	2	
	13-12	Заточной станок	3	
С	1-3	Наждачный станок	1,5	14,1
	5-7	Станок для заточки резцов	2	
	5-8	Обдирочно-шлифовальный станок	2	
	5-22	Точильно-шлифовальный станок	2,8	
	6-4	Точильно-шлифовальный станок	2,8	
	13-17	Заточной станок	3	

Получаем величину неравномерности для КТП №2:

$$H_{\text{КТП}\#2} = \frac{14,1 - 14,1}{14,1} \cdot 100\% = 0 \%$$

Так как величина неравномерности меньше 15%, то однофазные электроприемники учитываются как трехфазные той же суммарной мощности.

Аналогично определим величину неравномерности для других цеховых подстанций с однофазными нагрузками.

$$H_{\text{КТП}\#1} = \frac{5 - 3}{3} \cdot 100\% = 66,6 \%$$

Величина неравномерности превышает 15%. Следовательно, величина условной трехфазной равна:

$$P_{\text{у КТП}\#1} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ кВт.}$$

Через пропорции мощностей ЭП определим номинальную мощность каждого ЭП.

Все однофазные нагрузки цеха, приведенные к трехфазным занесены в таблицу 11.

Таблица 11 – Однофазные нагрузки механосборочного цеха

Участок	№ ЭП	Наименование оборудования	Активная мощность, кВт
1	2	3	4
1	1-3	Наждачный станок	1,5
2	2-2	Заточной станок	2
	2-3	Заточной станок	2
	2-18	Наждачный станок	1,5
4	4-6	Наждачный станок	1,5
5	5-1	Универсальный заточной станок	1,6
	5-2	Универсальный заточной станок	3
	5-3	Станок для ручной заточки резцов	1

	5-4	Универсальный заточной станок	2
	5-5	Станок для заточки дисковых пил	2
	5-7	Станок для заточки резцов	2
	5-8	Обдирочно-шлифовальный станок	2
	5-9	Универсальный заточной станок	1,6
	5-10	Универсальный заточной станок	1,5
	5-18	Универсальный заточной станок	2
	5-19	Универсальный шлифовальный станок	3
	5-22	Точильно-шлифовальный станок	2,8
6	6-4	Точильно-шлифовальный станок	3
8	8-6	Наждачный станок	1,93
9	9-1	Заточной станок	2
10	10-8	Наждачный станок	1,93
	10-9	Наждачный станок	1,93
13	13-12	Заточной станок	3
	13-17	Заточной станок	3
14	14-3	Заточной станок	3,86
	14-4	Заточной станок	3,86

3.3 Расчет электрических нагрузок для проектирования низковольтной сети цеха

Определение ожидаемых (расчетных) значений электрических нагрузок является первым и основополагающим этапам проектированием СЭС. Расчетная максимальная мощность, потребляемая электроприемниками предприятия, всегда меньше суммы номинальных мощностей этих ЭП.

Завышение ожидаемых нагрузок приводит к удорожанию строительства, перерасходу проводникового материала и неоправданному увеличению мощности трансформаторов и прочего оборудования. Занижение может привести к уменьшению пропускной способности электросети, к лишним потерям мощности, перегреву проводов, кабелей и трансформаторов, а следовательно, к сокращению срока их службы.

Исходные данные для расчета: типы и виды электроприёмников, их номинальная мощность, которая определяется по заданию технологов, а также коэффициент использования и коэффициент эффективной мощности из справочных данных.

Паспортная мощность приводится к номинальной при ПВ 100% согласно выражению:

$$P_{НОМ} = P_{наст} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (11)$$

где $ПВ$ - паспортная продолжительность включения.

Групповая мощность однотипных ЭП (далее всех ЭП цеха) определяется как:

$$P_{НОМ} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ,i}; \quad (12)$$

$$Q_{НОМ} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ,i} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ,i} \cdot tg\phi_i, \quad (13)$$

где n – число электроприёмников.

Средняя мощность для группы однотипных ЭП (ЭП цеха) определяется по выражению:

$$\Sigma P_C = \sum_1^m P_{НОМ} \cdot k_{И}; \quad (14)$$

$$\Sigma Q_C = \sum_1^m P_C \cdot tg\phi_i, \quad (15)$$

где m – число характерных категорий ЭП.

Определяется средневзвешенный коэффициент использования группы ЭП:

$$K_{И} = \frac{\Sigma P_{НОМ i} \cdot K_{И i}}{\Sigma P_{НОМ i}}. \quad (16)$$

Определяется эффективное число ЭП:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМмакс}}}. \quad (17)$$

Полученное значение округляем до ближайшего большего. Если окажется, что эффективное число ЭП больше фактического числа ЭП, то принимаем $n_{\text{Э}} = n_{\text{ф}}$.

Коэффициент расчетной нагрузки определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа ЭП по кривым, представленным в /1/.

Расчетные нагрузки определяются для всей характерной категории в целом:

$$P_p = K_p \cdot P_{\text{ср}}, \text{ при } n_{\text{эф}} \geq 2; \quad (18)$$

$$P_p = P_{\text{НОМ}}, \text{ при } n_{\text{эф}} = 1.$$

Для питающих сетей напряжением до 1 кВ:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{ср}}, \text{ при } n_{\text{эф}} \leq 10, K_p \geq 1; \quad (19)$$

$$Q_p = Q_{\text{ср}}, \text{ при } n_{\text{эф}} > 10, K_p \geq 1.$$

Необходимо учитывать осветительную нагрузку $P_{\text{осв}}$, $Q_{\text{осв}}$ в составе расчётной нагрузки для выбора мощности силового трансформатора цеха.

Таблица 12 – Расчётные нагрузки механосборочного цеха

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП		K _и	Эф. число ЭП	K _р	Расчётные мощности		
По заданию				Справочные										
Наименование ЭП	P _{ном} , кВт	N,	P _{номΣ} , кВт	K _и	cos(φ)	tg(φ)	P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар				P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1														
Полуавтомат протяжной горизонтальный	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Горизонтально-протяжной станок	20	1	20	0,16	0,6	1,33	3,2	4,27						
Наждачный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый	12,8	3	38,4	0,2	0,65	1,17	7,68	8,98						
Мостовой кран 10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Итого по категории		7	102,9				18,36	22,82	0,18	4	2,93	53,79	25,11	59,36
Характерная категория №2														
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93						
Заточной станок	2	2	4	0,12	0,5	1,73	0,48	0,83						
Мостовой кран 5-10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Токарно-винторезный станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	5,5	1	5,5	0,14	0,5	1,73	0,77	1,33						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	7	1	7	0,14	0,5	1,73	0,98	1,7						
Вертикальный шпоночно-фрезерный станок	3,5	1	3,5	0,14	0,5	1,73	0,49	0,85						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	12	2	24	0,14	0,5	1,73	3,36	5,82						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	5,5	1	5,5	0,14	0,5	1,73	0,77	1,33						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	14	1	14	0,14	0,5	1,73	1,96	3,39						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	12	1	12	0,14	0,5	1,73	1,68	2,91						
Станок трубонарезной	19,7	1	19,7	0,16	0,6	1,33	3,15	4,2						
Токарно-винторезный станок	13	3	39	0,12	0,5	1,73	4,68	8,11						

Продолжение таблицы 12

Сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Наждачный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Итого по категории		19	171,2				25,68	39,4	0,15	9	2,2	56,50	43,34	71,21
Характерная категория №3														
Полуавтомат зубофрезерный универсальный	18,67	1	18,67	0,2	0,65	1,17	3,73	4,37						
Долбежный станок	7	1	7	0,14	0,5	1,73	0,98	1,7						
Полуавтомат зубодолбежный вертикальный	27,7	1	27,7	0,14	0,5	1,73	3,88	6,72						
Полуавтомат зубодолбежный	7,5	1	7,5	0,14	0,5	1,73	1,05	1,82						
Полуавтомат шлицефрезерный	11,6	1	11,6	0,2	0,65	1,17	2,32	2,71						
Горизонтально-расточной станок	22,5	1	22,5	0,16	0,6	1,33	3,6	4,8						
Долбежный станок	7,5	1	7,5	0,14	0,5	1,73	1,05	1,82						
Долбежный станок	20	1	20	0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
Вертикально-фрезерный станок	15	1	15	0,14	0,5	1,73	2,1	3,64						
Горизонтально-фрезерный станок	10	1	10	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42						
Токарно-винторезный станок	12,97	1	12,97	0,12	0,5	1,73	1,56	2,7						
Поперечно-строгальный станок	4,2	1	4,2	0,12	0,5	1,73	0,5	0,87						
Токарно-винторезный станок	12	3	36	0,12	0,5	1,73	4,32	7,48						
Токарно-винторезный станок	19,7	1	19,7	0,16	0,6	1,33	3,15	4,2						
Горизонтально-расточной станок	22,6	2	45,2	0,16	0,6	1,33	7,23	9,64						
Горизонтально-расточной станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Универсальный зубофрезерный станок	4,8	1	4,8	0,12	0,5	1,73	0,58	1						
Зубофрезерный станок	10	2	20	0,12	0,5	1,73	2,4	4,16						
Зубофрезерный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Зубострогальный автомат	5,2	1	5,2	0,2	0,65	1,17	1,04	1,22						
Горизонтально-фрезерный станок	14,3	1	14,3	0,14	0,5	1,73	2	3,47						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	11	1	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67						
Универсальный зубофрезерный станок	34	1	34	0,16	0,6	1,33	5,44	7,25						
Итого по категории		27	376,84				55,31	84,07	0,15	17	1,77	97,91	92,48	134,68

Характерная категория №4													
Круглошлифовальный станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12					
Токарно-винторезный станок	16,3	5	81,5	0,12	0,5	1,73	9,78	16,94					
Универсальный круглошлифовальный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08					
Плоскошлифовальный станок	24,3	1	24,3	0,16	0,6	1,33	3,89	5,18					
Токарно-винторезный станок	10	2	20	0,12	0,5	1,73	2,4	4,16					
Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый	12,8	1	12,8	0,2	0,65	1,17	2,56	2,99					
Токарно-винторезный станок	12,97	2	25,94	0,12	0,5	1,73	3,11	5,39					
Наждачный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31					
Универсальный токарно-винторезный станок	23,6	2	47,2	0,16	0,6	1,33	7,55	10,07					
Токарно-винторезный станок	7,3	1	7,3	0,12	0,5	1,73	0,88	1,52					
Фрезерный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45					
Полуавтомат профиленакатной роликовый	9,97	1	9,97	0,2	0,65	1,17	1,99	2,33					
Двустоечный карусельный станок	48,7	1	48,7	0,16	0,6	1,33	7,79	10,39					
Универсальный токарно-винторезный станок	23,6	1	23,6	0,12	0,5	1,73	2,83	4,91					
Токарно-карусельный станок	38,4	1	38,4	0,16	0,6	1,33	6,14	8,19					
Специальный трубонарезной станок	22,2	1	22,2	0,16	0,6	1,33	3,55	4,74					
Радиально-сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31					
Токарно-винторезный станок	12,97	1	12,97	0,12	0,5	1,73	1,56	2,7					
Токарно-винторезный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08					
Стенд испытаний	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62					
Токарно-винторезный станок	11,7	1	11,7	0,12	0,5	1,73	1,4	2,43					
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6					
Продольно-фрезерный станок	10	1	10	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42					
Токарно-револьверный одношпиндельный прутковый станок	12,8	1	12,8	0,12	0,5	1,73	1,54	2,66					
Вертикально-сверлильный станок	4	1	4	0,12	0,5	1,73	0,48	0,83					
Гайконарезной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42					

Продолжение таблицы 12

Кран консольный	3	4	12	0,05	0,5	1,73	0,6	1,04						
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93						
Итого по категории		38	484,28				69,71	102,81	0,14	14	1,91	133,14	102,81	168,21
Характерная категория №5														
Универсальный резьбошлифовальный станок	4,1	1	4,1	0,12	0,5	1,73	0,49	0,85						
Станок для заточки дисковых пил	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный заточной станок	2	3	6	0,12	0,5	1,73	0,72	1,25						
Универсальный заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Станок для ручной заточки резцов	1	1	1	0,12	0,5	1,73	0,12	0,21						
Обдирочно-шлифовальный станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Стенд для испытаний камней	7	1	7	0,12	0,65	1,17	0,84	0,98						
Станок для заточки резцов	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный заточной станок	1,6	2	3,2	0,12	0,5	1,73	0,38	0,67						
Пресс гидравлический 40 т	22	1	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,14						
Настольно-сверлильный станок	0,65	1	0,65	0,12	0,5	1,73	0,08	0,14						
Радиально-сверлильный станок	4,4	1	4,4	0,12	0,5	1,73	0,53	0,91						
Плоско-шлифовальный станок	24,59	1	24,59	0,16	0,6	1,33	3,93	5,25						
Полуавтомат круглошлифовальный	10,8	1	10,8	0,2	0,65	1,17	2,16	2,53						
Радиально-сверлильный станок	14,1	1	14,1	0,12	0,5	1,73	1,69	2,93						
Координатно-расточной станок	20,2	1	20,2	0,16	0,6	1,33	3,23	4,31						
Универсальный шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Вертикально-расточной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Точильно-шлифовальный станок	2,8	1	2,8	0,12	0,5	1,73	0,34	0,58						
Консольно-фрезерный станок	9,8	1	9,8	0,14	0,5	1,73	1,37	2,38						
Мостовой кран 5-10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	11	1	11	0,12	0,5	1,73	1,32	2,29						
Токарно-винторезный станок	12,13	1	12,13	0,12	0,5	1,73	1,46	2,52						
Автомат отрезной круглопильный	11,65	1	11,65	0,2	0,65	1,17	2,33	2,72						
Итого по категории		27	192,42				28,37	40,81	0,15	13	1,89	53,63	40,81	67,39

Характерная категория №6															
Универсальный фрезерный станок	160	1	160	0,2	0,65	1,17	32	37,41							
Долбежный станок	20	1	20	0,14	0,5	1,73	2,8	4,85							
Настольно-сверлильный станок	0,65	1	0,65	0,12	0,5	1,73	0,08	0,14							
Сверлильный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08							
Точильно-шлифовальный станок	2,8	1	2,8	0,12	0,5	1,73	0,34	0,58							
Сверлильный станок	4	1	4	0,12	0,5	1,73	0,48	0,83							
Пресс	7	1	7	0,2	0,65	1,17	1,4	1,64							
Кран-балка 5 т	5,5	1	5,5	0,05	0,5	1,73	0,28	0,48							
Итого по категории		8	209,95				38,57	48	0,18	2	3,11	119,95	52,80	131,06	
Характерная категория №7															
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6							
Ножницы листовые с наклонным ножом	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34							
Кран-укосина	3	1	3	0,05	0,5	1,73	0,15	0,26							
Автомат отрезной круглопильный	11	3	33	0,2	0,65	1,17	6,6	7,72							
Мостовой кран 10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25							
Итого по категории		7	61,9				10,4	13,17	0,17	3	3,24	33,69	14,49	36,67	
Характерная категория №8															
Сварочный трактор АТ-1 с источником МЗ-1000	47	1	47	0,5	0,7	1,02	23,5	23,97							
Сварочный выпрямитель ВДГ 401	14,4	1	14,4	0,5	0,7	1,02	7,2	7,35							
Старый сварочный аппарат	7,5	1	7,5	0,5	0,7	1,02	3,75	3,83							
Сварочный выпрямитель ВДГ 303	17,1	1	17,1	0,5	0,7	1,02	8,55	8,72							
Кран консольный	1,5	3	4,5	0,05	0,5	1,73	0,23	0,39							
Установка для плавки легких сплавов УПЛС-45М	60	1	60	0,6	0,95	0,33	36	11,83							
Наждачный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31							
Электропечь шахтная для газовой цементации	75	1	75	0,6	0,95	0,33	45	14,79							
Электропечь шахтная для отпуска	37	1	37	0,6	0,95	0,33	22,2	7,3							
Электропечь камерная	45	1	45	0,6	0,95	0,33	27	8,87							
Электропечь камерная	60	1	60	0,6	0,95	0,33	36	11,83							

Продолжение таблицы 12

Электропечь камерная	75	1	75	0,6	0,95	0,33	45	14,79							
Установка индукционная закалочная	138	1	138	0,75	0,95	0,33	103,5	34,02							
Установка высокочастотная закалочная	63	1	63	0,75	0,95	0,33	47,25	15,53							
Станок закалочный	62	1	62	0,2	0,65	1,17	12,4	14,5							
Кран консольный	3	1	3	0,05	0,5	1,73	0,15	0,26							
Мостовой кран 5-10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25							
Итого по категории		19	723				419,21	180,55	0,58	10	1,29	540,77	180,55	570,12	
Характерная категория №9															
Заточной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42							
Сварочный пост МИГ-5000	23	1	23	0,5	0,7	1,02	11,5	11,73							
Пресс с вилковой подачей 100 т	12,2	1	12,2	0,2	0,65	1,17	2,44	2,85							
Итого по категории		3	37,2				14,18	15	0,38	2	2,14	30,35	16,50	34,54	
Характерная категория №10															
Агрегатный станок	90	1	90	0,2	0,65	1,17	18	21,04							
Консольно-фрезерный станок	14	1	14	0,14	0,5	1,73	1,96	3,39							
Горизонтально-расточной станок	22,6	1	22,6	0,16	0,6	1,33	3,62	4,82							
Пресс	7	1	7	0,2	0,65	1,17	1,4	1,64							
Сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31							
Пресс шнековый	8	1	8	0,2	0,65	1,17	1,6	1,87							
Наждачный станок	1,5	2	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62							
Пресс гидравлический 40 т	22	1	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,14							
Пресс рычажный	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34							
Пресс ДГ 2432	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34							
Электропечь для сушки резины	45	1	45	0,6	0,95	0,33	27	8,87							
Итого по категории		12	233,1				62,52	52,4	0,27	5	2,24	140,04	57,64	151,43	
Характерная категория №11															
Приточная установка	6	2	12	0,65	0,8	0,75	7,8	5,85							
Мостовой кран 10 т	13	2	26	0,1	0,5	1,73	2,6	4,5							
Стенд для нагрева ковша	14	1	14	0,6	0,95	0,33	8,4	2,76							

Продолжение таблицы 12

Вакуумная система	18,5	1	18,5	0,15	0,5	1,73	2,78	4,81						
Система транспортировки песка	15	1	15	0,2	0,65	1,17	3	3,51						
Компрессор	5,5	1	5,5	0,7	0,8	0,75	3,85	2,89						
Вентилятор для транспортировки	30	1	30	0,65	0,8	0,75	19,5	14,63						
Электромагнит	1	1	1	0,5	0,7	1,02	0,5	0,51						
Вибростол	2,2	1	2,2	0,5	0,7	1,02	1,1	1,12						
Вытяжка уличная	55	1	55	0,65	0,8	0,75	35,75	26,81						
Станция охлаждения	5,5	1	5,5	0,65	0,8	0,75	3,58	2,68						
Электродпечь тигельная	350	1	350	0,6	0,95	0,33	210	69,02						
Станок для резки полистирола	0,15	1	0,15	0,15	0,5	1,73	0,02	0,04						
Станок для резки полистирола	2,2	1	2,2	0,15	0,5	1,73	0,33	0,57						
Предвспениватель	6,6	1	6,6	0,15	0,6	1,33	0,99	1,32						
Компрессор	2,2	1	2,2	0,7	0,8	0,75	1,54	1,16						
Автоклав	9	1	9	0,15	0,5	1,73	1,35	2,34						
Парогенератор	38	1	38	0,6	0,95	0,33	22,8	7,49						
Краскомешалка	4	1	4	0,15	0,5	1,73	0,6	1,04						
Котел подогрева	9	1	9	0,6	0,95	0,33	5,4	1,77						
Итого по категории		22	605,85				331,88	154,82	0,55	3	1,65	547,61	170,30	573,48
Характерная категория №12														
Ножницы кривошипные листовые	7,5	1	7,5	0,2	0,65	1,17	1,5	1,75						
Машина термической резки "Вулкан"	30	1	30	0,6	0,95	0,33	18	5,92						
Машина плазменной резки "Кристалл"	130	1	130	0,6	0,95	0,33	78	25,64						
Мостовой кран 5-10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Пресс закрытый простого действия 1000 т	83,1	1	83,1	0,2	0,65	1,17	16,62	19,43						
Компрессор	5	1	5	0,7	0,8	0,75	3,5	2,63						
Кран консольный	3	1	3	0,05	0,5	1,73	0,15	0,26						
Кромкогибочный пресс	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Ножницы кривошипные листовые	7,5	1	7,5	0,2	0,65	1,17	1,5	1,75						
Машина листогибочная трехваловая	20	1	20	0,2	0,65	1,17	4	4,68						

Продолжение таблицы 12

Вальцы	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93						
Сварочный пост МИГ 3500	14,4	2	28,8	0,5	0,7	1,02	14,4	14,69						
Итого по категории		14	393,9				154,87	95,95	0,39	6	1,67	258,63	105,55	279,34
Характерная категория №13														
Мостовой кран 32 т	42,84	1	42,84	0,1	0,5	1,73	4,28	7,42						
Радиально-сверлильный станок	7	2	14	0,12	0,5	1,73	1,68	2,91						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Пресс 100 т	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Радиально-сверлильный станок	5,3	1	5,3	0,12	0,5	1,73	0,64	1,1						
Вертикально-сверлильный станок	29,5	2	59	0,12	0,5	1,73	7,08	12,26						
Сверлильный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Мостовой кран 10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Настольно-сверлильный станок	6,55	1	6,55	0,12	0,5	1,73	0,79	1,36						
сварочный аппарат	7	1	7	0,5	0,7	1,02	3,5	3,57						
Заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93						
Итого по категории		16	202,49				31,42	44,73	0,16	6	2,64	82,95	49,20	96,45
Характерная категория №14														
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Ножницы кривошипные листовые	6,5	1	6,5	0,2	0,65	1,17	1,3	1,52						
Заточной станок	3	2	6	0,12	0,5	1,73	0,72	1,25						
Сварочный пост МИГ-350	7	2	14	0,5	0,7	1,02	7	7,14						
Сварочный пост МИГ-5000	23	1	23	0,5	0,7	1,02	11,5	11,73						
Кран консольный	1,5	1	1,5	0,05	0,5	1,73	0,08	0,13						
Мостовой кран 10 т	13	2	26	0,1	0,5	1,73	2,6	4,5						
Сварочный пост ПВУ 501	30	2	60	0,5	0,7	1,02	30	30,61						

Продолжение таблицы 12

Сварочный пост МИГ 3500	14,4	2	28,8	0,5	0,7	1,02	14,4	14,69						
Сварочный пост ВДГ-401	26,4	1	26,4	0,5	0,7	1,02	13,2	13,47						
Кран консольный	1,5	3	4,5	0,1	0,5	1,73	0,45	0,78						
Радиально-сверлильный станок	6,3	1	6,3	0,12	0,5	1,73	0,76	1,31						
Точильно-шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Пресс однокривошипный 630 т	20	1	20	0,2	0,65	1,17	4	4,68						
Ножницы кривошипные листовые	40	1	40	0,2	0,65	1,17	8	9,35						
Пресс-ножницы комбинированные	4,8	1	4,8	0,2	0,65	1,17	0,96	1,12						
Пресс фрикционный	3,2	1	3,2	0,2	0,65	1,17	0,64	0,75						
Листогибочная машина	9,7	1	9,7	0,2	0,65	1,17	1,94	2,27						
Пресс гидравлический	12,8	1	12,8	0,2	0,65	1,17	2,56	2,99						
Ножницы листовые кривошипные	17	1	17	0,2	0,65	1,17	3,4	3,98						
Пресс-ножницы комбинированные	4,8	1	4,8	0,2	0,65	1,17	0,96	1,12						
Ножницы листовые кривошипные	17	1	17	0,2	0,65	1,17	3,4	3,98						
Вертикально-сверлильный станок	26	1	26	0,12	0,5	1,73	3,12	5,4						
Пресс кривошипный двойного	23,4	1	23,4	0,2	0,65	1,17	4,68	5,47						
Пресс однокривошипный 40 т	4,7	1	4,7	0,2	0,65	1,17	0,94	1,1						
Пресс однокривошипный 25 т	3	1	3	0,2	0,65	1,17	0,6	0,7						
Пресс однокривошипный 100 т	11	1	11	0,2	0,65	1,17	2,2	2,57						
Радиально-сверлильный станок	6,3	3	18,9	0,12	0,5	1,73	2,27	3,93						
Пресс-ножницы комбинированные	4,8	1	4,8	0,2	0,65	1,17	0,96	1,12						
Отрезной станок	8,8	1	8,8	0,12	0,5	1,73	1,06	1,83						
Кран консольный	1,5	1	1,5	0,05	0,5	1,73	0,08	0,13						
Приточная установка	6	2	12	0,65	0,8	0,75	7,8	5,85						
Итого по категории		42	452,3				132,27	146,69	0,29	18	1,38	182,53	146,69	234,17
Итого по цеху		261	4247,33				1392,75	1041,22	0,33			2331,49	1098,25	2608,11

Таблица 13 – Расчётные нагрузки литейного цеха

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП		Ки	Эф, число ЭП	Кр	Расчётные мощности		
По заданию			Справочные			P _{ср} , кВт						Q _{ср} , квар	P _p , кВт	Q _p , квар
Наименование ЭП	P _{ном} , кВт	N,	P _{номΣ} , кВт	КИ	cos(φ)		tg(φ)	8	9	10	11			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1 "Формовочный участок"														
Бегуны смешивающие	30	1	30	0,24	0,65	1,17	7,2	8,42						
Бегуны смешивающие	55	1	55	0,24	0,65	1,17	13,2	15,43						
Машина формовочная 234А	1	4	4	0,3	0,65	1,17	1,2	1,4						
Обогреватель	2	1	2	0,6	0,95	0,33	1,2	0,39						
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93						
Система конвейеров	10	1	10	0,7	0,65	1,17	7	8,18						
Мостовой кран формовочного отделения	12,8	2	25,6	0,1	0,5	1,73	2,56	4,43						
Гильотина	10	1	10	0,12	0,65	1,17	1,2	1,4						
Итого по категории		12	142,6				37,46	42,59	0,26	5	2,75	103,02	46,85	113,17
Характерная категория №2 "Сталелитейный участок"														
Печь для сушки ферросплавов	15	1	15	0,8	0,95	0,33	12	3,94						
Печь для сушки стопоров	10	1	10	0,8	0,95	0,33	8	2,63						
Вытяжка уличная	20	1	20	0,6	0,8	0,75	12	9						
Вытяжка крышная	25	1	25	0,6	0,8	0,75	15	11,25						
Мостовой кран 10 т,	12,8	1	12,8	0,1	0,5	1,73	1,28	2,22						
Итого по категории		5	82,8				48,28	29,04	0,58	4	1,25	60,35	31,94	68,28
Характерная категория №3 "Выбивной участок"														
Решетка выбивная	22	1	22	0,4	0,65	1,17	8,8	10,29						
Сварочный пост	20	1	20	0,5	0,7	1,02	10	10,2						
настольный Сверлильный станок 2М112	0,55	1	0,55	0,12	0,5	1,73	0,07	0,11						
радиально-Сверлильный станок 2Л53У	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Токарно-винторезный станок 1К62	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						

Продолжение таблицы 13

Приточная установка	6	2	12	0,65	0,8	0,75	7,8	5,85						
Мостовой кран 10 т,	12,8	2	25,6	0,1	0,5	1,73	2,56	4,43						
Установка высокочастотная плавильная ИСТ	480	1	480	0,8	0,95	0,33	384	126,21						
Печь ДСП 1,5	1350	1	1350	0,7	0,95	0,33	945	310,61						
Итого по категории		11	1923				1359,8	470,39	0,71	2	1,00	1359,77	517,43	1454,89
Характерная категория №4 "Земледельный участок"														
Бегуны смешивающие	40	1	40	0,24	0,65	1,17	9,6	11,22						
Железоотделитель	20	1	20	0,7	0,65	1,17	14	16,37						
Транспортерная система	10	1	10	0,7	0,65	1,17	7	8,18						
Итого по категории		3	70				30,6	35,78	0,44	3	1,88	57,53	39,35	69,7
Характерная категория №5 "Обрубное отделение"														
Печь для сушки песка в кипящем слое	50	1	50	0,6	0,95	0,33	30	9,86						
Установка для варки жидкого стекла	15	1	15	0,5	0,95	0,33	7,5	2,47						
Установка для варки жидкого стекла	9	1	9	0,5	0,95	0,33	4,5	1,48						
Сварочный трансформатор	20	1	20	0,5	0,7	1,02	10	10,2						
Барaban дробеметный конвейерный период. д-я	21,5	1	21,5	0,24	0,6	1,33	5,16	6,88						
Барaban очистной дробеметный	36,6	1	36,6	0,24	0,6	1,33	8,78	11,71						
Камера очистная дробеструйная период. д-я	28,9	1	28,9	0,24	0,6	1,33	6,94	9,25						
Электропечь ПВТ-1,2-600	300	1	300	0,6	0,95	0,33	180	59,16						
Вытяжка барабана	5	2	10	0,65	0,8	0,75	6,5	4,88						
Вытяжка камеры	5	1	5	0,65	0,8	0,75	3,25	2,44						
Мостовой кран 10 т	12,8	2	25,6	0,1	0,5	1,73	2,56	4,43						
Итого по категории		13	521,6				265,19	122,76	0,51	3	1,72	456,13	135,03	475,69
Итого по цеху		44	2740,1				1741,3	700,56	0,64			2036,79	770,61	2181,74

4 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

4.1 Выбор схемы и конструктивное выполнение внутрицехового электроснабжения до 1кВ

При выборе системы электроснабжения нужно стремиться к тому, чтобы она была простой, дешевой и удобной в эксплуатации. По принципу построения схемы электроснабжения делятся на радиальные, магистральные и смешанные.

Радиальная и магистральная схемы могут иметь одно- или двустороннее питание. Смешанная схема электроснабжения содержит в себе элементы радиальной и магистральной схем.

При системе блока «трансформатор - магистраль» электроснабжение выполняется магистральным шинопроводом, к которому присоединяют распределительные штепсельные шинопроводы, и от них радиальными линиями осуществляется питание всех электроприемников цеха.

Цеховая сеть выполняется распределительными шинопроводами. Для выбора пути прокладки элементов внутрицеховой сети необходимо определить место расположения КТП. Местоположение цеховых трансформаторов определяется плотностью электрических нагрузок цеха, расположением технологического оборудования в цехе (с учетом возможного внутрицехового размещения КУ), а также условиями микроклимата в цехе, определяемого особенностью технологического процесса.

Место расположения КТП, мощность и число трансформаторов должно покрывать расчетные нагрузки, учитывать условия окружающей среды, необходимую степень бесперебойности электроснабжения. Расположение цеховых ТП существенно влияет на построение рациональной и экономичной схемы распределительной сети напряжением выше 1 кВ.

По расположению различают следующие цеховые подстанции внутрицеховые, встроенные, пристроенные и отдельно стоящие. Внутрицеховые ТП, приближенные к ЦЭН, обеспечивают максимальную экономию цветного

металла и снижение потерь электроэнергии.

При этом ТП располагают у колонн цеха в мертвой зоне работы мостовых кранов так, чтобы не занимать производственных площадей.

4.2 Определение центра электрических нагрузок

Необходимо построить картограмму нагрузок, которая представляет собой размещение на плане цеха окружностей, площадь которых соответствует в выбранном масштабе расчётным нагрузкам.

Пример определения диаметра окружностей найдем для участка №1 механосборочного цеха по формуле:

$$D = 2 \cdot R_{ii} = 2 \cdot \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (20)$$

где m – электрический масштаб, принимаем 1 Вт/см;

P_{pi} - активная мощность группы электрооборудования, для которой строится окружность, кВт.

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{102,7}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}} = 362 \text{ см.}$$

Радиусы окружностей приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Данные для построения картограммы нагрузок цеха

Участок	Активная мощность группы P, кВт	Диаметр окружности, см	X, м	Y, м	P*X	P*Y
1	3	4	5	6	7	8
Мех. цех-участок №1	102,9	362	61,61	3,34	6340,04	344,02
Мех. цех-участок №2	171,2	467	138,4	4,25	23694,36	728,36
Мех. цех-участок №3	376,84	693	62,84	20,77	23679,55	7825,17
Мех. цех-участок №4	484,28	785	124,45	21,05	60269,56	10192,06
Мех. цех-участок №5	192,42	495	63,04	43,77	12130,43	8422,65

Продолжение таблицы 14

Мех. цех-участок №6	209,95	517	113,76	43,14	23883,18	9057,44
Мех. цех-участок №7	61,9	281	73,93	54,79	4575,97	3391,34
Мех. цех-участок №8	723	960	144,21	53,44	104266,08	38636,68
Мех. цех-участок №9	37,2	218	74,32	72,02	2764,68	2679,02
Мех. цех-участок №10	233,1	545	128,24	69,6	29891,94	16224,77
Мех. цех-участок №11	605,85	879	67,27	92,62	40758,01	56113,84
Мех. цех-участок №12	393,9	708	141,77	91,12	55844,98	35893,43
Мех. цех-участок №13	202,49	508	10,72	31,37	2171,36	6352,07
Мех. цех-участок №14	452,3	759	182,65	65,62	82611,68	29681,48
Лит. цех-участок 1	142,6	426	34,23	11,48	4881,44	1637,14
Лит. цех-участок 2	82,8	325	70,70	28,06	5854,18	2323,25
Лит. цех-участок 3	93,05	344	8,5	20,95	790,56	1949,83
Лит. цех-участок 4	70	299	60,76	34,23	4253,02	2396,2
Лит. цех-участок 5	521,6	815	61,88	52,80	32279,03	27538,83

Условный центр электрических нагрузок для КТП определяется по формулам:

$$X_0 = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i}, \quad (21)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i}, \quad (22)$$

где x_i и y_i – координаты центров i -ых узлов электрических нагрузок, м.

К КТП №1 подключим участки №2, №4, №6 механосборочного цеха. Подставляя в формулы численные значения центр электрических нагрузок для КТП 1 получается:

$$X_0 = \frac{107847}{865,43} = 124,62 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{19978}{865,43} = 23,08 \text{ м.}$$

Таблица 15 – Центры электрических нагрузок цеховых подстанций

№ КТП	Участки	Активная мощность участков	Координаты участка		Координаты КТП	
			X	Y	X	Y
КТП №1	Мех. цех-участок №2	171,2	138,40	4,25	124,62	23,08
	Мех. цех-участок №4	484,28	124,45	21,05		
	Мех. цех-участок №6	209,95	113,76	43,14		
КТП №2	Мех. цех-участок №1	102,9	61,61	3,34	53,05	29,8
	Мех. цех-участок №3	376,84	62,84	20,77		
	Мех. цех-участок №5	192,42	63,04	43,77		
	Мех. цех-участок №7	61,9	73,93	54,79		
	Мех. цех-участок №9	37,2	74,32	72,02		
	Мех. цех-участок №13	202,49	10,72	31,37		
КТП №3	Мех. цех-участок №8	723	144,21	53,44	130,13	73,31
	Мех. цех-участок №10	233,1	128,24	69,6		
	Мех. цех-участок №11	605,85	67,27	92,62		
	Мех. цех-участок №12	393,9	141,77	91,12		
	Мех. цех-участок №14	452,3	182,65	65,62		
КТП №4	Лит. цех-участок 1	142,6	34,23	11,48	52,81	39,39
	Лит. цех-участок 2	82,8	70,7	28,06		
	Лит. цех-участок 3	93,05	8,50	20,95		
	Лит. цех-участок 4	70	60,76	34,23		
	Лит. цех-участок 5	521,6	61,88	52,8		

Центр нагрузок показывается на рисунке 3 вместе с окружностями.

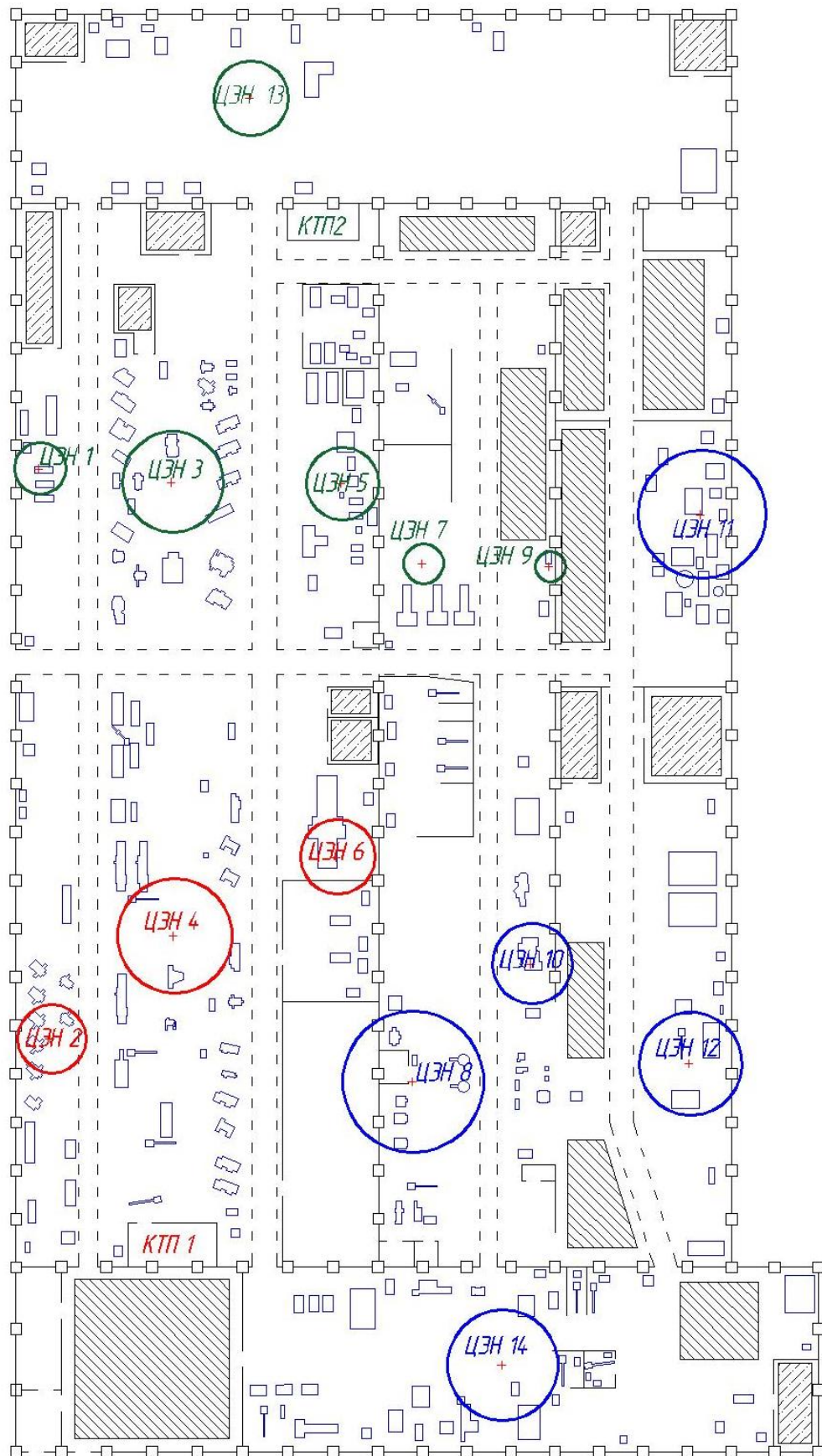


Рисунок 3 – Расположение ЦЭН механосборочного цеха

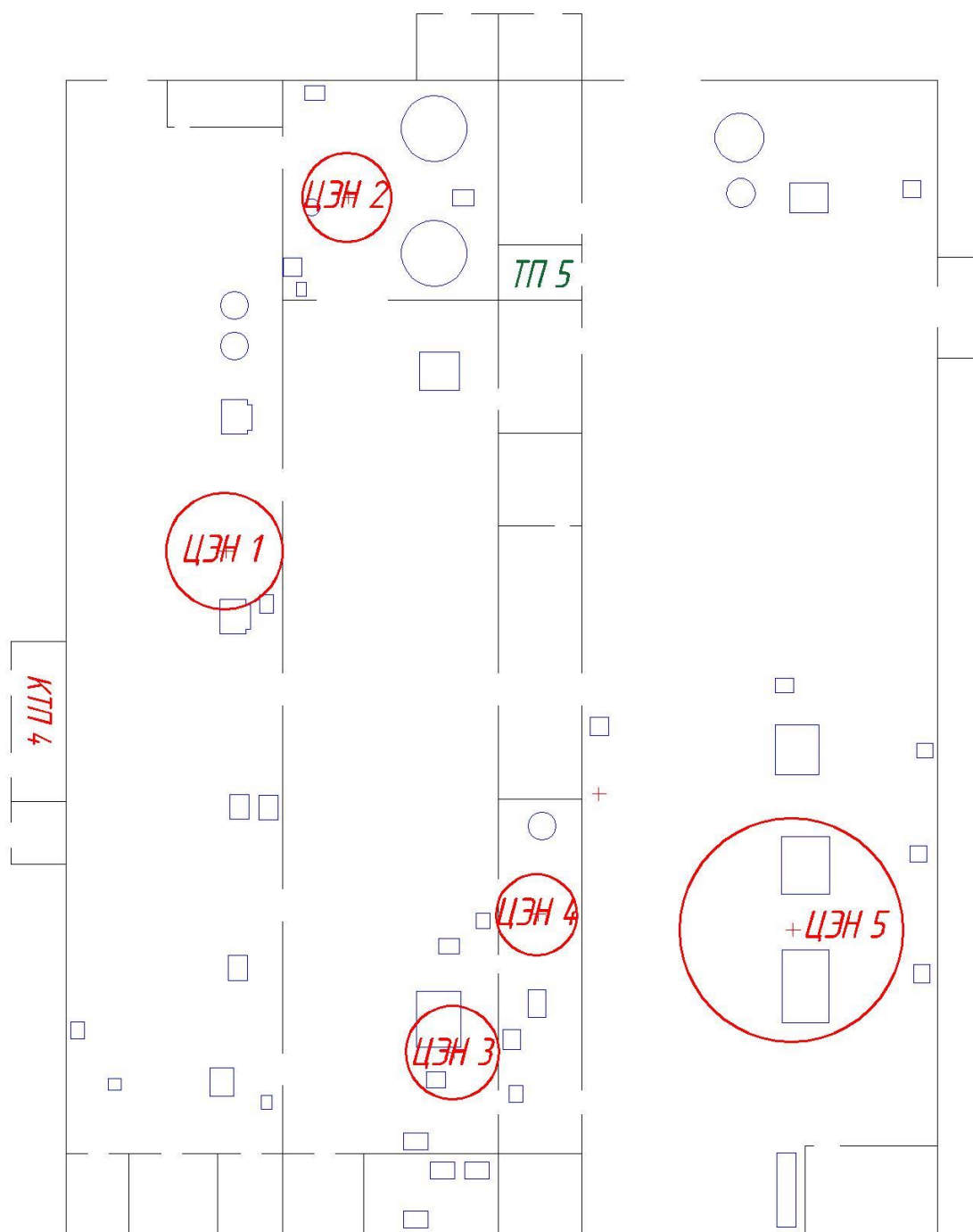


Рисунок 4 – Расположение ЦЭН литейного цеха

Однако, для решения задачи о выборе места расположения подстанции найденных координат УЦН недостаточно, потому что в действительности ЦЭН смещается по территории предприятия. Это объясняется тем, что потребляемая мощность отдельных электроприемников изменяется в соответствии с графиками их нагрузок. Изменение координат УЦН во времени происходит в

пределе зоны, ограниченной эллипсом, алгоритм построения которого приведен ниже.

Для нахождения угла наклона эллипса определим разброс нагрузок относительно УЦН по осям x и y и направлению xy для КТП №3 по выражениям:

$$R_x = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x_i - X)^2; \quad (23)$$

$$R_y = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (y_i - Y)^2; \quad (24)$$

$$R_{xy} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x_i - X) \cdot (y_i - Y). \quad (25)$$

Подставив значения в формулы имеем:

– разброс по оси x – $R_x = 3839079$;

– разброс по оси y – $R_y = 666258$;

– разброс по направлению xy – $R_{xy} = -1037051$.

Угол наклона определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\arctg\left(\frac{2 \cdot R_{xy}}{R_x - R_y}\right)}{2}; \quad (26)$$

$$\alpha = \frac{\arctg\left[\frac{2 \cdot (-1037051)}{3839079 - 666258}\right]}{2} = -16,59^\circ.$$

Дисперсия в системе координат x и y :

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - X)^2; \quad (27)$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cdot (y_i - Y)^2, \quad (28)$$

где $P_{xi} = P_{yi}$ – эмпирические вероятности или эмпирическая частность

появления x_i и y_i :

$$P_{xi} = P_{yi} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}. \quad (29)$$

Подставляя значения получаем:

$$\sigma_x^2 = 1594,2;$$

$$\sigma_y^2 = 276,67.$$

Меры мощности случайных величин:

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; \quad (30)$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}; \quad (31)$$

$$h_x = \frac{1}{39,93 \cdot \sqrt{2}} = 0,018;$$

$$h_y = \frac{1}{16,63 \cdot \sqrt{2}} = 0,043.$$

Полуоси эллипса:

$$a = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; \quad (32)$$

$$b = \frac{\sqrt{3}}{h_y}; \quad (33)$$

$$a = \frac{\sqrt{3}}{0,018} = 97,8 \text{ м.}$$

$$b = \frac{\sqrt{3}}{0,042} = 40,74 \text{ м.}$$

Эллипс ЦЭН и выбранное место для расположения цеховой КТП №3 изображены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Эллипс изменения координат ЦЭН КТП №3

Цеховая КТП №3 должна располагаться в области максимальных нагрузок, но так как расположить ее там мешает установленное оборудование располагаем КТП №3 за пределами цеха. Координаты X-163000 Y-100000.

4.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов

Правильное определение числа и мощности цеховых трансформаторов возможно только путем проведения технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов: категории надежности электроснабжения потребителей; компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1 кВ; перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийных режимах; шага стандартных мощностей; экономичных режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

В механическом и литейном цехах при наличии потребителей электрической энергии потребителей II и III категории надежности, целесообразнее отдать предпочтение комплектной двух-трансформаторной подстанции.

Составы нагрузок КТП представлены в таблицах 16, 17 и 18.

Таблица - 16 Нагрузка КТП №1

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП	K _и	Эф. число ЭП	K _р	Расчётные мощности			
По заданию			Справочные			P _{ср} , кВт					Q _{ср} , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Наименование ЭП	P _{ном} , кВт	N	P _{номΣ} , кВт	K _и	cos(φ)	tg(φ)	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1														
Заточной станок	2,14	2	4,28	0,12	0,5	1,73	0,51	0,89						
Токарно-винторезный станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	5,5	2	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	7	1	7	0,14	0,5	1,73	0,98	1,7						
Вертикальный шпоночно-фрезерный станок	3,5	1	3,5	0,14	0,5	1,73	0,49	0,85						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	12	2	24	0,14	0,5	1,73	3,36	5,82						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	14	1	14	0,14	0,5	1,73	1,96	3,39						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	12	1	12	0,14	0,5	1,73	1,68	2,91						
Станок трубонарезной	19,7	1	19,7	0,16	0,6	1,33	3,15	4,2						
Токарно-винторезный станок	13	3	39	0,12	0,5	1,73	4,68	8,11						
Сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Наждачный станок	1,61	2	3,22	0,12	0,5	1,73	0,39	0,67						
Круглошлифовальный станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Токарно-винторезный станок	16,3	5	81,5	0,12	0,5	1,73	9,78	16,94						
Универсальный круглошлифовальный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Плоскошлифовальный станок	24,3	1	24,3	0,16	0,6	1,33	3,89	5,18						
Токарно-винторезный станок	10	2	20	0,12	0,5	1,73	2,4	4,16						

Продолжение таблицы 16

Токарно-винторезный станок	12,97	3	38,91	0,12	0,5	1,73	4,67	8,09						
Универсальный токарно-винторезный станок	23,6	2	47,2	0,16	0,6	1,33	7,55	10,07						
Токарно-винторезный станок	7,3	1	7,3	0,12	0,5	1,73	0,88	1,52						
Фрезерный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Двустоечный карусельный станок	48,7	1	48,7	0,16	0,6	1,33	7,79	10,39						
Универсальный токарно-винторезный станок	23,6	1	23,6	0,12	0,5	1,73	2,83	4,91						
Токарно-карусельный станок	38,4	1	38,4	0,16	0,6	1,33	6,14	8,19						
Специальный трубонарезной станок	22,2	1	22,2	0,16	0,6	1,33	3,55	4,74						
Радиально-сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Токарно-сверлильный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Стенд испытаний	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Токарно-винторезный станок	11,7	1	11,7	0,12	0,5	1,73	1,4	2,43						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Продольно-фрезерный станок	10	1	10	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42						
Токарно-револьверный одношпиндельный прутковый станок	12,8	1	12,8	0,12	0,5	1,73	1,54	2,66						
Вертикально-сверлильный станок	4	2	8	0,12	0,5	1,73	0,96	1,66						
Гайконарезной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный фрезерный станок	160	1	160	0,2	0,65	1,17	32	37,41						
Долбежный станок	20	1	20	0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
Настольно-сверлильный станок	0,65	1	0,65	0,12	0,5	1,73	0,08	0,14						
Сверлильный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Точильно-шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Итого по категории		54	793,86				118,11	173,77	0,15	14	1,86	219,69	173,77	280,11
Характерная категория №2														
Полуавтомат профиленкатной роликовый	9,97	1	9,97	0,2	0,65	1,17	1,99	2,33	0,2	1	4	7,98	2,56	8,38

Характерная категория №3														
Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый	12,8	1	12,8	0,2	0,65	1,17	2,56	2,99	0,2	1	4	10,24	3,29	10,76
Характерная категория №4														
Приточная установка	6	2	12	0,65	0,8	0,75	7,80	5,85	0,65	2	1,06	8,27	6,44	10,48
Характерная категория №5														
Мостовой кран 5-10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Кран консольный	3	4	12	0,05	0,5	1,73	0,6	1,04						
Кран-балка 5 т	5,5	1	5,5	0,05	0,5	1,73	0,28	0,48						
Итого по категории		6	30,5				2,18	3,77	0,07	3	3,2	6,96	4,14	8,1
Характерная категория №6														
Пресс	7	1	7	0,2	0,65	1,17	1,4	1,64	0,2	1	4	5,6	1,8	5,88
Характерная категория №7														
Освещение сварочного участка												3,8	1,83	4,22
Освещение термического участка												7,02	3,37	7,79
Освещение механического участка												7,02	3,37	7,79
Освещение сборочного участка												3,51	1,69	3,89
Итого по категории												21,35	10,26	23,69
Характерная категория №7														
Сторонняя нагрузка												347,36	219,17	411,52
Итого по КТП		65	866,13				134,04	190,35				627,44	421,45	758,92

Таблица 17 – Нагрузка КТП №2

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП		К _и	Эф. число ЭП	К _р	Расчётные мощности		
По заданию			Справочные											
Наименование ЭП	Р _{ном} , кВт	N,	Р _{номΣ} , кВт	К _и	cos(φ)	tg(φ)	Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар				Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1														
Горизонтально-протяжной станок	20	1	20	0,16	0,6	1,33	3,2	4,27						
Наждачный станок	1,61	1	1,61	0,12	0,5	1,73	0,19	0,33						
Долбежный станок	7	1	7	0,14	0,5	1,73	0,98	1,7						
Горизонтально-расточной станок	22,5	3	67,5	0,16	0,6	1,33	10,8	14,4						
Долбежный станок	7,5	1	7,5	0,14	0,5	1,73	1,05	1,82						
Долбежный станок	20	1	20	0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
Вертикально-фрезерный станок	15	1	15	0,14	0,5	1,73	2,1	3,64						
Горизонтально-фрезерный станок	10	1	10	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42						
Токарно-винторезный станок	12,97	1	12,97	0,12	0,5	1,73	1,56	2,7						
Поперечно-строгальный станок	4,2	1	4,2	0,12	0,5	1,73	0,5	0,87						
Токарно-винторезный станок	12	3	36	0,12	0,5	1,73	4,32	7,48						
Токарно-винторезный станок	19,7	1	19,7	0,16	0,6	1,33	3,15	4,2						
Горизонтально-расточной станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Универсальный зубофрезерный станок	4,8	1	4,8	0,12	0,5	1,73	0,58	1						
Зубофрезерный станок	10	2	20	0,12	0,5	1,73	2,4	4,16						
Зубофрезерный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Горизонтально-фрезерный станок	14,3	1	14,3	0,14	0,5	1,73	2	3,47						

Вертикальный консольно-фрезерный станок	11	1	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67						
Универсальный зубофрезерный станок	34	1	34	0,16	0,6	1,33	5,44	7,25						
Универсальный резьбошлифовальный станок	4,1	1	4,1	0,12	0,5	1,73	0,49	0,85						
Станок для заточки дисковых пил	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный заточной станок	2	3	6	0,12	0,5	1,73	0,72	1,25						
Универсальный заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Станок для ручной заточки резцов	1	1	1	0,12	0,5	1,73	0,12	0,21						
Обдирочно-шлифовальный станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Стенд для испытаний камней	7	1	7	0,12	0,65	1,17	0,84	0,98						
Станок для заточки резцов	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный заточной станок	1,6	2	3,2	0,12	0,5	1,73	0,38	0,67						
Настольно-сверлильный станок	0,65	1	0,65	0,12	0,5	1,73	0,08	0,14						
Радиально-сверлильный станок	4,4	1	4,4	0,12	0,5	1,73	0,53	0,91						
Плоско-шлифовальный станок	24,59	1	24,59	0,16	0,6	1,33	3,93	5,25						
Радиально-сверлильный станок	14,1	1	14,1	0,12	0,5	1,73	1,69	2,93						
Координатно-расточной станок	20,2	1	20,2	0,16	0,6	1,33	3,23	4,31						
Универсальный шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Вертикально-расточной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Точильно-шлифовальный станок	2,8	1	2,8	0,12	0,5	1,73	0,34	0,58						
Консольно-фрезерный станок	9,8	1	9,8	0,14	0,5	1,73	1,37	2,38						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	11	1	11	0,12	0,5	1,73	1,32	2,29						
Токарно-винторезный станок	12,13	1	12,13	0,12	0,5	1,73	1,46	2,52						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Заточной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Радиально-сверлильный станок	7	2	14	0,12	0,5	1,73	1,68	2,91						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Радиально-сверлильный станок	5,3	2	10,6	0,12	0,5	1,73	1,27	2,2						

Вертикально-сверлильный станок	29,5	2	59	0,12	0,5	1,73	7,08	12,26						
Сверлильный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Настольно-сверлильный станок	6,55	1	6,55	0,12	0,5	1,73	0,79	1,36						
Заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Итого по категории		61	576,4				78,5	123,63	0,14	25	1,59	124,81	123,63	175,68
Характерная категория №2														
Полуавтомат протяжной горизонтальный	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Полуавтомат зубофрезерный универсальный	18,67	1	18,67	0,2	0,65	1,17	3,73	4,37						
Полуавтомат зубодолбежный вертикальный	27,7	1	27,7	0,14	0,5	1,73	3,88	6,72						
Полуавтомат зубодолбежный	7,5	1	7,5	0,14	0,5	1,73	1,05	1,82						
Полуавтомат шлицефрезерный	11,6	1	11,6	0,2	0,65	1,17	2,32	2,71						
Полуавтомат круглошлифовальный	10,8	1	10,8	0,2	0,65	1,17	2,16	2,53						
Итого по категории		6	106,27				19,14	25,15	0,18	5	2,55	48,81	27,67	56,11
Характерная категория №3														
Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый	12,8	3	38,4	0,2	0,65	1,17	7,68	8,98						
Зубострогальный автомат	5,2	1	5,2	0,2	0,65	1,17	1,04	1,22						
Автомат отрезной круглопильный	11,65	1	11,65	0,2	0,65	1,17	2,33	2,72						
Автомат отрезной круглопильный	11	3	33	0,2	0,65	1,17	6,6	7,72						
Итого по категории		8	88,25				17,65	20,64	0,2	3	1,8	31,77	22,70	39,05
Характерная категория №4														
Сварочный пост МИГ-5000	23	1	23	0,5	0,7	1,02	11,50	11,73						
Сварочный аппарат	7	1	7	0,5	0,7	1,02	3,50	3,57						
Итого по категории		2	30				15	15,30	0,5	2	1,24	18,60	16,83	25,09

Характерная категория №5															
Пресс гидравлический 40 т	22	1	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,14							
Ножницы листовые с наклонным ножом	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34							
Пресс с вилковой подачей 100 т	12,2	1	12,2	0,2	0,65	1,17	2,44	2,85							
Пресс 100 т	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01							
Итого по категории		4	74,2				14,84	17,35	0,2	4	2,64	39,18	19,08	43,58	
Характерная категория №6															
Мостовой кран 10 т	13	4	52	0,1	0,5	1,73	5,2	9,01							
Кран-укосина	3	1	3	0,05	0,5	1,73	0,15	0,26							
Мостовой кран 32 т	42,84	1	42,84	0,1	0,5	1,73	4,28	7,42							
Итого по категории		6	97,84				9,63	16,69	0,1	2	5,01	48,27	18,36	51,64	
Характерная категория №7															
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93	0,65	1	1,21	4,72	3,22	5,71	
Итого по КТП		88	978,96				158,67	221,68				316,16	231,49	396,85	

Таблица 18 – Нагрузка КТП №3

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП		К _и	Эф. число ЭП	К _р	Расчётные мощности			
По заданию				Справочные			P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар				P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
Наименование ЭП	P _{ном} , кВт	N,	P _{номΣ} , кВт	КИ	cos(φ)	tg(φ)			10	11	12				13
1	2	3	4	5	6	7	8	9							
Характерная категория №1															
Наждачный станок	1,93	3	5,79	0,12	0,5	1,73	0,69	1,2							
Агрегатный станок	90	1	90	0,2	0,65	1,17	18	21,04							
Консольно-фрезерный станок	14	1	14	0,14	0,5	1,73	1,96	3,39							
Горизонтально-расточной станок	22,6	1	22,6	0,16	0,6	1,33	3,62	4,82							
Наждачный станок	1,93	2	3,86	0,12	0,5	1,73	0,46	0,8							
Станок закалочный	62	1	62	0,2	0,65	1,17	12,4	14,5							
Станок для резки полистирола	0,15	1	0,15	0,15	0,5	1,73	0,02	0,04							
Станок для резки полистирола	2,2	1	2,2	0,15	0,5	1,73	0,33	0,57							
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6							
Заточной станок	3,86	2	7,72	0,12	0,5	1,73	0,93	1,6							
Радиально-сверлильный станок	6,3	4	25,2	0,12	0,5	1,73	3,02	5,24							
Точильно-шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62							
Краскомешалка	4	1	4	0,15	0,5	1,73	0,6	1,04							
Система транспортировки песка	15	1	15	0,2	0,65	1,17	3	3,51							
Вертикально-сверлильный станок	26	1	26	0,12	0,5	1,73	3,12	5,4							
Отрезной станок	8,8	1	8,8	0,12	0,5	1,73	1,06	1,83							
Предвспениватель	6,6	1	6,6	0,15	0,6	1,33	0,99	1,32							
Автоклав	9	1	9	0,15	0,5	1,73	1,35	2,34							
Итого по категории		25	308,82				52,26	69,88	0,17	6	2,48	129,61	76,87	150,69	

Характерная категория №2														
Сварочный трактор АТ-1 с источником МЗ-1000	47	1	47	0,5	0,7	1,02	23,5	23,97						
Сварочный выпрямитель ВДГ 401	14,4	1	14,4	0,5	0,7	1,02	7,2	7,35						
Старый сварочный аппарат	7,5	1	7,5	0,5	0,7	1,02	3,75	3,83						
Сварочный выпрямитель ВДГ 303	17,1	1	17,1	0,5	0,7	1,02	8,55	8,72						
Сварочный пост МИГ 3500	14,4	2	28,8	0,5	0,7	1,02	14,4	14,69						
Сварочный пост МИГ-350	7	2	14	0,5	0,7	1,02	7	7,14						
Сварочный пост МИГ-5000	23	1	23	0,5	0,7	1,02	11,5	11,73						
Сварочный пост ПВУ 501	30	2	60	0,5	0,7	1,02	30	30,61						
Сварочный пост МИГ 3500	14,4	2	28,8	0,5	0,7	1,02	14,4	14,69						
Сварочный пост ВДГ-401	26,4	1	26,4	0,5	0,7	1,02	13,2	13,47						
Электромагнит	1	1	1	0,5	0,7	1,02	0,5	0,51						
Вибростол	2,2	1	2,2	0,5	0,7	1,02	1,1	1,12						
Итого по категории		16	270,2				135,1	137,83	0,5	8	1,4	189,14	151,61	242,41
Характерная категория №3														
Установка для плавки легких сплавов УПЛС-45М	60	1	60	0,6	0,95	0,33	36	11,83						
Электропечь шахтная для газовой цементации	75	1	75	0,6	0,95	0,33	45	14,79						
Электропечь шахтная для отпуска	37	1	37	0,6	0,95	0,33	22,2	7,3						
Электропечь камерная	45	1	45	0,6	0,95	0,33	27	8,87						
Электропечь камерная	60	1	60	0,6	0,95	0,33	36	11,83						
Электропечь камерная	75	1	75	0,6	0,95	0,33	45	14,79						
Установка индукционная закалочная	138	1	138	0,75	0,95	0,33	103,5	34,02						
Установка высокочастотная закалочная	63	1	63	0,75	0,95	0,33	47,25	15,53						
Электропечь для сушки резины	45	1	45	0,6	0,95	0,33	27	8,87						
Стенд для нагрева ковша	14	1	14	0,6	0,95	0,33	8,4	2,76						
Электропечь тигельная	350	1	350	0,6	0,95	0,33	210	69,02						
Парогенератор	38	1	38	0,6	0,95	0,33	22,8	7,49						

Котел подогрева	9	1	9	0,6	0,95	0,33	5,4	1,77						
Машина термической резки "Вулкан"	30	1	30	0,6	0,95	0,33	18	5,92						
Машина плазменной резки "Кристалл"	130	1	130	0,6	0,95	0,33	78	25,64						
Итого по категории		15	1169				731,55	240,45	0,63	8	1,28	936,38	264,49	973,02
Характерная категория №4														
Кран консольный	1,5	8	12	0,05	0,5	1,73	0,6	1,04						
Кран консольный	3	2	6	0,05	0,5	1,73	0,3	0,52						
Мостовой кран 10 т	13	6	78	0,1	0,5	1,73	7,8	13,51						
Итого по категории		16	96				8,7	15,07	0,09	2	5,21	45,33	16,58	48,26
Характерная категория №5														
Пресс	7	1	7	0,2	0,65	1,17	1,4	1,64						
Пресс шнековый	8	1	8	0,2	0,65	1,17	1,6	1,87						
Пресс гидравлический 40 т	22	1	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,14						
Пресс рычажный	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34						
Пресс ДГ 2432	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34						
Ножницы кривошипные листовые	40	1	40	0,2	0,65	1,17	8	9,35						
Пресс-ножницы комбинированные	4,8	2	9,6	0,2	0,65	1,17	1,92	2,24						
Пресс фрикционный	3,2	1	3,2	0,2	0,65	1,17	0,64	0,75						
Листогибочная машина	9,7	1	9,7	0,2	0,65	1,17	1,94	2,27						
Пресс гидравлический	12,8	1	12,8	0,2	0,65	1,17	2,56	2,99						
Ножницы листовые кривошипные	17	1	17	0,2	0,65	1,17	3,4	3,98						
Пресс-ножницы комбинированные	4,8	1	4,8	0,2	0,65	1,17	0,96	1,12						
Ножницы листовые кривошипные	17	1	17	0,2	0,65	1,17	3,4	3,98						
Пресс однокривошипный 630 т	20	1	20	0,2	0,65	1,17	4	4,68						
Кромкогибочный пресс	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Ножницы кривошипные листовые	7,5	2	15	0,2	0,65	1,17	3	3,51						
Машина листогибочная трехвалковая	20	1	20	0,2	0,65	1,17	4	4,68						

Продолжение таблицы 18

Вальцы	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Ножницы кривошипные листовые	6,5	1	6,5	0,2	0,65	1,17	1,3	1,52						
Пресс закрытый простого действия 1000 т	83,1	1	83,1	0,2	0,65	1,17	16,62	19,43						
Пресс кривошипный двойного	23,4	1	23,4	0,2	0,65	1,17	4,68	5,47						
Пресс однокривошипный 40 т	4,7	1	4,7	0,2	0,65	1,17	0,94	1,1						
Пресс однокривошипный 25 т	3	1	3	0,2	0,65	1,17	0,6	0,7						
Пресс однокривошипный 100 т	11	1	11	0,2	0,65	1,17	2,2	2,57						
Итого по категории		26	417,8				83,56	97,69	0,2	13	1,72	143,72	97,69	173,78
Характерная категория №6														
Приточная установка	6	5	30	0,65	0,8	0,75	19,5	14,63						
Вакуумная система	18,5	1	18,5	0,15	0,5	1,73	2,78	4,81						
Вентилятор для транспортировки песка и охлаждения	30	1	30	0,65	0,8	0,75	19,5	14,63						
Компрессор	5,5	1	5,5	0,7	0,8	0,75	3,85	2,89						
Вытяжка уличная	55	1	55	0,65	0,8	0,75	35,75	26,81						
Станция охлаждения	5,5	1	5,5	0,65	0,8	0,75	3,58	2,68						
Компрессор	2,2	1	2,2	0,7	0,8	0,75	1,54	1,16						
Компрессор	5	1	5	0,7	0,8	0,75	3,5	2,63						
Итого по категории		12	151,7				89,99	70,22	0,59	5	1,41	126,89	77,24	148,55
Итого по КТП		110	2413,52				1101,16	631,14				1571,07	684,48	1736,71

Таблица 19 – Нагрузка КТП №4

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП	К _и	Эф. число ЭП	К _р	Расчётные мощности			
По заданию			Справочные			P _{ср} , кВт					Q _{ср} , квар	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Наименование ЭП	P _{ном} , кВт	N,	P _{номΣ} , кВт	КИ	cos(φ)		tg(φ)	10	11	12				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1														
Машина формовочная 234А	1	4	4	0,3	0,65	1,17	1,2	1,4						
Решетка выбивная	22	1	22	0,4	0,65	1,17	8,8	10,29						
Итого по категории		5	26				10	11,69	0,38	2	1,57	15,70	12,86	20,29
Характерная категория №2														
Транспортерная система	10	1	10	0,7	0,65	1,17	7	8,18						
Система конвейеров	10	1	10	0,7	0,65	1,17	7	8,18						
Итого по категории		2	20				14	16,37	0,7	2	1	14,00	18,00	22,81
Характерная категория №3														
Железоотделитель	20	1	20	0,7	0,65	1,17	14	16,37						
Сварочный пост	20	1	20	0,5	0,7	1,02	10	10,2						
Сварочный трансформатор	20	1	20	0,5	0,7	1,02	10	10,2						
Итого по категории		3	60				34	36,77	0,57	3	1,1	37,40	40,45	55,09
Характерная категория №4														
Обогреватель	2	1	2	0,6	0,95	0,33	1,2	0,39						
Печь для сушки ферросплавов	15	1	15	0,8	0,95	0,33	12	3,94						
Печь для сушки стопоров	10	1	10	0,8	0,95	0,33	8	2,63						
Установка для варки жидкого стекла	15	1	15	0,5	0,95	0,33	7,5	2,47						
Установка для варки жидкого стекла	9	1	9	0,5	0,95	0,33	4,5	1,48						
Печь для сушки песка в кипящем слое	50	1	50	0,6	0,95	0,33	30	9,86						

Электропечь ПВТ-1,2-600	300	1	300	0,6	0,95	0,33	180	59,16						
Итого по категории		7	401				243,2	79,94	0,61	2	1,11	269,95	87,93	283,91
Характерная категория №5														
Приточная установка	6	1	6	0,65	0,8	0,75	3,9	2,93						
Вытяжка уличная	20	1	20	0,6	0,8	0,75	12	9						
Вытяжка крышная	25	1	25	0,6	0,8	0,75	15	11,25						
Вытяжка барабана	5	2	10	0,65	0,8	0,75	6,5	4,88						
Вытяжка камеры	5	1	5	0,65	0,8	0,75	3,25	2,44						
Приточная установка	6	2	12	0,65	0,8	0,75	7,8	5,85						
Итого по категории		8	78				48,45	36,34	0,62	5	1,4	67,83	39,97	78,73
Характерная категория №6														
Мостовой кран 10 т,	12,8	1	12,8	0,1	0,5	1,73	1,28	2,22						
Мостовой кран 10 т	12,8	2	25,6	0,1	0,5	1,73	2,56	4,43						
Мостовой кран формовочного отделения	12,8	2	25,6	0,1	0,5	1,73	2,56	4,43						
Мостовой кран 10 т,	12,8	2	25,6	0,1	0,5	1,73	2,56	4,43						
Итого по категории		7	89,6				8,96	15,52	0,1	4	3,43	30,73	17,07	35,16
Характерная категория №7														
Настольный-сверлильный станок 2М112	0,55	1	0,55	0,12	0,5	1,73	0,07	0,11						
Радиально-сверлильный станок 2Л53У	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Токарно-винторезный станок 1К62	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Гильотина	10	1	10	0,12	0,65	1,17	1,2	1,4						
Итого по категории		4	23,45				2,81	4,2	0,12	3	2,84	7,99	4,62	9,23
Характерная категория №8														
Барабан дробеметный конвейерный	21,5	1	21,5	0,24	0,6	1,33	5,16	6,88						
Барабан очистной дробеметный	36,6	1	36,6	0,24	0,6	1,33	8,78	11,71						
Камера очистная дробеструйная	28,9	1	28,9	0,24	0,6	1,33	6,94	9,25						
Бегуны смешивающие	30	1	30	0,24	0,65	1,17	7,2	8,42						

Продолжение таблицы 19

Бегуны смешивающие	55	1	55	0,24	0,65	1,17	13,2	15,43						
Бегуны смешивающие	40	1	40	0,24	0,65	1,17	9,6	11,22						
Итого по категории		6	212				50,88	62,91	0,24	6	2,05	104,30	69,21	125,17
Характерная категория №9														
Освещение формовочного участка												2,19	1,05	2,43
Освещение выбивного участка												3,22	1,54	3,57
Освещение обрубного отделения												2,93	1,4	3,25
Итого по категории												8,34	3,99	9,25
Итого по КТП		118	2640,22				1154,18	697,23				547,91	290,11	630,4

Сторонняя нагрузка КТП №1: освещение территории, АБК, станция пожаротушения, ККУ-30, АБК, АЗС, гаражный комплекс

Мощность трансформаторов выбирают по средней активной мощности за наиболее загруженную смену по формуле:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq \frac{P_{\text{р}\Sigma}}{K_3 \cdot N}, \quad (34)$$

где N – число трансформаторов;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

$P_{\text{р}\Sigma}$ – суммарная активная мощность, потребляемая цехом, кВт.

Расчет ведем для двухтрансформаторной подстанции, так как в цехе имеются потребители относящиеся к первой категории.

Целесообразная загрузка цеховых трансформаторов зависит от категории надежности потребителей электроэнергии, от числа трансформаторов и способа резервирования.

При преобладании нагрузок второй категории для двухтрансформаторных ТП имеем $K_3 = 0,75$. Оптимальная загрузка трансформаторов для КТП №1:

$$S_{\text{ном.т.}} = \frac{627,44}{0,75 \cdot 2} = 418,3 \text{ кВА.}$$

По данной мощности выбираем трансформатор: ТМГ-630/10 производства компании «Электроцит». Герметичное исполнение выбрано в связи с требованиями к пожаробезопасности на объекте. И из-за сложности сооружения маслосборных ям внутри цеха.

Расчеты других участков проведены аналогичным образом. Результаты выбора трансформаторов приведены в таблицу 20.

Таблица 20 – Выбранные трансформаторы

№ КТП	Расчетная нагрузка P_p , кВт	Категория надежности	Число цеховых тр-в	K_3	Целесообразная загрузка тр-а $S_{ном.т.}$, кВА	Выбранный трансформатор
КТП №1	627,44	II	2	0,75	418,30	2 * ТМГ-630/10
КТП №2	316,16	II	2	0,75	210,77	2 * ТМГ-250/10
КТП №3	1571,07	I	2	0,7	1122,19	2 * ТМГ 1250/10
КТП №4	547,91	I	2	0,7	391,36	2 * ТС 400/10
ТП №5	945	I	2	0,7	642	2 * ЭТП 1000/10

Характеристики выбранных трансформаторов указаны в таблицах 21-25.

Таблица 21 – Каталожные данные трансформатора ТМГ-630/10

Номинальная мощность $S_{ном}$, кВА	630
$U_{номВН}$, кВ	10
$U_{номНН}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	4
Потери КЗ ΔP_K , кВт	6,5
Активные потери ХХ ΔP_x , кВт	1,3
Ток ХХ I_x , %	1,7

Таблица 22 – Каталожные данные трансформатора ТМГ-250/10

Номинальная мощность $S_{ном}$, кВА	250
$U_{номВН}$, кВ	10
$U_{номНН}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	4
Потери КЗ ΔP_K , кВт	3,25
Активные потери ХХ ΔP_x , кВт	0,65
Ток ХХ I_x , %	2

Таблица 23 – Каталожные данные трансформатора ТС-400/10

Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, кВА	400
$U_{\text{номВН}}$, кВ	10
$U_{\text{номНН}}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	4
Потери КЗ ΔP_K , кВт	4,6
Активные потери ХХ ΔP_X , кВт	1,3
Ток ХХ I_X , %	1,7

Таблица 24 – Каталожные данные трансформатора ТМГ-1250/10

Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, кВА	1250
$U_{\text{номВН}}$, кВ	10
$U_{\text{номНН}}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	5,5
Потери КЗ ΔP_K , кВт	13
Активные потери ХХ ΔP_X , кВт	1,95
Ток ХХ I_X , %	1,5

Таблица 25 – Каталожные данные трансформатора ЭТМП 1000/10

Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, кВА	1000
$U_{\text{номВН}}$, кВ	10
$U_{\text{номНН}}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	6
Потери КЗ ΔP_K , кВт	10,5
Активные потери ХХ ΔP_X , кВт	1,7
Ток ХХ I_X , %	1,3

Для второй конфигурации механосборочного цеха расчетные данные нагрузок приведены в таблицах 26 и 27 для КТП№1 и КТП№2 соответственно.

Таблица 26 – Нагрузка КТП №1

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП	К _и	Эф. число ЭП	К _р	Расчётные мощности			
По заданию			Справочные			Р _{ср} , кВт					Q _{ср} , квар	Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
Наименование ЭП	Р _{ном} , кВт	N,	Р _{номΣ} , кВт	К _и	cos(φ)	tg(φ)	Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар				Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1														
Наждачный станок	1,93	3	5,79	0,12	0,5	1,73	0,69	1,2						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Заточной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Агрегатный станок	90	1	90	0,2	0,65	1,17	18	21,04						
Консольно-фрезерный станок	14	1	14	0,14	0,5	1,73	1,96	3,39						
Горизонтально-расточной станок	22,6	1	22,6	0,16	0,6	1,33	3,62	4,82						
Наждачный станок	1,93	2	3,86	0,12	0,5	1,73	0,46	0,8						
Станок закалочный	62	1	62	0,2	0,65	1,17	12,4	14,5						
Станок для резки полистирола	0,15	1	0,15	0,15	0,5	1,73	0,02	0,04						
Станок для резки полистирола	2,2	1	2,2	0,15	0,5	1,73	0,33	0,57						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Заточной станок	3,86	2	7,72	0,12	0,5	1,73	0,93	1,6						
Радиально-сверлильный станок	6,3	4	25,2	0,12	0,5	1,73	3,02	5,24						
Точильно-шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Краскомешалка	4	1	4	0,15	0,5	1,73	0,6	1,04						
Система транспортировки песка	15	1	15	0,2	0,65	1,17	3	3,51						
Вертикально-сверлильный станок	26	1	26	0,12	0,5	1,73	3,12	5,4						
Отрезной станок	8,8	1	8,8	0,12	0,5	1,73	1,06	1,83						

Предвспениватель	6,6	1	6,6	0,15	0,6	1,33	0,99	1,32						
Автоклав	9	1	9	0,15	0,5	1,73	1,35	2,34						
Итого по категории		27	313,72				52,85	70,9	0,17	6	2,41	127,37	70,9	145,77
Характерная категория №2														
Автомат отрезной круглопильный	11	3	33	0,2	0,65	1,17	6,60	7,72	0,2	3	2,8	18,74	8,49	20,58
Характерная категория №2														
Сварочный трактор АТ-1 с источником МЗ-1000	47	1	47	0,5	0,7	1,02	23,5	23,97						
Сварочный выпрямитель ВДГ 401	14,4	1	14,4	0,5	0,7	1,02	7,2	7,35						
Старый сварочный аппарат	7,5	1	7,5	0,5	0,7	1,02	3,75	3,83						
Сварочный выпрямитель ВДГ 303	17,1	1	17,1	0,5	0,7	1,02	8,55	8,72						
Сварочный пост МИГ 3500	14,4	2	28,8	0,5	0,7	1,02	14,4	14,69						
Сварочный пост МИГ-350	7	2	14	0,5	0,7	1,02	7	7,14						
Сварочный пост МИГ-5000	23	1	23	0,5	0,7	1,02	11,5	11,73						
Сварочный пост ПВУ 501	30	2	60	0,5	0,7	1,02	30	30,61						
Сварочный пост МИГ 3500	14,4	2	28,8	0,5	0,7	1,02	14,4	14,69						
Сварочный пост ВДГ-401	26,4	1	26,4	0,5	0,7	1,02	13,2	13,47						
Электромагнит	1	1	1	0,5	0,7	1,02	0,5	0,51						
Сварочный пост МИГ-5000	23	1	23	0,5	0,7	1,02	11,5	11,73						
Вибростол	2,2	1	2,2	0,5	0,7	1,02	1,1	1,12						
Итого по категории		17	293,2				146,6	149,56	0,5	9	1,37	200,84	149,56	250,41
Характерная категория №3														
Установка для плавки легких сплавов УПЛС-45М	60	1	60	0,6	0,95	0,33	36	11,83						
Электропечь шахтная для газовой цементации	75	1	75	0,6	0,95	0,33	45	14,79						
Электропечь шахтная для отпуска	37	1	37	0,6	0,95	0,33	22,2	7,3						
Электропечь камерная	45	1	45	0,6	0,95	0,33	27	8,87						
Электропечь камерная	60	1	60	0,6	0,95	0,33	36	11,83						
Электропечь камерная	75	1	75	0,6	0,95	0,33	45	14,79						

Установка индукционная закалочная	138	1	138	0,75	0,95	0,33	103,5	34,02						
Установка высокочастотная закалочная	63	1	63	0,75	0,95	0,33	47,25	15,53						
Электропечь для сушки резины	45	1	45	0,6	0,95	0,33	27	8,87						
Стенд для нагрева ковша	14	1	14	0,6	0,95	0,33	8,4	2,76						
Электропечь тигельная	350	1	350	0,6	0,95	0,33	210	69,02						
Парогенератор	38	1	38	0,6	0,95	0,33	22,8	7,49						
Котел подогрева	9	1	9	0,6	0,95	0,33	5,4	1,77						
Машина термической резки "Вулкан"	30	1	30	0,6	0,95	0,33	18	5,92						
Машина плазменной резки "Кристалл"	130	1	130	0,6	0,95	0,33	78	25,64						
Итого по категории		15	1169				731,55	240,45	0,63	8	1,28	936,38	240,45	966,7
Характерная категория №4														
Кран консольный	1,5	8	12	0,05	0,5	1,73	0,6	1,04						
Кран консольный	3	3	9	0,05	0,5	1,73	0,45	0,78						
Мостовой кран 10 т	13	7	91	0,1	0,5	1,73	9,1	15,76						
Итого по категории		18	112				10,15	17,58	0,09	2	5,21	52,88	17,58	55,7
Характерная категория №5														
Пресс	7	1	7	0,2	0,65	1,17	1,4	1,64						
Пресс шнековый	8	1	8	0,2	0,65	1,17	1,6	1,87						
Пресс гидравлический 40 т	22	1	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,14						
Пресс рычажный	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34						
Пресс ДГ 2432	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34						
Ножницы кривошипные листовые	40	1	40	0,2	0,65	1,17	8	9,35						
Пресс-ножницы комбинированные	4,8	2	9,6	0,2	0,65	1,17	1,92	2,24						
Пресс фрикционный	3,2	1	3,2	0,2	0,65	1,17	0,64	0,75						
Листогибочная машина	9,7	1	9,7	0,2	0,65	1,17	1,94	2,27						
Пресс гидравлический	12,8	1	12,8	0,2	0,65	1,17	2,56	2,99						
Ножницы листовые кривошипные	17	1	17	0,2	0,65	1,17	3,4	3,98						

Пресс-ножницы комбинированные	4,8	1	4,8	0,2	0,65	1,17	0,96	1,12						
Ножницы листовые кривошипные	17	1	17	0,2	0,65	1,17	3,4	3,98						
Пресс однокривошипный 630 т	20	1	20	0,2	0,65	1,17	4	4,68						
Кромкогибочный пресс	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Ножницы кривошипные листовые	7,5	2	15	0,2	0,65	1,17	3	3,51						
Машина листогибочная трехваловая	20	1	20	0,2	0,65	1,17	4	4,68						
Вальцы	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Ножницы кривошипные листовые	6,5	1	6,5	0,2	0,65	1,17	1,3	1,52						
Пресс закрытый простого действия 1000 т	83,1	1	83,1	0,2	0,65	1,17	16,62	19,43						
Пресс кривошипный двойного	23,4	1	23,4	0,2	0,65	1,17	4,68	5,47						
Ножницы листовые с наклонным ножом	10	1	10	0,2	0,65	1,17	2	2,34						
Пресс с вилковой подачей 100 т	12,2	1	12,2	0,2	0,65	1,17	2,44	2,85						
Пресс однокривошипный 40 т	4,7	1	4,7	0,2	0,65	1,17	0,94	1,1						
Пресс однокривошипный 25 т	3	1	3	0,2	0,65	1,17	0,6	0,7						
Пресс однокривошипный 100 т	11	1	11	0,2	0,65	1,17	2,2	2,57						
Итого по категории		28	440				88	102,88	0,2	15	1,65	145,20	102,88	178
Характерная категория №6														
Приточная установка	6	5	30	0,65	0,8	0,75	19,5	14,63						
Вакуумная система	18,5	1	18,5	0,15	0,5	1,73	2,78	4,81						
Вентилятор для транспортировки песка и охлаждения	30	1	30	0,65	0,8	0,75	19,5	14,63						
Компрессор	5,5	1	5,5	0,7	0,8	0,75	3,85	2,89						
Вытяжка уличная	55	1	55	0,65	0,8	0,75	35,75	26,81						
Станция охлаждения	5,5	1	5,5	0,65	0,8	0,75	3,58	2,68						
Компрессор	5	1	5	0,7	0,8	0,75	3,5	2,63						
Итого по категории		12	151,7				89,99	70,22	0,59	5	1,41	126,89	70,22	145,0
Итого по КТП		120	2512,62				1125,74	659,31				1608,3	660,08	1762

Таблица 27 – Нагрузка КТП №2

Исходные данные							Средняя мощность группы ЭП	К _и	Эф. число ЭП	К _р	Расчётные мощности			
По заданию				Справочные							P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
Наименование ЭП	P _{ном} , кВт	N,	P _{номΣ} , кВт	K _и	cos(φ)	tg(φ)	P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Характерная категория №1														
Горизонтально-протяжной станок	20	1	20	0,16	0,6	1,33	3,2	4,27						
Наждачный станок	1,61	1	1,61	0,12	0,5	1,73	0,19	0,33						
Долбежный станок	7	1	7	0,14	0,5	1,73	0,98	1,7						
Горизонтально-расточной станок	22,5	3	67,5	0,16	0,6	1,33	10,8	14,4						
Долбежный станок	7,5	1	7,5	0,14	0,5	1,73	1,05	1,82						
Долбежный станок	20	1	20	0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
Вертикально-фрезерный станок	15	1	15	0,14	0,5	1,73	2,1	3,64						
Горизонтально-фрезерный станок	10	1	10	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42						
Токарно-винторезный станок	12,97	1	12,97	0,12	0,5	1,73	1,56	2,7						
Поперечно-строгальный станок	4,2	1	4,2	0,12	0,5	1,73	0,5	0,87						
Токарно-винторезный станок	12	3	36	0,12	0,5	1,73	4,32	7,48						
Токарно-винторезный станок	19,7	1	19,7	0,16	0,6	1,33	3,15	4,20						
Горизонтально-расточной станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Универсальный зубофрезерный станок	4,8	1	4,8	0,12	0,5	1,73	0,58	1						
Зубофрезерный станок	10	2	20	0,12	0,5	1,73	2,4	4,16						
Зубофрезерный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Горизонтально-фрезерный станок	14,3	1	14,3	0,14	0,5	1,73	2	3,47						

Вертикальный консольно-фрезерный станок	11	1	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67						
Универсальный зубофрезерный станок	34	1	34	0,16	0,6	1,33	5,44	7,25						
Универсальный резьбошлифовальный станок	4,1	1	4,1	0,12	0,5	1,73	0,49	0,85						
Станок для заточки дисковых пил	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный заточной станок	2	3	6	0,12	0,5	1,73	0,72	1,25						
Универсальный заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Станок для ручной заточки резцов	1	1	1	0,12	0,5	1,73	0,12	0,21						
Обдирочно-шлифовальный станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Стенд для испытаний камней	7	1	7	0,12	0,65	1,17	0,84	0,98						
Станок для заточки резцов	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный заточной станок	1,6	2	3,2	0,12	0,5	1,73	0,38	0,67						
Настольно-сверлильный станок	0,65	1	0,65	0,12	0,5	1,73	0,08	0,14						
Радиально-сверлильный станок	4,4	1	4,4	0,12	0,5	1,73	0,53	0,91						
Плоско-шлифовальный станок	24,59	1	24,59	0,16	0,6	1,33	3,93	5,25						
Радиально-сверлильный станок	14,1	1	14,1	0,12	0,5	1,73	1,69	2,93						
Координатно-расточной станок	20,2	1	20,2	0,16	0,6	1,33	3,23	4,31						
Универсальный шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Вертикально-расточной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Точильно-шлифовальный станок	2,8	1	2,8	0,12	0,5	1,73	0,34	0,58						
Консольно-фрезерный станок	9,8	1	9,8	0,14	0,5	1,73	1,37	2,38						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	11	1	11	0,12	0,5	1,73	1,32	2,29						
Токарно-винторезный станок	12,13	1	12,13	0,12	0,5	1,73	1,46	2,52						
Радиально-сверлильный станок	7	2	14	0,12	0,5	1,73	1,68	2,91						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Радиально-сверлильный станок	5,3	2	10,6	0,12	0,5	1,73	1,27	2,2						
Вертикально-сверлильный станок	29,5	2	59	0,12	0,5	1,73	7,08	12,26						

Сверлильный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Настольно-сверлильный станок	6,55	1	6,55	0,12	0,5	1,73	0,79	1,36						
Заточной станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Заточной станок	2,14	2	4,28	0,12	0,5	1,73	0,51	0,89						
Токарно-винторезный станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	5,5	2	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	7	1	7	0,14	0,5	1,73	0,98	1,7						
Вертикальный шпоночно-фрезерный станок	3,5	1	3,5	0,14	0,5	1,73	0,49	0,85						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	12	2	24	0,14	0,5	1,73	3,36	5,82						
Горизонтальный консольно-фрезерный станок	14	1	14	0,14	0,5	1,73	1,96	3,39						
Вертикальный консольно-фрезерный станок	12	1	12	0,14	0,5	1,73	1,68	2,91						
Станок трубонарезной	19,7	1	19,7	0,16	0,6	1,33	3,15	4,2						
Токарно-винторезный станок	13	3	39	0,12	0,5	1,73	4,68	8,11						
Сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Наждачный станок	1,61	2	3,22	0,12	0,5	1,73	0,39	0,67						
Круглошлифовальный станок	15	1	15	0,12	0,5	1,73	1,8	3,12						
Токарно-винторезный станок	16,3	5	81,5	0,12	0,5	1,73	9,78	16,94						
Универсальный круглошлифовальный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Плоскошлифовальный станок	24,3	1	24,3	0,16	0,6	1,33	3,89	5,18						
Токарно-винторезный станок	10	2	20	0,12	0,5	1,73	2,4	4,16						
Токарно-винторезный станок	12,97	3	38,91	0,12	0,5	1,73	4,67	8,09						
Универсальный токарно-винторезный станок	23,6	2	47,2	0,16	0,6	1,33	7,55	10,07						
Токарно-винторезный станок	7,3	1	7,3	0,12	0,5	1,73	0,88	1,52						
Фрезерный станок	7	1	7	0,12	0,5	1,73	0,84	1,45						
Двустоечный карусельный станок	48,7	1	48,7	0,16	0,6	1,33	7,79	10,39						

Универсальный токарно-винторезный станок	23,6	1	23,6	0,12	0,5	1,73	2,83	4,91						
Токарно-карусельный станок	38,4	1	38,4	0,16	0,6	1,33	6,14	8,19						
Специальный трубонарезной станок	22,2	1	22,2	0,16	0,6	1,33	3,55	4,74						
Радиально-сверлильный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,5	1,73	0,18	0,31						
Токарно-сверлильный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Стенд испытаний	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Токарно-винторезный станок	11,7	1	11,7	0,12	0,5	1,73	1,4	2,43						
Радиально-сверлильный станок	2,9	1	2,9	0,12	0,5	1,73	0,35	0,6						
Продольно-фрезерный станок	10	1	10	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42						
Токарно-револьверный одношпиндельный прутковый станок	12,8	1	12,8	0,12	0,5	1,73	1,54	2,66						
Вертикально-сверлильный станок	4	2	8	0,12	0,5	1,73	0,96	1,66						
Гайконарезной станок	2	1	2	0,12	0,5	1,73	0,24	0,42						
Универсальный фрезерный станок	160	1	160	0,2	0,65	1,17	32	37,41						
Долбежный станок	20	1	20	0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
Настольно-сверлильный станок	0,65	1	0,65	0,12	0,5	1,73	0,08	0,14						
Сверлильный станок	10	1	10	0,12	0,5	1,73	1,2	2,08						
Точильно-шлифовальный станок	3	1	3	0,12	0,5	1,73	0,36	0,62						
Итого по категории		113	1365,36				196,02	296,38	0,14	30	1,47	288,16	296,38	413,37
Характерная категория №2														
Полуавтомат протяжной горизонтальный	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Полуавтомат зубофрезерный универсальный	18,67	1	18,67	0,2	0,65	1,17	3,73	4,37						
Полуавтомат зубодолбежный вертикальный	27,7	1	27,7	0,14	0,5	1,73	3,88	6,72						
Полуавтомат зубодолбежный	7,5	1	7,5	0,14	0,5	1,73	1,05	1,82						
Полуавтомат шлицефрезерный	11,6	1	11,6	0,2	0,65	1,17	2,32	2,71						
Полуавтомат круглошлифовальный	10,8	1	10,8	0,2	0,65	1,17	2,16	2,53						
Полуавтомат профиле-накатной роликовый	9,97	1	9,97	0,2	0,65	1,17	1,99	2,33						

Итого по категории		7	116,24				21,14	27,48	0,18	6	2,41	50,94	30,23	59,23
Характерная категория №3														
Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый	12,8	3	38,4	0,2	0,65	1,17	7,68	8,98						
Зубострогальный автомат	5,2	1	5,2	0,2	0,65	1,17	1,04	1,22						
Автомат отрезной круглопильный	11,65	1	11,65	0,2	0,65	1,17	2,33	2,72						
Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый	12,8	1	12,8	0,2	0,65	1,17	2,56	2,99						
Итого по категории		6	68,05				13,61	15,91	0,2	3	2,8	38,11	17,50	41,94
Характерная категория №4														
Приточная установка	6	3	18	0,65	0,8	0,75	11,7	8,78	0,65	3	1,46	17,08	9,65	19,62
Характерная категория №4														
Сварочный аппарат	7	1	7	0,5	0,7	1,02	3,5	3,57	0,5	1	3,24	11,34	3,93	12,00
Характерная категория №5														
Мостовой кран 5-10 т	13	1	13	0,1	0,5	1,73	1,3	2,25						
Кран консольный	3	4	12	0,05	0,5	1,73	0,6	1,04						
Мостовой кран 10 т	13	3	39	0,1	0,5	1,73	3,9	6,75						
Мостовой кран 32 т	42,84	1	42,84	0,1	0,5	1,73	4,28	7,42						
Кран-балка 5 т	5,5	1	5,5	0,05	0,5	1,73	0,28	0,48						
Итого по категории		10	112,34				10,36	17,94	0,09	5	3,3	34,18	17,94	38,61
Характерная категория №6														
Пресс гидравлический 40 т	22	1	22	0,2	0,65	1,17	4,4	5,14						
Пресс 100 т	30	1	30	0,2	0,65	1,17	6	7,01						
Пресс	7	1	7	0,2	0,65	1,17	1,4	1,64						
Итого по категории		3	59				11,8	13,8	0,2	3	2,84	33,51	15,18	36,79
Характерная категория №7														
Освещение сварочного участка												3,8	1,83	4,22

Продолжение таблицы 27

Освещение термического участка												7,02	3,37	7,79
Освещение механического участка												7,02	3,37	7,79
Освещение сборочного участка												3,51	1,69	3,89
<i>Итого по категории</i>												21,35	10,26	23,69
Характерная категория №7														
Сторонняя нагрузка												347,36	219,176	411,528
<i>Итого по КТП</i>		143	1745,99				268,1298	383,86				842,03	620,25	1056,78

Сторонняя нагрузка КТП №2: освещение территории, АБК, станция пожаротушения, ККУ-30, АБК, АЗС, гаражный комплекс

При преобладании нагрузок второй категории для двухтрансформаторных ТП имеем $K_3 = 0,75$. Оптимальная загрузка трансформаторов для КТП №2:

$$S_{\text{ном.т.}} = \frac{842,03}{0,75 \cdot 2} = 561,35 \text{ кВА.}$$

По данной мощности выбираем трансформатор: ТМГ-630/10 производства компании «Электроцит».

Расчеты других участков проведены аналогичным образом. Результаты выбора трансформаторов второго варианта конфигурации приведены в таблицу 28.

Таблица 28 – Выбранные трансформаторы

№ КТП	Расчетная нагрузка P_p , кВт	Категория надежности	Число цеховых тр-в	K_3	Целесообразная загрузка тр-а $S_{\text{ном.т.}}$, кВА	Выбранный трансформатор
КТП №1	1608,30	I	2	0,7	1148,79	2 * ТМГ-1250/10
КТП №2	842,03	II	2	0,75	561,35	2 * ТМГ-630/10

Характеристики трансформаторов указаны в таблицах 29 и 30.

Таблица 29 – Каталожные данные трансформатора ТМГ-630/10

Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, кВА	630
$U_{\text{номВН}}$, кВ	10
$U_{\text{номНН}}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	4
Потери КЗ ΔP_K , кВт	6,5
Активные потери ХХ ΔP_X , кВт	1,3
Ток ХХ I_X , %	1,7

Таблица 30 – Каталожные данные трансформатора ТМГ-1250/10

Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, кВА	1250
$U_{\text{номВН}}$, кВ	10
$U_{\text{номНН}}$, кВ	0,4
Напряжение КЗ U_K , %	5,5
Потери КЗ ΔP_K , кВт	13
Активные потери ХХ ΔP_X , кВт	1,95
Ток ХХ I_X , %	1,5

4.4 Расчет компенсации реактивной мощности

Расчет наибольшую реактивной мощности, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением 0,4 кВ, определяют по формуле 35:

$$Q_{\text{max}m} = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{p}\Sigma}^2}; \quad (35)$$

Для КТП №1:

$$Q_{\text{max}m} = \sqrt{(2 \cdot 0,75 \cdot 630)^2 - 627,44^2} = 706,64 \text{ квар.}$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей на напряжение 0,4 кВ составит:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{общ}} - Q_{\text{max}m}, \quad (36)$$

где $Q_{\text{общ}}$ – суммарная реактивная мощность, потребляемая цехом, квар.

$$Q_{\text{нк1}} = 421,45 - 706,64 = -285,19 \text{ квар.}$$

Так как $Q_{\text{нк1}} < 0$, установка батарей конденсаторов не требуется.

Дополнительная мощность $Q_{нк2}$ НБК для данной группы трансформаторов определяется по формуле:

$$Q_{нк2} = Q_{общ} - Q_{нк1} - \gamma \cdot N \cdot S_{ном т}, \quad (37)$$

где γ - расчетный коэффициент, зависящий от расчетных параметров $K_{р1}$ и $K_{р2}$ и схемы питания цеховой ТП.

Расчетный коэффициент удельных потерь $K_{р1}$ зависит от объединенной энергосистемы и количества рабочих смен. Для ОЭС Дальнего Востока и одной рабочей смены имеем – $K_{р1} = 9$.

Коэффициент $K_{р2}$ зависит от мощности установленного трансформатора и длины питающей линии - $K_{р2} = 4$.

По кривым для радиальной схемы питания трансформаторов напряжением 10 кВ получаем – $\gamma \approx 0,3$.

$$Q_{нк2} = 421,45 - 0 - 0,3 \cdot 2 \cdot 630 = 43,45 \text{ квар.}$$

Суммарная мощность НБК составит:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}; \quad (38)$$

$$Q_{нк} = 0 + 43,45 = 43,45 \text{ квар.}$$

Устанавливаем устройство компенсации реактивной мощности КПС-0,4-25-3 в количестве двух штук – по одному на секцию шин. Конденсаторы косинусные КПС ЕКФ применяются для статической и автоматической компенсации коэффициента реактивной мощности в сетях переменного тока. Низковольтные трехфазные косинусные конденсаторы КПС представляют собой три конденсатора, соединенные в треугольник. В комплекте к устройствам

компенсации оснащаем КТП контакторами для коммутации конденсаторных батарей серии КМНК. Для регулирования реактивной мощности устанавливаем регулятор мощности РРМГ-12. Типовая схема подключения представлена на рисунке 6.

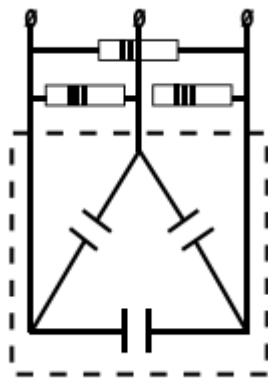


Рисунок 6 – типовая схема подключения конденсатора.

Компенсирующие устройства 1 варианта конфигурации занесены в таблицу 31.

Таблица 31 – выбор компенсирующих устройств

Номер КТП	$Q_{нк1}$	$Q_{нк2}$	$Q_{нк}$	Принятое устройство компенсации
1	2	3	4	5
КТП №1	-	43,45	43,45	2 КПС-0,4-25-3
КТП №2	29,82	51,66	81,49	2 КПС-0,4-30-3 2 КПС-0,4-12,5-3
КТП №3	-	-	-	-
КТП №4	174,38	-	174,38	2 КПС-0,4-50-3 2 КПС-0,4-40-3
ТП №5	-	-	-	-

Компенсирующие устройства 2 варианта конфигурации занесены в таблицу 32.

Таблица 32 – выбор компенсирующих устройств

Номер КТП	$Q_{нк1}$	$Q_{нк2}$	$Q_{нк}$	Принятое устройство компенсации
1	2	3	4	5
КТП №1	-	-	-	-
КТП №2	191,29	50,96	242,25	4 КПС-0,4-50-3 2 КПС-0,4-25-3

4.5 Определение загрузки цеховых трансформаторов

Проверим коэффициенты загрузки трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности по формуле 39:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_P^2 + Q_{\text{неск}}^2}}{2 \cdot S_{\text{тр}}}, \quad (39)$$

где $Q_{\text{неск}}$ – значение некомпенсированной мощности, которое равно:

$$Q_{\text{неск}} = Q_p - Q_{\text{нк.факт}}.$$

Значение некомпенсированной мощности для первой цеховой подстанции равно:

$$Q_{\text{неск}} = 421,45 - 50 = 371,45 \text{ квар.}$$

Тогда коэффициент загрузки трансформаторов на этой подстанции:

$$K_3 = \frac{\sqrt{627,44^2 + 371,45^2}}{2 \cdot 600} = 0,57.$$

Также необходимо проверить трансформатор на коэффициент загрузки при аварийном режиме, т.е. в том случае, когда отключается один трансформатор:

$$K_{3.ав} = \frac{\sqrt{P_P^2 + Q_{\text{неск}}^2}}{S_{\text{тр}}}; \quad (40)$$

$$K_{3.ав} = \frac{\sqrt{16,5^2 + 5,34^2}}{16} = 1,084.$$

Трансформаторы КТП загружены оптимально.

Загрузка трансформаторов цеховых подстанций для 1 варианта указана в таблице 33.

Таблица 33 – проверка трансформаторов на коэффициент загрузки

Номер КТП	Принятые трансформаторы	Коэффициент загрузки K_z , %	Коэффициент загрузки в аварийном режиме $K_{z,ав}$, %
1	2	3	4
КТП №1	2 × ТМГ-630/10	58	116
КТП №2	2 × ТМГ-250/10	69	139
КТП №3	2 × ТС 1250/10	69	137
КТП №4	2 × ТС 400/10	70	140
ТП №5	2 × ЭТП 1000/10	50	100

Загрузка трансформаторов цеховых подстанций для 2 варианта указана в таблице 34.

Таблица 34 – проверка трансформаторов на коэффициент загрузки

Номер КТП	Принятые трансформаторы	Коэффициент загрузки K_z , %	Коэффициент загрузки в аварийном режиме $K_{z,ав}$, %
1	2	3	4
КТП №1	2 × ТМГ-1250/10	7	139
КТП №2	2 × ТМГ-630/10	73	146

5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ

5.1 Выбор сечения кабелей и проводов

Выбор сечений проводников для питания электроприемников, присоединяемых к распределительному шинопроводу (или СП), определяется по фактически потребляемой мощности ЭП. Номинальный ток нагрузки $I_{ном}$ находится по формуле:

$$I_{ном} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta}, \quad (41)$$

где P_H – номинальная активная мощность электроприемника, кВт;

U_n – номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$\cos \phi$ – номинальный коэффициент мощности нагрузки;

η – номинальный КПД;

Для примера определяем номинальный ток протяжного горизонтального полуавтомата.

$$I_{ном} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 83,27 \text{ А.}$$

Для установки принимается кабель АВВГ (3 х 70) мм² с длительно-допустимым током $I_{дл.доп.} = 165$ А. Кабель алюминиевый с изоляцией из пластика ПВХ и оболочкой из поливинилхлоридного пластика производства компании «ЭлПром».

Расчёт для обоих вариантов конфигураций идентичен. Поэтому расчёт выбранных сечений для обоих вариантов занесен в одну таблицу 35.

Таблица 35 – Выбор марки и сечения кабелей и проводов питающих ЭП механосборочного цеха

ЭП	Номинальная мощность P_H , кВт	$\cos \phi$	Номинальный КПД η	Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Длительный ток ЭП $I_{ном}$, А	Длительный допустимый ток $I_{доп}$, А
1-1	30	0,65	0,8	АВВГ	4 × 25	83,27	94
1-2	20	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	60,14	71
1-3	1,5	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	4,81	28
1-4, 1-5, 1-6	12,8	0,65	0,8	АВВГ	4 × 6	35,53	40
1-7	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
2-1	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
2-2,2-3	2,14	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	6,42	28
2-19	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
2-4	15	0,5	0,8	АВВГ	4 × 16	54,13	71
2-6	5,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	19,85	26
2-5	7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	25,26	26
2-7	3,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	12,63	26
2-10, 2-11	12	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	43,30	54
2-9	5,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	19,85	26
2-8	14	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	50,52	54
2-12	12	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	43,30	54
2-14	19,7	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	59,24	71
2-13, 2-15, 2-16	13	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	46,91	54
2-17	1,5	0,5	0,9	АВВГ	4 × 2,5	4,81	26
2-18	1,61	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	4,81	28
3-13	18,67	0,65	0,8	АВВГ	4 × 10	51,82	54
3-14	7	0,5	0,88	АВВГ	4 × 2,5	22,96	26
3-15	27,7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 35	99,95	114
3-16	7,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 4	27,06	34
3-17	11,6	0,65	0,8	АВВГ	4 × 4	32,20	34
3-18	22,5	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	67,66	71
3-1	7,5	0,5	0,88	АВВГ	4 × 2,5	24,60	26
3-2	20	0,5	0,88	АВВГ	4 × 16	65,61	71
3-3	15	0,5	0,8	АВВГ	4 × 16	54,13	71
3-4	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
3-5	12,97	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	46,80	54
3-6	4,2	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	15,16	26
3-7, 3-8, 3-9	12	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	43,30	54
3-10	19,7	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	59,24	71
3-11, 3-12	22,6	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	67,96	71
3-25	15	0,5	0,8	АВВГ	4 × 16	54,13	71
3-19	4,8	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	17,32	26

Продолжение таблицы 35

3-20, 3-23	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
3-21	7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	25,26	26
3-22	5,2	0,65	0,8	АВВГ	4 × 2,5	14,43	26
3-24	14,3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	51,60	54
3-26	11	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	39,69	40
3-27	34	0,6	0,8	АВВГ	4 × 35	102,24	114
4-1	15	0,5	0,9	АВВГ	4 × 10	48,11	54
4-19, 4-20, 4-21, 4-22, 4-23	16,3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 16	58,82	71
4-2	10	0,5	0,9	АВВГ	4 × 4	32,08	34
4-3	24,3	0,6	0,9	АВВГ	4 × 16	64,95	71
4-13, 4-25	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
4-4	12,8	0,65	0,8	АВВГ	4 × 6	35,53	40
4-5, 4- 12	12,97	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	46,80	54
4-6	1,61	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	4,81	28
4-27, 4-28	23,6	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	70,97	71
4-7	7,3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 4	26,34	34
4-8	7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	25,26	26
4-9	9,97	0,65	0,8	АВВГ	4 × 4	27,67	34
4-29	48,7	0,6	0,8	АВВГ	4 × 70	146,44	165
4-30	23,6	0,5	0,8	АВВГ	4 × 25	85,16	94
4-31	38,4	0,6	0,8	АВВГ	4 × 50	115,47	132
4-32	22,2	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	66,76	71
4-11	1,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	5,41	26
4-10	12,97	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	46,80	54
4-26	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
4-14	3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,83	26
4-15	11,7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	42,22	54
4-16	2,9	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,46	26
4-33	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
4-34	12,8	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	46,19	54
4-17	4	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	14,43	26
4-18	2	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	7,22	26
4-35, 4-36, 4-37, 4-38	3	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,40	26
4-39	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
5-6	4,1	0,5	0,9	АВВГ	4 × 2,5	13,15	26
5-5	2	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	6,42	28

Продолжение таблицы 35

5-4, 5-18, 5-10	2	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	6,42	28
5-2	3	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	9,62	28
5-3	1	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	3,21	28
5-8	2	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	6,42	28
5-11	7	0,65	0,8	АВВГ	4 × 2,5	19,43	26
5-7	2	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	6,42	28
5-1, 5-9	1,6	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	5,13	28
5-13	22	0,65	0,88	АВВГ	4 × 16	55,51	71
5-12	0,65	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	2,35	26
5-14	4,4	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	15,88	26
5-15	24,59	0,6	0,9	АВВГ	4 × 16	65,73	71
5-16	10,8	0,65	0,9	АВВГ	4 × 4	26,65	34
5-17	14,1	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	50,88	54
5-23	20,2	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	60,74	71
5-19	3	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	9,62	28
5-20	2	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	7,22	26
5-22	2,8	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	8,98	28
5-24	9,8	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	35,36	40
5-21	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
5-25	11	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	39,69	40
5-26	12,13	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	43,77	54
5-27	11,65	0,65	0,8	АВВГ	4 × 4	32,34	34
6-1	160	0,65	0,8	2 × АВВГ	4 × 150	444,12	484
6-5	20	0,5	0,88	АВВГ	4 × 16	65,61	71
6-2	0,65	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	2,35	26
6-3	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
6-4	3	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	8,98	28
6-6	4	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	14,43	26
6-7	7	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	17,66	26
6-8	5,5	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	20,89	26
7-2	2,9	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,46	26
7-1	10	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	25,23	26
7-7	3	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,40	26
7-3, 7-4, 7-5	11	0,65	0,88	АВВГ	4 × 4	27,76	34
7-6	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
8-1	47	0,7	0,9	АВВГ	4 × 35	107,68	114
8-2	14,4	0,7	0,9	АВВГ	4 × 4	32,99	34
8-3	7,5	0,7	0,9	АВВГ	4 × 2,5	17,18	26
8-4	17,1	0,7	0,9	АВВГ	4 × 6	39,18	40
8-15, 8-16, 8-17	1,5	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	5,70	26
8-5	60	0,95	0,9	АВВГ	4 × 35	101,29	114
8-6	1,93	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	4,81	28

8-7	75	0,95	0,9	АВВГ	4 × 50	126,61	132
8-8	37	0,95	0,9	АВВГ	4 × 16	62,46	71
8-9	45	0,95	0,9	АВВГ	4 × 25	75,97	9
8-11	60	0,95	0,9	АВВГ	4 × 35	101,29	114
8-10	75	0,95	0,9	АВВГ	4 × 50	126,61	132
8-14	138	0,95	0,9	АВВГ	4 × 150	232,97	242
8-12	63	0,95	0,9	АВВГ	4 × 35	106,35	114
8-13	62	0,65	0,9	АВВГ	4 × 70	152,97	165
8-18	3	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,40	26
8-19	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
9-1	2	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	6,42	28
9-2	23	0,7	0,9	АВВГ	4 × 10	52,69	54
9-3	12,2	0,65	0,88	АВВГ	4 × 4	30,79	34
10-2	90	0,65	0,8	АВВГ	4 × 185	249,82	280
10-3	14	0,5	0,8	АВВГ	4 × 10	50,52	54
10-4	22,6	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	67,96	71
10-5	7	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	17,66	26
10-6	1,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	5,41	26
10-7	8	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	20,19	26
10-8, 10-9	1,93	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	4,81	28
10-10	22	0,65	0,88	АВВГ	4 × 16	55,51	71
10-11	10	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	25,23	26
10-1	10	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	25,23	26
10-12	45	0,95	0,9	АВВГ	4 × 25	75,97	94
11-1, 11-2	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
11- 3,11-4	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
11-5	14	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	23,63	26
11-6	18,5	0,5	0,76	АВВГ	4 × 16	70,27	71
11-7	15	0,65	0,76	АВВГ	4 × 10	43,83	54
11-8	5,5	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	13,06	26
11-9	30	0,8	0,76	АВВГ	4 × 25	71,22	94
11-10	1	0,7	0,88	АВВГ	4 × 2,5	2,34	26
11-11	2,2	0,7	0,8	АВВГ	4 × 2,5	5,67	26
11-12	55	0,8	0,76	АВВГ	4 × 50	130,57	132
11-13	5,5	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	13,06	26
11-14	350	0,95	0,9	2 × АВВГ	4 × 240	590,86	660
11-15	0,15	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	0,54	26
11-16	2,2	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	7,94	26
11-17	6,6	0,6	0,76	АВВГ	4 × 2,5	20,89	26
11-18	2,2	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	5,22	26
11-19	9	0,5	0,76	АВВГ	4 × 6	34,19	40
11-20	38	0,95	0,9	АВВГ	4 × 16	64,15	71
11-21	4	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	15,19	26
11-22	9	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	15,19	26
12-1	7,5	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	18,93	26

12-2	30	0,95	0,9	АВВГ	4 × 10	50,64	54
12-3	130	0,95	0,9	АВВГ	4 × 120	219,46	226
12-4	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
12-6	83,1	0,65	0,88	АВВГ	4 × 120	209,69	226
12-5	5	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,87	26
12-11	3	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,40	26
12-7	30	0,65	0,88	АВВГ	4 × 25	75,70	94
12-8	7,5	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	18,93	26
12-9	20	0,65	0,88	АВВГ	4 × 10	50,47	54
12-10	30	0,65	0,88	АВВГ	4 × 25	75,70	94
12-12	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
12-13, 12-14	14,4	0,7	0,9	АВВГ	4 × 4	32,99	34
13-3	42,84	0,5	0,76	АВВГ	4 × 70	162,72	165
13-6	7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	25,26	26
13-5	2,9	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,46	26
13-7	30	0,65	0,88	АВВГ	4 × 25	75,70	94
13-4, 13-8	5,3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	19,12	26
13-9, 13-10	29,5	0,5	0,8	АВВГ	4 × 35	106,45	114
13-11	7	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	25,26	26
13-12	3	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	9,62	28
13-13	2,9	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,46	26
13-14	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
13-16	6,55	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	23,64	26
13-2	7	0,7	0,9	АВВГ	4 × 2,5	16,04	26
13-17	3	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	9,62	28
13-1	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
14-1	2,9	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,46	26
14-2	6,5	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	16,40	26
14-3, 14-4	3,86	0,5	0,9	АВВГ	2 × 2,5	9,62	28
14-5, 14-13	7	0,7	0,9	АВВГ	4 × 2,5	16,04	26
14-6	23	0,7	0,9	АВВГ	4 × 10	52,69	54
14-7	1,5	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	5,70	26
14-8, 14-32	13	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	49,38	54
14-9, 14-21	30	0,7	0,9	АВВГ	4 × 16	68,73	71
14- 10,14- 14	14,4	0,7	0,9	АВВГ	4 × 4	32,99	34
14-12	26,4	0,7	0,9	АВВГ	4 × 16	60,48	71
14-15, 14-16, 14-17	1,5	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	5,70	26

14-18	6,3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	22,73	26
14-19	3	0,5	0,9	АВВГ	4 × 2,5	9,62	26
14-20	20	0,65	0,88	АВВГ	4 × 10	50,47	54
14-22	40	0,65	0,88	АВВГ	4 × 35	100,94	114
14-23	4,8	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	12,11	26
14-24	3,2	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	8,07	26
14-25	9,7	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	24,48	26
14-26	12,8	0,65	0,88	АВВГ	4 × 4	32,3	34
14-27	17	0,65	0,88	АВВГ	4 × 10	42,9	54
14-28	4,8	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	12,11	26
14-29	17	0,65	0,88	АВВГ	4 × 10	42,9	54
14-30	26	0,5	0,8	АВВГ	4 × 25	93,82	94
14-31	23,4	0,65	0,88	АВВГ	4 × 16	59,05	71
14-33	4,7	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	11,86	26
14-34	3	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	7,57	26
14-35	11	0,65	0,88	АВВГ	4 × 4	27,76	34
14-36, 14-38, 14-39	6,3	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	22,73	26
14-37	4,8	0,65	0,88	АВВГ	4 × 2,5	12,11	26
14-40	8,8	0,5	0,88	АВВГ	4 × 4	28,87	34
14-41	1,5	0,5	0,76	АВВГ	4 × 2,5	5,70	26
14-42, 14-43	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26

Таблица 36 – Выбор марки и сечения кабелей и проводов питающих ЭП литейного цеха

ЭП	Номинальная мощность P_H , кВт	$\cos \phi$	Номинальный КПД η	Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Длительный ток ЭП $I_{ном}$, А	Длительный допустимый ток $I_{доп}$, А
1-2	30	0,65	0,8	АВВГ	4 × 25	83,27	94
1-1	55	0,65	0,8	АВВГ	4 × 70	152,66	165
1-3, 1-4, 1-5, 1-6	1	0,65	0,8	АВВГ	4 × 2,5	2,78	26
1-9	2	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	3,38	26
1-8	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
1-12	10	0,65	0,8	АВВГ	4 × 4	27,76	34
1-7	12,8	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	48,62	54
1-11	10	0,65	0,8	АВВГ	4 × 4	27,76	34
2-2	15	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	25,32	26
2-3	10	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	16,88	26
2-6	20	0,8	0,76	АВВГ	4 × 10	47,48	54
2-7	25	0,8	0,76	АВВГ	4 × 16	59,35	71

2-4	12,8	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	48,62	54
2-1	1350	0,95	0,9	6 АВВГ	4 × 300	2279,01	2322
2-5	480	0,95	0,9	3 АВВГ	4 × 185	810,32	840
3-1	22	0,65	0,8	АВВГ	4 × 16	61,07	71
3-2	20	0,7	0,8	АВВГ	4 × 10	51,55	54
3-3	0,55	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	1,98	26
3-4	2,9	0,5	0,8	АВВГ	4 × 2,5	10,46	26
3-5	10	0,5	0,8	АВВГ	4 × 6	36,08	40
3-6, 3-7	6	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	14,24	26
3-8, 3-9	12,8	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	48,62	54
4-1	40	0,65	0,8	АВВГ	4 × 35	111,03	114
4-3	20	0,65	0,8	АВВГ	4 × 16	55,51	71
4-2	10	0,65	0,8	АВВГ	4 × 4	27,76	34
5-4	50	0,95	0,9	АВВГ	4 × 25	84,41	94
5-1	15	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	25,32	26
5-2	9	0,95	0,9	АВВГ	4 × 2,5	15,19	26
5-5	20	0,7	0,9	АВВГ	4 × 10	45,82	54
5-6	21,5	0,6	0,8	АВВГ	4 × 16	64,65	71
5-7	36,6	0,6	0,8	АВВГ	4 × 35	110,06	114
5-8	28,9	0,6	0,8	АВВГ	4 × 25	86,90	94
5-9	300	0,95	0,9	2×АВВГ	4 × 185	506,45	560
5-10, 5-11	5	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,87	26
5-12	5	0,8	0,76	АВВГ	4 × 2,5	11,87	26
5-3, 5-13	12,8	0,5	0,76	АВВГ	4 × 10	48,62	54

5.2 Выбор шинопроводов

Выбор осуществляется по нагреву длительно допустимым током по условию:

$$I_{pШПА} \leq I_{донШПА} \cdot K_{сн}, \quad (42)$$

где $K_{сн}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей. Для прокладки в трубах принимаем $K_{сн} = 1$.

Шинопроводы выбираются по расчетному току из условия:

$$I_{рас} \leq I_{ном}, \quad (43)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток шинпровода, А.

При установке будем использовать шинпровода магистральные и распределительный в алюминиевом оребренном клепанном корпусе серии МВА, МВС, с двойной майларовой полимерной изоляцией проводников с высокой степенью огнестойкости.

Шинпровод изготавливается в алюминиевом оребренном корпусе для лучшей теплоотдачи, заклепанном по всей длине. В процессе всего срока эксплуатации шинпровода прочность клепанных соединений не ослабевает от вибрации и не требует обслуживания. Алюминиевый корпус не имеет потерь на вихревые токи, что обеспечивает снижение потерь в шинпроводе.

Так для шинпровода ШРА1 $I_p = 304$ А. Выбираем для установки магистральный алюминиевый шинпровод типа ША 8804 45 с $I_{\text{ном}} = 400$ А производства «НТЦ Энерго-ресурс». Который является отличной альтернативой более дорогим брендам.

$$304 \text{ А} \leq 400 \text{ А.}$$

Выбранные шинпровода 1 варианта конфигурации указаны в таблицах 37, 38, 39.

Таблица 37 – Выбор шинпроводов КТП №1

Элемент	I_p , А	$I_{\text{ном}}$, А	Условие	Марка
ШМА 1-1	1680	2000	$1680 \leq 2000$	ША 8820 45
ШМА 1-2	1753	2000	$1753 \leq 2000$	ША 8820 45
ШРА 2	549	630	$549 \leq 630$	ША 8806 45
ШРА 4	1595	1600	$1595 \leq 1600$	ША 8816 45
ШРА 6	610	630	$610 \leq 630$	ША 8806 45
ШТА 2	99	100	$99 \leq 315$	ШТА К580

Таблица 38 – Выбор шинопроводов КТП №2

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
ШМА 2-1	1550	1600	$1550 \leq 1600$	ША 8816 45
ШМА 2-2	1537	1600	$1537 \leq 1600$	ША 8816 45
ШРА 1	255	400	$255 \leq 400$	ША 8804 45
ШРА 3	1246	1250	$1246 \leq 1250$	ША 8812 45
ШРА 5	679	800	$679 \leq 800$	ША 8808 45
ШРА 13	669	800	$669 \leq 800$	ША 8808 45
ШТА 5	49	100	$49 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 13	212	250	$212 \leq 315$	ШТА К580

Таблица 39 – Выбор шинопроводов КТП №3

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
ШМА 3-1	2696	3200	$2696 \leq 3200$	ША 8832 45
ШМА 3-2	2585	3200	$2585 \leq 3200$	ША 8832 45
ШРА 8	1316	1600	$1316 \leq 1600$	ША 8816 45
ШРА 10	669	800	$669 \leq 800$	ША 8808 45
ШРА 11	2027	2500	$2027 \leq 2500$	ША 8825 45
ШРА 14	782	800	$782 \leq 800$	ША 8808 45
ШТА 8	99	100	$99 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 11-1	49	100	$49 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 11-2	49	100	$49 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 12	49	100	$49 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 14	99	100	$99 \leq 315$	ШТА К580

Выбранные шинопроводы литейного цеха указаны в таблице 40.

Таблица 40 – Выбор шинопроводов КТП №4

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
ШМА 4-1	1027	1250	$1027 \leq 1250$	ША 8812 45
ШМА 4-2	1092	1250	$1092 \leq 1250$	ША 8812 45
ШРА 1	469	630	$469 \leq 630$	ША 8806 45
ШРА 3	384	400	$384 \leq 400$	ША 8806 45
ШРА 5	974	974	$974 \leq 1000$	ША 8810 45
ШТА 1	99	100	$99 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 3	99	100	$99 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 4	49	100	$49 \leq 315$	ШТА К580
ШТА 5	99	100	$99 \leq 315$	ШТА К580

5.3 Выбор силовых пунктов

Силовые пункты и шкафы выбирают с учетом условий воздуха рабочей

зоны, числа подключаемых приемников электроэнергии к силовому пункту и их расчетной нагрузки. В расчетах будут использованы пункты распределительные серии ПР8503 в исполнении IP 54, заказ которых можно осуществить у компании «ДальЭлектроСтрой».

Данные по выбору силовых пунктов для первого варианта сведены в таблицы 41-44.

Таблица 41 – Выбор силовых пунктов КТП №1

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
1	2	3	4	5
СП 2-1	27	250	$27 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-2	112	250	$112 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-3	200	250	$200 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-4	210	250	$210 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 4-1	232	250	$232 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 4-2	214	250	$214 \leq 250$	ПР 8503-023
СП 4-3	85	250	$85 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 4-4	306	320	$306 \leq 320$	ПР 8503-033
СП 4-5	226	250	$226 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 4-6	425	630	$425 \leq 630$	ПР 8503-155
СП 4-7	108	250	$108 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 6-1	465	630	$465 \leq 630$	ПР 8503-154
СП 6-2	145	250	$145 \leq 250$	ПР 8503-018

Таблица 42 – Выбор силовых пунктов КТП №2

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
1	2	3	4	5
СП 1-1	148	250	$148 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 1-2	107	250	$107 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-1	242	250	$242 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 3-2	198	250	$198 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-3	249	250	$249 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-4	201	250	$201 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-5	111	250	$111 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-6	244	250	$244 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 5-1	68	250	$68 \leq 250$	ПР 8503-029
СП 5-2	159	250	$159 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 5-3	101	250	$101 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 5-4	221	250	$221 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 7-1	47	250	$47 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 7-2	133	250	$133 \leq 250$	ПР 8503-014

СП 9-1	90	250	$90 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 13-1	121	250	$121 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 13-2	45	250	$45 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 13-3	33	250	$33 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 13-4	257	250	$257 \leq 250$	ПР 8503-014

Таблица 43 – Выбор силовых пунктов КТП №3

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
1	2	3	4	5
СП 8-1	214	250	$214 \leq 250$	ПР 8503-023
СП 8-2	295	630	$295 \leq 630$	ПР 8503-155
СП 8-3	304	320	$304 \leq 320$	ПР 8503-033
СП 8-4	504	630	$504 \leq 630$	ПР 8503-153
СП 10-1	386	630	$386 \leq 630$	ПР 8503-154
СП 10-2	86	250	$86 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 10-3	225	250	$225 \leq 250$	ПР 8503-023
СП 11-1	29	250	$29 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 11-2	202	250	$202 \leq 250$	ПР 8503-029
СП 11-3	350	630	$350 \leq 630$	ПР 8503-156
СП 11-4	591	630	$591 \leq 630$	ПР 8503-153
СП 12-1	289	320	$289 \leq 320$	ПР 8503-033
СП 12-2	342	630	$342 \leq 630$	ПР 8503-156
СП 12-3	126	250	$126 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 14-2	196	250	$196 \leq 250$	ПР 8503-023
СП 14-5	134	250	$134 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 14-7	106	250	$106 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 14-3	258	320	$258 \leq 320$	ПР 8503-033
СП 14-4	113	250	$113 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 14-6	137	250	$137 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 14-8	115	250	$115 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 14-1	60	250	$60 \leq 250$	ПР 8503-014

Таблица 44 – Выбор силовых пунктов КТП №4

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
1	2	3	4	5
СП 1-1	79	250	$79 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 1-2	242	250	$242 \leq 250$	ПР 8503-033
СП 2-1	149	250	$149 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 3-1	141	250	$141 \leq 250$	ПР 8503-018

СП 3-2	49	250	$49 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 4-1	194	250	$194 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 5-1	125	250	$125 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 5-2	343	630	$343 \leq 630$	ПР 8503-157
СП 5-3	506	630	$506 \leq 630$	ПР 8503-153

Силовые пункты выбранные для второго варианта конфигурации сети механосборочного цеха занесены в таблицы 45, 46.

Таблица 45 – Выбор силовых пунктов КТП №1

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
1	2	3	4	5
СП 1-1	255	320	$255 \leq 320$	ПР 8503-033
СП 1-2	319	320	$319 \leq 320$	ПР 8503-156
СП 1-3	360	630	$360 \leq 630$	ПР 8503-157
СП 1-4	27	250	$27 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 1-5	531	630	$531 \leq 630$	ПР 8503-151
СП 1-6	269	320	$269 \leq 320$	ПР 8503-038
СП 1-7	253	320	$253 \leq 320$	ПР 8503-038
СП 1-8	425	630	$425 \leq 630$	ПР 8503-155
СП 1-9	108	250	$108 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 1-10	45	250	$45 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 1-11	291	320	$291 \leq 320$	ПР 8503-155
СП 2-1	121	250	$121 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-2	68	250	$68 \leq 250$	ПР 8503-029
СП 2-3	186	250	$186 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 2-4	47	250	$47 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-5	372	630	$372 \leq 630$	ПР 8503-150
СП 2-6	195	250	$195 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-7	263	320	$263 \leq 320$	ПР 8503-044
СП 2-8	116	250	$116 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 2-9	610	630	$610 \leq 630$	ПР 8503-151
СП 2-10	232	250	$232 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 2-11	178	250	$178 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 2-12	121	250	$121 \leq 250$	ПР 8503-018

Таблица 46 – Выбор силовых пунктов КТП №2

Элемент	I_p, A	$I_{ном}, A$	Условие	Марка
1	2	3	4	5
СП 3-1	137	250	$137 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 3-2	196	250	$196 \leq 250$	ПР 8503-023
СП 3-3	371	630	$371 \leq 630$	ПР 8503-157
СП 3-4	60	250	$60 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-5	221	250	$221 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 3-6	536	630	$536 \leq 630$	ПР 8503-156
СП 3-7	232	250	$232 \leq 250$	ПР 8503-152
СП 3-8	610	630	$610 \leq 630$	ПР 8503-156
СП 3-9	28	250	$28 \leq 250$	ПР 8503-014
СП 4-1	240	250	$240 \leq 250$	ПР 8503-023
СП 4-2	115	250	$115 \leq 250$	ПР 8503-018
СП 4-3	504	630	$504 \leq 630$	ПР 8503-154
СП 4-4	599	630	$599 \leq 630$	ПР 8503-153
СП 4-5	243	250	$243 \leq 250$	ПР 8503-029
СП 4-6	214	250	$214 \leq 250$	ПР 8503-155
СП 4-7	427	630	$427 \leq 630$	ПР 8503-155
СП 4-8	90	250	$90 \leq 250$	ПР 8503-014

5.4 Выбор питающих кабелей

Выбор сечения кабелей к СП и шинопроводам производится аналогично, результаты для первой конфигурации сети сведены в таблицу 47.

Таблица 47 – Выбор марки и сечения кабелей и проводов к СП и шинопроводам

Маршрут	Количество кабелей на фидер	Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Длительный ток ЭП $I_{ном}, A$	Длительный допустимый ток $I_{доп}, A$
1	2	3	4	5	6
ШМА 1-2 - ШРА 2	2	АВВГ	4 × 240	549	666
ШМА 1-1 - ШРА 4	5	АВВГ	4 × 240	1595	1665
ШМА 1-2 - ШРА 6	2	АВВГ	4 × 240	610	666
ШМА 1-1 - ШОС	1	АВВГ	2 × 10	34	50
ШМА 1-1 - ШТА 2	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА 2-1 - ШРА 1	1	АВВГ	4 × 185	255	280
ШМА 2-1 - ШРА 3	4	АВВГ	4 × 240	1246	1332
ШМА 2-2 - ШРА 5	3	АВВГ	4 × 185	679	840
ШМА 2-2 - ШРА 13	3	АВВГ	4 × 185	669	840
ШМА 2-1 - ШТА 1	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА 2-2 - ШТА 5	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА 2-2 - ШТА 7	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА 2-2 - ШТА 13	1	АВВГ	3 × 120	212	229

ШМА 3-2 - ШРА 8	5	АВВГ	4 × 185	1316	1400
ШМА 3-1 - ШРА 10	2	АВВГ	4 × 300	669	774
ШМА 3-1 - ШРА 11	6	АВВГ	4 × 300	2027	2322
ШМА 3-2 - ШРА 14	3	АВВГ	4 × 240	782	999
ШРА 14 - ШРА 14-1	1	АВВГ	4 × 25	60	80
ШРА 14 - ШРА 14-2	2	АВВГ	4 × 150	463	484
ШМА 3-2 - ШТА 8	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШРА 11 - ШТА 11-1	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШРА 11 - ШТА 11-2	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА 3-2 - ШТА 12	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШРА 14 - ШТА 14-1	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШРА 14 - ШТА 14-2	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА _{лит} 1 - ШРА _{лит} 1	2	АВВГ	4 × 150	469	484
ШМА _{лит} 1 - ШРА _{лит} 3	1	АВВГ	4 × 300	384	387
ШМА _{лит} 2 - ШРА _{лит} 5	3	АВВГ	4 × 300	974	1161
ШМА _{лит} 1 - ШТА _{лит} 1	1	АВВГ	3 × 35	97	106
ШМА _{лит} 1 - ШТА _{лит} 3	1	АВВГ	3 × 35	97	106
ШМА _{лит} 1 - ШТА _{лит} 4	1	АВВГ	3 × 10	49	50
ШМА _{лит} 2 - ШТА _{лит} 5	1	АВВГ	3 × 35	97	106
ШРА 2 - СП 2-1	1	АВВГ	4 × 6	27	34
ШРА 2 - СП 2-2	1	АВВГ	4 × 50	112	117
ШРА 2 - СП 2-3	1	АВВГ	4 × 120	200	212
ШРА 2 - СП 2-4	1	АВВГ	4 × 120	210	212
ШРА 4 - СП 4-1	1	АВВГ	4 × 150	232	242
ШРА 4 - СП 4-2	1	АВВГ	4 × 150	214	242
ШРА 4 - СП 4-3	1	АВВГ	4 × 35	85	98
ШРА 4 - СП 4-4	1	АВВГ	4 × 240	306	333
ШРА 4 - СП 4-5	1	АВВГ	4 × 150	226	242
ШРА 4 - СП 4-6	2	АВВГ	4 × 150	425	484
ШРА 4 - СП 4-7	1	АВВГ	4 × 50	108	117
ШРА 6 - СП 6-1	2	АВВГ	4 × 150	465	484
ШРА 6 - СП 6-2	1	АВВГ	4 × 70	145	149
ШРА 1 - СП 1-1	1	АВВГ	4 × 70	148	149
ШРА 1 - СП 1-2	1	АВВГ	4 × 50	107	117
ШРА 3 - СП 3-1	1	АВВГ	4 × 150	242	242
ШРА 3 - СП 3-2	1	АВВГ	4 × 150	198	242
ШРА 3 - СП 3-3	1	АВВГ	4 × 185	249	280
ШРА 3 - СП 3-4	1	АВВГ	4 × 120	201	212
ШРА 3 - СП 3-5	1	АВВГ	4 × 50	111	117
ШРА 3 - СП 3-6	1	АВВГ	4 × 185	244	280
ШРА 5 - СП 5-1	1	АВВГ	4 × 25	68	80
ШРА 5 - СП 5-2	1	АВВГ	4 × 95	159	183
ШРА 5 - СП 5-3	1	АВВГ	4 × 50	101	117
ШРА 5 - СП 5-4	1	АВВГ	4 × 150	221	242
ШРА 5 - СП 7-1	1	АВВГ	4 × 16	47	62
ШРА 5 - СП 7-2	1	АВВГ	4 × 70	133	149
ШМА 2-2 - СП 9-1	1	АВВГ	4 × 35	90	98

ШРА 13 - СП 13-1	1	АВВГ	4 × 70	121	149
ШРА 13 - СП 13-2	1	АВВГ	4 × 10	45	46
ШРА 13 - СП 13-3	1	АВВГ	4 × 10	33	46
ШРА 13 - СП 13-4	1	АВВГ	4 × 185	257	280
ШРА 8 - СП 8-1	1	АВВГ	4 × 150	214	242
ШРА 8 - СП 8-2	1	АВВГ	4 × 240	295	333
ШРА 8 - СП 8-3	1	АВВГ	4 × 240	304	333
ШРА 8 - СП 8-4	2	АВВГ	4 × 185	504	560
ШРА 10 - СП 10-1	1	АВВГ	4 × 300	386	387
ШРА 10 - СП 10-2	1	АВВГ	4 × 35	86	98
ШРА 10 - СП 10-3	1	АВВГ	4 × 150	225	242
ШРА 11 - СП 11-1	1	АВВГ	4 × 6	29	34
ШРА 11 - СП 11-2	1	АВВГ	4 × 120	202	212
ШРА 11 - СП 11-3	1	АВВГ	4 × 300	350	387
ШРА 11 - СП 11-4	2	АВВГ	4 × 240	591	666
ШРА 11 - СП 12-1	1	АВВГ	4 × 240	289	333
ШРА 11 - СП 12-2	1	АВВГ	4 × 300	342	387
ШРА 11 - СП 12-3	1	АВВГ	4 × 70	126	149
ШМА 3-2 - СП 14-2	1	АВВГ	4 × 120	196	212
ШМА 3-2 - СП 14-5	1	АВВГ	4 × 70	134	149
ШМА 3-2 - СП 14-7	1	АВВГ	4 × 50	106	117
ШРА 14 - СП 14-3	1	АВВГ	4 × 185	258	280
ШРА 14 - СП 14-4	1	АВВГ	4 × 50	113	117
ШРА 14 - СП 14-6	1	АВВГ	4 × 70	137	149
ШРА 14 - СП 14-8	1	АВВГ	4 × 50	115	117
ШРА 14 - СП 14-1	1	АВВГ	4 × 16	60	62
ШРА _{лит} 1 - СП _{лит} 1-1	1	АВВГ	4 × 25	79	80
ШРА _{лит} 1 - СП _{лит} 1-2	1	АВВГ	4 × 150	242	242
ШРА _{лит} 1 - СП _{лит} 2-1	1	АВВГ	4 × 70	149	149
ШРА _{лит} 3 - СП _{лит} 3-1	1	АВВГ	4 × 70	141	149
ШРА _{лит} 3 - СП _{лит} 3-2	1	АВВГ	4 × 16	49	62
ШРА _{лит} 3 - СП _{лит} 4-1	1	АВВГ	4 × 120	194	212
ШРА _{лит} 5 - СП _{лит} 5-1	1	АВВГ	4 × 70	125	149
ШРА _{лит} 5 - СП _{лит} 5-2	1	АВВГ	4 × 300	343	387
ШРА _{лит} 5 - СП _{лит} 5-3	2	АВВГ	4 × 185	506	560

Результаты для второй конфигурации сети сведены в таблицу 48.

Таблица 48 – Выбор марки и сечения кабелей и проводов к СП и шинопроводам

Маршрут	Количество кабелей на фидер	Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Длительный ток ЭП $I_{ном}$, А	Длительный допустимый ток $I_{доп}$, А
1	2	3	4	5	6
ШМА 1 - ШРА 1	7	АВВГ	4 × 300	2645	2709
ШРА 1 - ШТА 1-1	1	АВВГ	4 × 50	99	117
ШМА 1 - ШТА 1-2	1	АВВГ	4 × 120	212	212
ШРА 1 - СП 1-1	1	АВВГ	4 × 185	255	280

ШРА 1 - СП 1-2	1	АВВГ	4 × 240	319	333
ШРА 1 - СП 1-3	1	АВВГ	4 × 300	360	387
ШРА 1 - СП 1-4	1	АВВГ	4 × 6	27	34
ШРА 1 - СП 1-5	2	АВВГ	4 × 185	531	560
ШРА 1 - СП 1-6	1	АВВГ	4 × 185	269	280
ШРА 1 - СП 1-7	1	АВВГ	4 × 185	253	280
ШРА 1 - СП 1-8	2	АВВГ	4 × 150	425	484
ШРА 1 - СП 1-9	1	АВВГ	4 × 50	108	117
ШМА 1 - СП 1-10	1	АВВГ	4 × 10	45	46
ШМА 1 - СП 1-11	1	АВВГ	4 × 240	291	333
ШМА 2 - ШРА 2	7	АВВГ	4 × 300	2389	2709
ШМА 2 - ШТА 2-1	1	АВВГ	4 × 16	49	62
ШМА 2 - СП 2-1	1	АВВГ	4 × 70	121	149
ШРА 2 - СП 2-2	1	АВВГ	4 × 25	68	80
ШРА 2 - СП 2-3	1	АВВГ	4 × 120	186	212
ШРА 2 - СП 2-4	1	АВВГ	4 × 16	47	62
ШРА 2 - СП 2-5	1	АВВГ	4 × 300	372	387
ШРА 2 - СП 2-6	1	АВВГ	4 × 120	195	212
ШРА 2 - СП 2-7	1	АВВГ	4 × 185	263	280
ШРА 2 - СП 2-8	1	АВВГ	4 × 50	116	117
ШРА 2 - СП 2-9	2	АВВГ	4 × 240	610	666
ШРА 2 - СП 2-10	1	АВВГ	4 × 150	232	242
ШРА 2 - СП 2-11	1	АВВГ	4 × 95	178	183
ШРА 2 - СП 2-12	1	АВВГ	4 × 70	121	149
ШМА 2 - ШОС	1	АВВГ	4 × 10	34.19	46
ШМА 2 - ст. нагр.	2	АВВГ	4 × 240	593.99	666
ШМА 3 - ШРА 3	3	АВВГ	4 × 185	764	840
ШМА 3 - ШРА 4	6	АВВГ	4 × 300	2076	2322
ШРА 4 - ШТА 3-1	1	АВВГ	4 × 16	49	62
ШРА 4 - ШТА 3-2	1	АВВГ	4 × 16	49	62
ШРА 4 - ШТА 3-3	1	АВВГ	4 × 16	49	62
ШРА 3 - СП 3-1	1	АВВГ	4 × 70	137	149
ШРА 3 - СП 3-2	1	АВВГ	4 × 95	196	183
ШРА 3 - СП 3-3	1	АВВГ	4 × 300	371	387
ШРА 3 - СП 3-4	1	АВВГ	4 × 16	60	62
ШРА 4 - СП 3-5	1	АВВГ	4 × 120	221	212
ШРА 4 - СП 3-6	2	АВВГ	4 × 185	536	560
ШРА 4 - СП 3-7	1	АВВГ	4 × 150	232	242
ШРА 4 - СП 3-8	3	АВВГ	4 × 240	910	999
ШРА 4 - СП 3-9	1	АВВГ	4 × 6	28	34
ШМА 4 - ШРА 5	2	АВВГ	4 × 150	454	484
ШМА 4 - ШРА 6	6	АВВГ	4 × 300	2175	2322
ШРА 5 - ШТА 4-1	1	АВВГ	4 × 50	99	117
ШРА 6 - ШТА 4-2	1	АВВГ	4 × 50	99	117
ШРА 5 - СП 4-1	1	АВВГ	4 × 150	240	242
ШРА 5 - СП 4-2	1	АВВГ	4 × 50	115	117
ШРА 6 - СП 4-3	2	АВВГ	4 × 185	504	560

ШРА 6 - СП 4-4	2	АВВГ	4 × 240	599	666
ШРА 6 - СП 4-5	1	АВВГ	4 × 185	243	280
ШРА 6 - СП 4-6	1	АВВГ	4 × 150	214	242
ШРА 6 - СП 4-7	2	АВВГ	4 × 150	427	484
ШРА 6 - СП 4-8	1	АВВГ	4 × 35	90	98

5.5 Проверка проводников

Для оценки правильности выбора сечений проводников необходимо провести проверку. Выбранные по длительному току и согласованные с током защиты аппаратов сечения внутрицеховых электрических сетей должны быть проверены на потерю напряжения.

Условие проверки на потерю напряжения:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп.}} \quad (44)$$

Выбранные шинопроводы проверяются по потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi), \quad (45)$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный ток распределительного шинопровода, А;

l – длина распределительного шинопровода, км;

$r_{\text{уд}}$ и $x_{\text{уд}}$ – соответственно удельные активное и реактивное сопротивления распределительного шинопровода, Ом/км;

$\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ – коэффициенты мощности для средневзвешенного угла данного распределительного шинопровода.

Например, для ШРА-1 имеем:

$$\Delta U_{\text{ШРА-1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 255 \cdot 43 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380} \cdot (0,085 \cdot 0,6 + 0,075 \cdot 0,8) = 0,98 \%$$

Результаты расчета потерь напряжения для первого варианта сведен в таблицу 49.

Таблица 49 – Потери напряжения в элементах распределительной сети

Элемент сети	P _p , кВт	Q _p , кВар	L, км	r _{уд.} , Ом/м	x _{уд.} , Ом/м	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7
ШМА 1-1	92,37	115,35	0,022	0,041	0,012	0,59
ШМА 1-2	410,39	304,46	0,047	0,041	0,012	1,51
ШРА 2	24,43	37,23	0,077	0,16	0,027	2,13
ШРА 4	69,72	102,84	0,077	0,046	0,015	2,14
ШРА 6	38,6	48,05	0,077	0,16	0,027	2,60
ШМА 2-1	73,65	106,87	0,042	0,046	0,015	1,14
ШМА 2-2	81,11	118,87	0,01	0,046	0,015	0,27
ШРА 1	17,07	20,6	0,058	0,21	0,031	1,06
ШРА 3	55,28	84,02	0,058	0,061	0,019	1,63
ШРА 5	36,18	49,48	0,058	0,105	0,025	1,47
ШРА 13	28,15	42,89	0,12	0,105	0,025	2,87
ШМА 3-1	551,97	304,02	0,03	0,036	0,01	1,34
ШМА 3-2	552,81	329,56	0,054	0,036	0,01	2,29
ШРА 8	417,96	178,38	0,077	0,046	0,015	2,31
ШРА 10	77,01	67,27	0,077	0,105	0,025	2,24
ШРА 11	474,96	236,75	0,13	0,038	0,011	4,67
ШРА 14	90,04	98,16	0,025	0,105	0,025	0,80
ШМА _{лит} 1	147,11	140,99	0,063	0,061	0,019	1,69
ШМА _{лит} 2	265	122,74	0,093	0,061	0,019	2,93
ШРА _{лит} 1	81,9	64,99	0,07	0,16	0,027	2,13
ШРА _{лит} 3	58,81	64,92	0,025	0,21	0,031	0,72
ШРА _{лит} 5	262,63	118,31	0,076	0,072	0,022	2,52
СП 2-1	4,41	3,81	0,0045	5,26	0,09	0,22
СП 2-2	4,04	7	0,0045	0,64	0,0625	0,09
СП 2-3	7,77	13,46	0,0045	0,27	0,0602	0,08
СП 2-4	8,21	12,96	0,0045	0,27	0,0602	0,08
СП 4-1	11,2	16,4	0,008	0,21	0,0596	0,14
СП 4-2	8,2	13,09	0,008	0,21	0,0596	0,13
СП 4-3	2,83	4,91	0,008	0,92	0,0637	0,16
СП 4-4	9,93	17,2	0,008	0,132	0,0587	0,13
СП 4-5	10,1	14,49	0,008	0,21	0,0596	0,14
СП 4-6	20,47	28,48	0,008	0,105	0,0298	0,13
СП 4-7	6,99	8,27	0,008	0,64	0,0625	0,18
СП 6-1	32,28	37,89	0,0045	0,105	0,0298	0,09
СП 6-2	6,32	10,16	0,0045	0,46	0,0612	0,09
СП 1-1	9,39	11,62	0,0045	0,46	0,0612	0,10
СП 1-2	7,68	8,98	0,0045	0,64	0,0625	0,10
СП 3-1	9,41	16,3	0,008	0,21	0,0596	0,14
СП 3-2	7,92	12,28	0,008	0,21	0,0596	0,12
СП 3-3	12,15	16,92	0,008	0,17	0,0596	0,13
СП 3-4	9,64	14,6	0,008	0,27	0,0602	0,15

Продолжение таблицы 49

СП 3-5	4,94	7,24	0,008	0,64	0,0625	0,17
СП 3-6	11,22	16,68	0,008	0,17	0,0596	0,13
СП 5-1	2,56	4,43	0,0045	1,28	0,0662	0,10
СП 5-2	9,78	12,42	0,0045	0,34	0,0602	0,08
СП 5-3	4,69	6,91	0,0045	0,64	0,0625	0,09
СП 5-4	10,05	14,8	0,0045	0,21	0,0596	0,08
СП 7-1	2,5	3,2	0,005	1,98	0,0675	0,14
СП 7-2	6,6	7,72	0,005	0,46	0,0612	0,10
СП 9-1	14,18	15	0,074	0,92	0,0637	2,06
СП 13-1	10,48	12,29	0,0045	0,46	0,0612	0,09
СП 13-2	1,54	2,68	0,0045	3,16	0,073	0,15
СП 13-3	1,15	1,98	0,0045	3,16	0,073	0,11
СП 13-4	9,4	16,27	0,0045	0,17	0,0596	0,07
СП 8-1	43,23	44,26	0,0045	0,21	0,0596	0,08
СП 8-2	103,43	34,32	0,0048	0,132	0,0587	0,09
СП 8-3	108	35,5	0,0045	0,132	0,0587	0,09
СП 8-4	163,3	64,3	0,0045	0,085	0,0298	0,09
СП 10-1	29,16	34,12	0,0045	0,105	0,056	0,09
СП 10-2	5,01	6,46	0,0045	0,92	0,0637	0,11
СП 10-3	42,84	26,69	0,005	0,21	0,0596	0,11
СП 11-1	7,8	5,85	0,0045	5,26	0,09	0,25
СП 11-2	47,93	32,24	0,0045	0,27	0,0602	0,11
СП 11-3	67,46	46,13	0,0045	0,105	0,056	0,08
СП 11-4	210	69,02366	0,0045	0,066	0,02935	0,09
СП 12-1	97,5	33,31	0,0045	0,132	0,0587	0,09
СП 12-2	31,67	34	0,0045	0,105	0,056	0,08
СП 12-3	10	11,69	0,0045	0,46	0,0612	0,09
СП 14-2	27,47	29,52	0,006	0,27	0,0602	0,12
СП 14-5	6,32	9,15	0,006	0,46	0,0612	0,11
СП 14-7	8,42	9,84	0,019	0,64	0,0625	0,43
СП 14-3	54,05	55,25	0,0045	0,17	0,0596	0,09
СП 14-4	8,96	10,48	0,0045	0,64	0,0625	0,11
СП 14-6	13,6	14,27	0,0045	0,46	0,0612	0,10
СП 14-8	4,36	7,01	0,0045	0,64	0,0625	0,09
СП 14-1	6,47	6,65	0,005	1,98	0,0675	0,20
СП _{лит} 1-1	13,9	13,61	0,0045	1,28	0,0662	0,16
СП _{лит} 1-2	21	24,55	0,0045	0,21	0,0596	0,09
СП _{лит} 2-1	47	26,83	0,005	0,46	0,0612	0,15
СП _{лит} 3-1	26,6	26,34	0,0045	0,46	0,0612	0,11
СП _{лит} 3-2	1,61	2,8	0,009	1,98	0,0675	0,21
СП _{лит} 4-1	30,6	35,78	0,005	0,27	0,0602	0,10
СП _{лит} 5-1	42	13,8	0,0045	0,46	0,0612	0,12
СП _{лит} 5-2	40,63	45,35	0,0045	0,105	0,056	0,08
СП _{лит} 5-3	180	59,16	0,0045	0,0425	0,0149	0,05

Результаты расчета потерь напряжения для второго варианта сведен в таблицу 50.

Таблица 50 – Потери напряжения в элементах распределительной сети

Элемент сети	P _p , кВт	Q _p , кВар	L, км	r _{уд.} , Ом/м	x _{уд.} , Ом/м	ΔU, %
1	2	3	4	5	6	7
ШМА 1	140,46	207,82	0,04	0,036	0,01	1,66
ШРА 1	122,79	177,2	0,141	0,036	0,01	4,88
ШТА 1-1	2,60	4,50	0,141	0,301	0,061	1,29
ШТА 1-2	5,58	9,67	0,095	0,263	0,046	1,57
СП 1-1	17,07	20,59	0,008	0,17	0,0596	0,14
СП 1-2	16,14	23,11	0,024	0,132	0,0587	0,43
СП 1-3	15,06	23,33	0,024	0,105	0,056	0,41
СП 1-4	4,41	3,81	0,008	5,26	0,09	0,40
СП 1-5	20,03	31,69	0,024	0,17	0,0596	0,82
СП 1-6	10,13	17,55	0,008	0,17	0,0596	0,13
СП 1-7	9,89	15,86	0,008	0,17	0,0596	0,13
СП 1-8	20,47	28,48	0,024	0,21	0,0596	0,79
СП 1-9	6,99	8,27	0,024	0,64	0,0625	0,54
СП 1-10	1,55	2,68	0,034	3,16	0,073	1,15
СП 1-11	10,54	18,26	0,008	0,132	0,0587	0,12
ШМА 2	501,57	413,47	0,007	0,036	0,01	0,35
ШРА 2	121,08	169,5	0,141	0,038	0,011	4,77
ШТА 2-1	1,30	2,25	0,141	0,301	0,061	0,64
СП 2-1	10,48	12,29	0,034	0,46	0,0612	0,65
СП 2-2	2,56	4,43	0,008	1,28	0,0662	0,17
СП 2-3	11,94	14,95	0,008	0,27	0,0602	0,15
СП 2-4	2,50	3,2	0,01	1,98	0,0675	0,27
СП 2-5	13,73	23,78	0,03	0,105	0,056	0,51
СП 2-6	10,35	13,8	0,03	0,27	0,0602	0,56
СП 2-7	10,25	16,46	0,008	0,17	0,0596	0,13
СП 2-8	8,93	10,44	0,01	0,64	0,0625	0,25
СП 2-9	38,59	48,04	0,008	0,132	0,0587	0,29
СП 2-10	11,2	16,4	0,03	0,21	0,0596	0,53
СП 2-11	7	11,01	0,03	0,34	0,0602	0,57
СП 2-12	4,03	6,98	0,03	0,46	0,0612	0,47
ШОС	21,35	10,26	0,02	3,16	0,073	0,90
Ст. нагр.	347,36	219,18	0,2	0,132	0,0587	4,82
ШМА 3	586,8	355,17	0,076	0,036	0,01	3,54
ШРА 3	110,55	116,16	0,037	0,105	0,025	1,17
ШРА 4	476,25	239	0,113	0,038	0,011	4,16
ШТА 3-1	1,3	2,25	0,078	0,301	0,061	0,35
ШТА 3-2	1,3	2,25	0,035	0,301	0,061	0,16
ШТА 3-3	1,3	2,25	0,022	0,301	0,061	0,10
СП 3-1	13,6	14,27	0,017	0,46	0,0612	0,38
СП 3-2	27,47	29,52	0,008	0,34	0,0602	0,20
СП 3-3	63,01	65,72	0,02	0,105	0,056	0,38

СП 3-4	6,47	6,65	0,032	1,98	0,0675	1,25
СП 3-5	17,5	20,46	0,008	0,27	0,0602	0,18
СП 3-6	121,67	58,55	0,008	0,17	0,0596	0,35
СП 3-7	47,08	32,86	0,008	0,21	0,0596	0,17
СП 3-8	278,31	114,54	0,008	0,132	0,0587	0,48
СП 3-9	7,8	5,85	0,02	5,26	0,09	1,09
ШМА 4	533,45	295,65	0,029	0,036	0,01	1,26
ШРА 5	21,70	30,5	0,02	0,16	0,027	0,47
ШРА 6	511,76	265,16	0,078	0,038	0,011	3,00
ШТА 4-1	2,6	4,5	0,075	0,301	0,061	0,69
ШТА 4-2	2,6	4,5	0,141	0,301	0,061	1,29
СП 4-1	14,74	18,99	0,008	0,21	0,0596	0,15
СП 4-2	4,36	7,01	0,032	0,64	0,0625	0,66
СП 4-3	163,3	64,31	0,008	0,17	0,0596	0,33
СП 4-4	211,43	69,82	0,008	0,132	0,0587	0,31
СП 4-5	44,24	28,32	0,025	0,17	0,0596	0,49
СП 4-6	43,23	44,26	0,008	0,21	0,0596	0,15
СП 4-7	32,78	38,94	0,03	0,21	0,0596	1,06
СП 4-8	14,18	15	0,03	0,92	0,0637	0,83

5.6 Расчет токов короткого замыкания в схеме внутреннего электроснабжения

Сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ характеризуются большой протяженностью и наличием большого количества коммутационно-защитной аппаратуры. При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток КЗ. Поэтому в расчетах учитывают все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные. Кроме того, учитывают активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи. При отсутствии достоверных данных о контактах и их переходных сопротивлениях рекомендуется при расчете токов КЗ в сетях, питаемых трансформаторами мощностью до 1600 кВА, учитывать их сопротивление следующим образом:

0,015 Ом – для распределительных устройств на станциях и подстанциях;

0,02 Ом – для первичных цеховых РП, а также на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций или главных магистралей;

0,025 Ом – для вторичных цеховых РП, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РП;

0,03 Ом – для аппаратуры, установленной непосредственно у приемников электроэнергии, получающих питание от вторичных РП.

Расчетными являются трехфазные и однофазные токи короткого замыкания

Точки КЗ цеховых распределительных сетей, для которых следует произвести расчет указаны в приложении А для первого варианта и в приложении Б для второго варианта.

5.6.1 Расчет токов трехфазного короткого замыкания

Произведем расчет на примере точки K_{1-1} . Схема замещения представлена на рисунке 7.

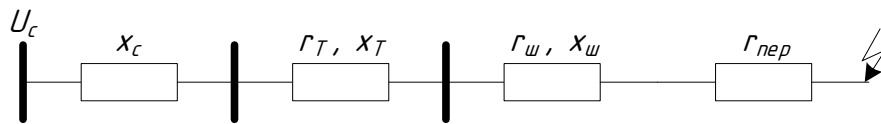


Рисунок 7 – Схема замещения для расчетов токов КЗ в точке K_{1-1}

Определим параметры элементов схемы замещения.

Индуктивное сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_C \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{K3,C} \cdot 10^{-3}} \cdot \left(\frac{U_{б.см}}{U_C} \right)^2, \quad (46)$$

где U_C – напряжение системы, равное 10,5 кВ;

$I_{K3,C}$ – ток короткого замыкания системы. Так как не известен, принимаем равным 5000 А;

$U_{б.см}$ – напряжение базисной ступени, равное 0,4 кВ.

$$x_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5000 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,76 \text{ мОм.}$$

Сопrotивления трансформатора первой цеховой подстанции:

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{ном}^2 \cdot 10^6}{S_{ном,T}^2}; \quad (47)$$

$$r_{mp} = \frac{7,7 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{630^2} = 3,1 \text{ МОм.}$$

$$z_{mp} = \frac{u_{k,\%} \cdot U_{ном}^2 \cdot 10^6}{100 \cdot S_{ном,T}}; \quad (48)$$

$$z_{mp} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{100 \cdot 630} = 13,97 \text{ МОм.}$$

$$x_{mp} = \sqrt{z_{mp}^2 - r_{mp}^2}; \quad (49)$$

$$x_{mp} = \sqrt{13,97^2 - 3,1^2} = 13,62 \text{ МОм.}$$

Сопrotивления шинопроводов, проводов и кабелей определяются по выражениям:

$$r = r_0 \cdot l; \quad (50)$$

$$x = x_0 \cdot l, \quad (51)$$

где r_0 и x_0 – удельные сопrotивления шинопроводов, проводов и кабелей, МОм/м.

l - длина линии, км.

Ток трехфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{n(0)}^{(3)} = \frac{U_{cp,ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}}, \quad (52)$$

где $U_{cp,ном}$ – среднее номинальное напряжение ступени, на которой находится точка короткого замыкания, равное в нашем случае 400 В;

r_{Σ} и x_{Σ} – суммарные активное и индуктивное сопротивления цепи короткого замыкания, мОм.

Для расчетной точки K_{1-1} имеем:

$$r_{\Sigma} = r_{mp} + r_{ui} + r_{nep}, \quad (53)$$

где r_{nep} – переходное сопротивление контактов, $r_{nep} = 15$ мОм.

$$x_{\Sigma} = x_c + x_{mp} + x_{ui}; \quad (54)$$

$$r_{\Sigma} = 3,1 + 0,9 + 15 = 19 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma} = 1,76 + 13,63 + 0,26 = 15,64 \text{ мОм};$$

$$I_{n(0)}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{19^2 + 15,64^2}} = 9,38 \text{ кА}.$$

Аналогично рассчитываются токи для остальных точек.

5.6.2 Расчет токов однофазного короткого замыкания

Начальное действующее значение периодической составляющей тока однофазного короткого замыкания определяется по выражению:

$$I_{n(0)}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1,\Sigma} + r_{0,\Sigma}) + (2 \cdot x_{1,\Sigma} + x_{0,\Sigma})}}, \quad (55)$$

где $r_{1,\Sigma}$ и $r_{0,\Sigma}$ – суммарные активные сопротивления прямой и нулевой последовательности относительно точки КЗ соответственно;

$x_{1,\Sigma}$ и $x_{0,\Sigma}$ – суммарные реактивные сопротивления прямой и нулевой последовательности относительно точки КЗ соответственно.

При отсутствии заводских данных можно принимать: для шин $r_{0,ш} = 10r_{1,ш}$ и $x_{0,ш} = 8,5x_{1,ш}$; для шинопроводов $r_{0,ш} = 10r_{1,ш}$ и $x_{0,ш} = 10x_{1,ш}$; для трехжильных кабелей $r_{0,к} = 10r_{1,к}$ и $x_{0,к} = 4x_{1,к}$. Сопротивления нулевой последовательности принимаются равными сопротивлениям прямой последовательности.

Тогда для точки K_{1-1} будем иметь:

$$I_{n(0)}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{\sqrt{(2 \cdot 19,01 + 10)^2 + (2 \cdot 15,64 + 10)^2}} = 10,39 \text{ кА.}$$

Для остальных точек расчет аналогичен.

5.6.3 Расчет ударных токов короткого замыкания

Для выбора и проверки шинопроводов по условию электродинамической стойкости необходимо знать наибольшее возможное мгновенное значение тока КЗ, которое называют ударным током и определяют по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n(0)}^{(3)} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right), \quad (56)$$

где $I_{n(0)}^{(3)}$ – значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания, кА;

T_a – постоянная времени затухания.

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{314 \cdot r_{\Sigma}}. \quad (57)$$

Тогда для точки K_{1-1} получаем:

$$T_a = \frac{15,64}{314 \cdot 19,01} \approx 0,006;$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 3,244 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,006}}\right) = 5,478 \text{ кА.}$$

Для остальных точек расчет аналогичен.

Результаты расчетов токов короткого замыкания для всех точек приведены для первого варианта указаны в таблице 51.

Таблица 51 – Результаты расчетов токов короткого замыкания 1 варианта

Шинопровод/СП	Точка КЗ	$I_{n(0)}^{(3)}$, кА	$I_{n(0)}^{(1)}$, кА	$i_{y\partial}$, кА
ШМА 1-1	K_{1-1}	13,56	14,58	27,54
ШМА 1-2	K_{1-2}	13,09	14,14	25,22
ШРА 2	K_{1-3}	8,64	10,14	12,76
ШРА 4	K_{1-4}	11,84	13,01	20,63
ШРА 6	K_{1-5}	8,74	10,23	12,95
ШТА 2	K_{1-6}	4,6	6,04	6,53
СП 2-1	K_{1-7}	4,22	5,74	5,98
СП 2-2	K_{1-8}	7,65	9,73	11,07
СП 2-3	K_{1-9}	8,05	10,17	11,74
СП 2-4	K_{1-10}	8,15	10,28	11,91
СП 4-1	K_{1-11}	10,95	13,42	17,93
СП 4-2	K_{1-12}	10,95	13,42	17,93
СП 4-3	K_{1-13}	8,96	11,15	13,21
СП 4-4	K_{1-14}	11,13	13,64	18,52
СП 4-5	K_{1-15}	10,95	13,42	17,93
СП 4-6	K_{1-16}	11,37	13,90	19,1
СП 4-7	K_{1-17}	9,79	12,08	14,89
СП 6-1	K_{1-18}	8,50	10,67	12,52
СП 6-2	K_{1-19}	7,95	10,06	11,57
Сторонняя нагрузка	K_{1-20}	9,09	11,46	14,52
ШОС	K_{1-21}	2,84	3,98	4,01
ШМА 2-1	K_{2-1}	6,9	8,57	12,46
ШМА 2-2	K_{2-2}	7,12	8,82	13,27
ШРА 1	K_{2-3}	5,55	7,07	8,54

ШРА 3	K ₂₋₄	6,39	8	10,83
ШРА 5	K ₂₋₅	6,31	7,91	10,47
ШРА 13	K ₂₋₆	5,54	7,06	8,62
ШТА 1	K ₂₋₇	4,12	5,46	5,97
ШТА 7	K ₂₋₉	3,65	4,90	5,23
ШТА 13	K ₂₋₁₀	3,64	4,89	5,22
СП 1-1	K ₂₋₁₁	5,26	7,06	7,92
СП 1-2	K ₂₋₁₂	5,17	6,96	7,75
СП 3-1	K ₂₋₁₃	6,12	8,18	10,04
СП 3-2	K ₂₋₁₄	6,08	8,12	9,91
СП 3-3	K ₂₋₁₅	6,14	8,21	10,13
СП 3-4	K ₂₋₁₆	6,08	8,12	9,90
СП 3-5	K ₂₋₁₇	5,76	7,70	9,01
СП 3-6	K ₂₋₁₈	6,14	8,21	10,13
СП 5-1	K ₂₋₁₉	5,44	7,29	8,22
СП 5-2	K ₂₋₂₀	6,04	8,06	9,69
СП 5-3	K ₂₋₂₁	5,89	7,87	9,3
СП 5-4	K ₂₋₂₂	6,13	8,18	9,97
СП 7-1	K ₂₋₂₃	4,8	6,48	7,01
СП 7-2	K ₂₋₂₄	5,94	7,94	9,43
СП 9-1	K ₂₋₂₅	2,51	3,54	3,55
СП 13-1	K ₂₋₂₆	5,24	7,05	7,95
СП 13-2	K ₂₋₂₇	3,98	5,46	5,71
СП 13-3	K ₂₋₂₈	3,98	5,46	5,71
СП 13-4	K ₂₋₂₉	5,39	7,25	8,31
ШМА 3-1	K ₃₋₁	25,07	21,57	51,65
ШМА 3-2	K ₃₋₂	23,75	20,7	44,97
ШРА 8	K ₃₋₃	18,38	17,38	29,09
ШРА 10	K ₃₋₄	14,87	15,08	21,93
ШРА 11	K ₃₋₅	17,91	17,08	27,93
ШРА 14	K ₃₋₆	19,85	18,26	31,96
ШРА 14-1	K ₃₋₇	11,48	12,62	16,37
ШРА 14-2	K ₃₋₈	13,35	14,01	19,29
ШТА 8	K ₃₋₉	4,73	6,23	6,69
ШТА 11-1	K ₃₋₁₀	9,27	10,79	13,15
ШТА 11-2	K ₃₋₁₁	7,98	9,6	11,30
ШТА 12	K ₃₋₁₂	3,76	5,09	5,32
ШТА 14-1	K ₃₋₁₃	5,03	6,49	7,57
ШТА 14-2	K ₃₋₁₄	4,63	6,04	6,85
СП 8-1	K ₃₋₁₅	16,74	18,27	25,49
СП 8-2	K ₃₋₁₆	16,98	18,50	26,05

СП 8-3	K ₃₋₁₇	17,03	18,54	26,14
СП 8-4	K ₃₋₁₈	17,54	18,99	27,18
СП 10-1	K ₃₋₁₉	13,94	15,77	20,36
СП 10-2	K ₃₋₂₀	11,04	13,07	15,73
СП 10-3	K ₃₋₂₁	13,54	15,41	19,69
СП 11-1	K ₃₋₂₂	5,59	7,38	7,91
СП 11-2	K ₃₋₂₃	16,09	17,69	24,16
СП 11-3	K ₃₋₂₄	16,7	18,24	25,44
СП 11-4	K ₃₋₂₅	17,16	18,64	26,33
СП 12-1	K ₃₋₂₆	16,59	18,15	25,21
СП 12-2	K ₃₋₂₇	16,7	18,24	25,44
СП 12-3	K ₃₋₂₈	15,09	16,78	22,23
СП 14-2	K ₃₋₂₉	20,41	21,32	32,85
СП 14-5	K ₃₋₃₀	19,04	20,07	29,27
СП 14-7	K ₃₋₃₁	11,41	13,4	16,22
СП 14-3	K ₃₋₃₂	18,16	19,44	28,05
СП 14-4	K ₃₋₃₃	10,97	13	15,63
СП 14-6	K ₃₋₃₄	11,36	13,37	16,21
СП 14-8	K ₃₋₃₅	10,97	13,00	15,63
СП 14-1	K ₃₋₃₆	7,01	8,97	9,91

Результаты расчетов токов короткого замыкания для всех точек приведены для первого варианта указаны в таблице 52.

Таблица 52 – Результаты расчетов токов короткого замыкания 1 варианта

Шинопровод/СП	Точка КЗ	$I_{n(0)}^{(3)}$, кА	$I_{n(0)}^{(1)}$, кА	$i_{y\partial}$, кА
ШМА 1	K ₁₋₁	22,94	20,35	44,52
ШРА 1	K ₁₋₂	16,50	16,19	25,48
ШТА 1-1	K ₁₋₃	4,05	5,53	5,73
ШТА 1-2	K ₁₋₄	6,94	8,90	9,83
СП 1-1	K ₁₋₅	10,4	12,92	17,39
СП 1-2	K ₁₋₆	12,91	14,94	19,11
СП 1-3	K ₁₋₇	13,3	15,32	19,83
СП 1-4	K ₁₋₈	4,17	5,68	5,9
СП 1-5	K ₁₋₉	14,14	16,05	21,11
СП 1-6	K ₁₋₁₀	14,55	16,42	21,82
СП 1-7	K ₁₋₁₁	14,55	16,42	21,82
СП 1-8	K ₁₋₁₂	13,85	15,77	20,54
СП 1-9	K ₁₋₁₃	7,89	9,92	11,18
СП 1-10	K ₁₋₁₄	1,91	2,75	2,71

СП 1-11	K ₁₋₁₅	38,03	29,78	54,68
ШМА 2	K ₂₋₁	24,37	21,41	53,43
ШРА 2	K ₂₋₂	17,29	16,72	27,30
ШТА 2-1	K ₂₋₃	4,56	6,15	6,45
СП 2-1	K ₂₋₄	9,99	12,07	14,23
СП 2-2	K ₂₋₅	9,52	11,6	13,55
СП 2-3	K ₂₋₆	14,17	16,08	21,18
СП 2-4	K ₂₋₇	5,87	7,69	8,31
СП 2-5	K ₂₋₈	13,3	15,34	19,96
СП 2-6	K ₂₋₉	10,57	12,67	15,21
СП 2-7	K ₂₋₁₀	15,22	17,04	23,13
СП 2-8	K ₂₋₁₁	11,56	13,61	16,66
СП 2-9	K ₂₋₁₂	16,36	18,08	25,43
СП 2-10	K ₂₋₁₃	11,67	13,74	16,96
СП 2-11	K ₂₋₁₄	9,77	11,87	13,96
СП 2-12	K ₂₋₁₅	8,60	10,67	12,21
ШОС	K ₂₋₁₆	2,99	4,18	4,23
Ст. нагр.	K ₂₋₁₇	13,28	15,44	20,53
ШМА 3	K ₃₋₁	12,69	13,77	23,63
ШРА 3	K ₃₋₂	11,04	12,30	18,17
ШРА 4	K ₃₋₃	10,76	12,06	17,61
ШТА 3-1	K ₃₋₄	5,33	7,08	7,60
ШТА 3-2	K ₃₋₅	7,49	9,57	10,94
ШТА 3-3	K ₃₋₆	8,45	10,64	12,60
СП 3-1	K ₃₋₇	8,25	10,41	12,17
СП 3-2	K ₃₋₈	9,62	11,94	14,88
СП 3-3	K ₃₋₉	9,78	12,16	15,44
СП 3-4	K ₃₋₁₀	2,75	3,87	3,89
СП 3-5	K ₃₋₁₁	9,76	12,11	15,23
СП 3-6	K ₃₋₁₂	10,32	12,74	16,55
СП 3-7	K ₃₋₁₃	9,89	12,26	15,55
СП 3-8	K ₃₋₁₄	10,49	12,93	16,98
СП 3-9	K ₃₋₁₅	1,76	2,53	2,48
ШМА 4	K ₄₋₁	13,43	14,48	27,15
ШРА 5	K ₄₋₂	12,10	13,22	21,04
ШРА 6	K ₄₋₆	12,03	13,18	21,29
ШТА 4-1	K ₄₋₄	5,86	7,70	8,37
ШТА 4-2	K ₄₋₅	3,88	5,32	5,50
СП 4-1	K ₄₋₆	11,09	13,56	18,16
СП 4-2	K ₄₋₇	6,25	8,14	8,9
СП 4-3	K ₄₋₈	11,53	14,11	19,75

СП 4-4	K_{4-9}	11,63	14,24	20,12
СП 4-5	K_{4-10}	9,94	12,34	15,79
СП 4-6	K_{4-11}	11,05	13,55	18,34
СП 4-7	K_{4-12}	10,54	12,99	17,07
СП 4-8	K_{4-13}	5,22	6,94	7,4

5.7 Выбор защитной аппаратуры

5.7.1 Выбор предохранителей

Плавкий предохранитель предназначен для защиты электроустановок от токов КЗ и перегрузок.

Основными его характеристиками являются: номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{ном вст}}$, номинальный ток предохранителя $I_{\text{ном пр}}$, номинальное напряжение предохранителя $U_{\text{ном пр}}$, номинальный ток отключения предохранителя $I_{\text{ном отк}}$, защитная характеристика предохранителя.

Номинальным током плавкой вставки называют ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы в нормальном режиме. Номинальный ток предохранителя – это ток, при длительном протекании которого не наблюдается перегрева предохранителя. Необходимо иметь в виду, что в предохранителе может использоваться плавкая вставка с $I_{\text{ном}}$ меньшим $I_{\text{ном}}$ предохранителя.

Номинальное напряжение определяет конструкцию и длину плавкой вставки. Отключающая способность предохранителя характеризуется номинальным током отключения, являющимся наибольшим током КЗ, при котором предохранитель разрывает цепь без каких-либо повреждений, препятствующих его работе при смене плавкой вставки.

Наибольшее распространение в сетях напряжением до 1 кВ получили предохранители типа ППН (предохранитель плавкий наполненный). В работе будем применять предохранители ППН марки ИЕК. Токовременная характеристика отключения этих предохранителей представлена на рисунке 8 и рисунке 9.

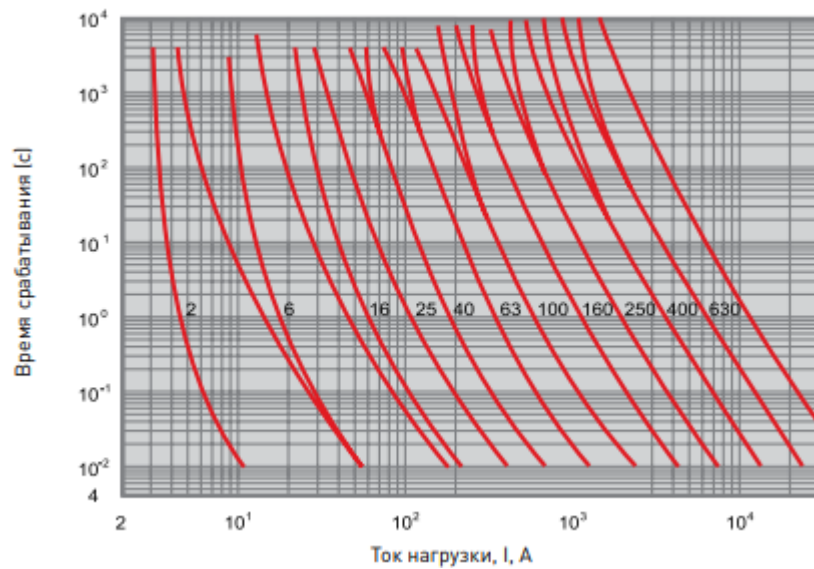


Рисунок 8 – токовременные характеристики отключения предохранителей ППН

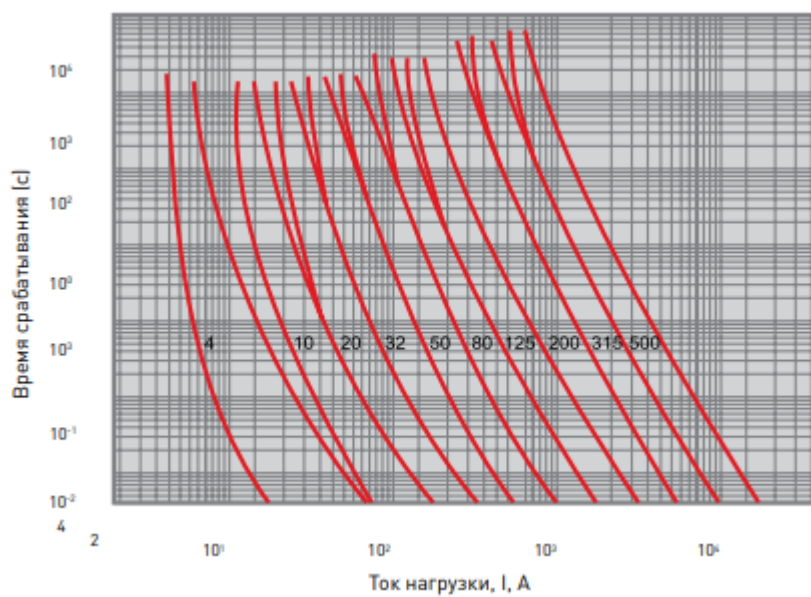


Рисунок 9 – токовременные характеристики отключения предохранителей ППН

Характеристики токоограничения предохранителей ППН представлены на рисунке 10.

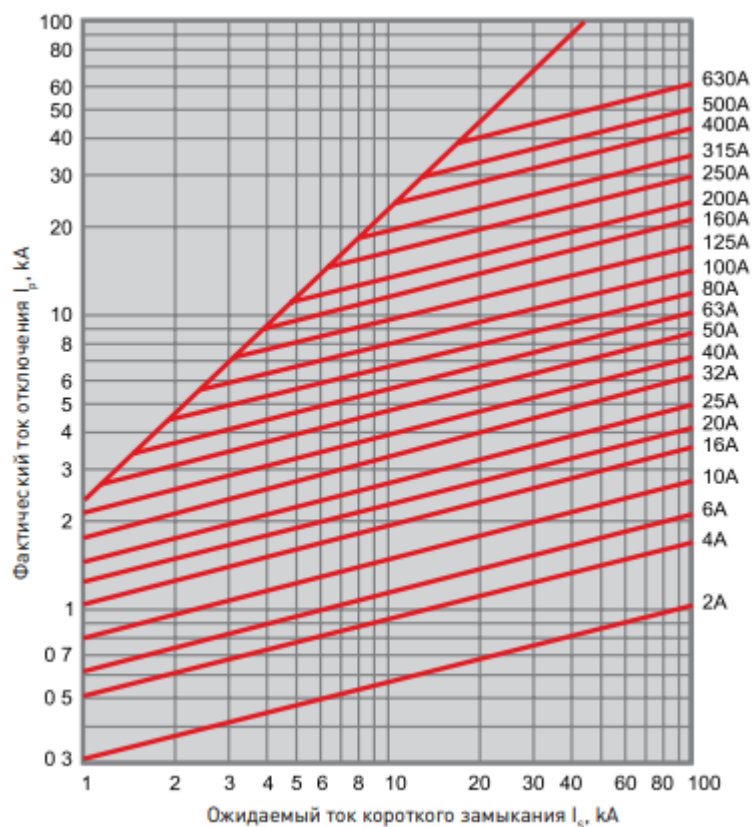


Рисунок 10 - Характеристики токоограничения предохранителей ППН

Выбор безынерционных предохранителей производят по условиям:

$$U_{\text{ном пред}} \geq U_{\text{сети}}; \quad (58)$$

$$I_{\text{ном пр.}} \geq I_{\text{рассч max.}}; \quad (59)$$

$$I_{\text{ном вст}} \geq I_{\text{раб max.}}; \quad (60)$$

$$I_{\text{ном вст}} \geq \frac{i_{\text{п}}}{K_{\text{перегр}}}, \quad (61)$$

где $I_{p,max}$ – максимальный рабочий ток сети, А;

i_n – пусковой ток одного двигателя, А;

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент перегрузки, принимаемый 2,5 для легких условий пуска и 1,6 ÷ 2 для тяжелых.

Пиковый ток для одного двигателя:

$$i_n = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном,дв}}, \quad (62)$$

где $K_{\text{пуск}}$ – кратность пуска электродвигателя, равный 5 для двигателей с короткозамкнутым ротором;

$I_{\text{ном,дв}}$ – номинальный ток двигателя, А.

В качестве примера выберем предохранители для мостового крана 2-19:

$$i_{\text{п}} = 49,38 \cdot 5 = 246,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном вст}} \geq 107 \text{ А}.$$

По полученным данным из выбираем тип предохранителя: ППН-33-125 с $I_{\text{ном.п}} = 250 \text{ А}$ $I_{\text{ном вст}} = 120 \text{ А}$.

Для обоих вариантов конфигурации выбор предохранителей идентичен.

Все полученные данные сводим в таблицу 53.

Таблица 53 – Результаты выбора предохранителей

№ на плане	$I_{\text{расч}}, \text{ А}$	$\frac{i_{\text{п}}}{K_{\text{перегр}}}$	$I_{\text{ном вст}}$	Предохранитель
1-1	83.27	198	200	ППН-35-200
1-2	60.14	137	160	ППН-35-160
1-3	4.81	9	10	ППН-33-10
1-4, 1-5, 1-6	35.53	77	80	ППН-33-80
1-7	49.38	107	125	ППН-33-125
2-1	14.24	28	32	ППН-33-32
2-2,2-3	6.42	19	20	ППН-33-20
2-19	49.38	107	125	ППН-33-125
2-4	54.13	118	125	ППН-33-125
2-6	19.85	40	40	ППН-33-40
2-5	25.26	53	63	ППН-33-63
2-7	12.63	25	20	ППН-33-25

2-10, 2-11	43.3	94	100	ППН-33-100
2-9	19.85	40	40	ППН-33-40
2-8	50.52	110	125	ППН-33-125
2-12	43.3	94	100	ППН-33-100
2-14	59.24	135	160	ППН-33-160
2-13, 2-15, 2-16	46.91	102	125	ППН-33-125
2-17	4.81	9	10	ППН-33-10
2-18	4.81	9	10	ППН-33-10
3-13	51.82	118	125	ППН-33-125
3-14	22.96	48	50	ППН-33-50
3-15	99.95	238	250	ППН-35-250
3-16	27.06	56	63	ППН-33-63
3-17	32.2	70	80	ППН-33-80
3-18	67.66	154	160	ППН-33-160
3-1	24.6	51	63	ППН-33-63
3-2	65.61	149	160	ППН-33-160
3-3	54.13	118	125	ППН-33-125
3-4	36.08	75	80	ППН-33-80
3-5	46.8	102	125	ППН-33-125
3-6	15.16	30	32	ППН-33-32
3-7, 3-8, 3-9	43.3	94	100	ППН-33-100
3-10	59.24	135	160	ППН-33-160
3-11, 3-12	67.96	154	160	ППН-33-160
3-25	54.13	118	125	ППН-33-125
3-19	17.32	35	40	ППН-33-40
3-20, 3-23	36.08	75	80	ППН-33-80
3-21	25.26	53	63	ППН-33-63
3-22	14.43	29	32	ППН-33-32
3-24	51.6	112	125	ППН-33-125
3-26	39.69	86	100	ППН-33-100
3-27	102.24	243	250	ППН-35-250
4-1	48.11	105	125	ППН-33-125
4-19, 4-20, 4-21, 4-22, 4-23	58.82	134	160	ППН-33-160

4-2	32.08	67	80	ППИ-33-80
4-3	64.95	148	160	ППИ-33-160
4-13, 4-25	36.08	75	80	ППИ-33-80
4-4	35.53	77	80	ППИ-33-80
4-5, 4-12	46.8	102	125	ППИ-33-125
4-6	4.81	9	10	ППИ-33-10
4-27, 4-28	70.97	161	200	ППИ-35-200
4-7	26.34	55	63	ППИ-33-63
4-8	25.26	53	63	ППИ-33-63
4-9	27.67	58	63	ППИ-33-63
4-29	146.44	366	400	ППИ-37-400
4-30	85.16	194	200	ППИ-35-200
4-31	115.47	275	315	ППИ-37-315
4-32	66.76	152	160	ППИ-33-160
4-11	5.41	10	10	ППИ-33-10
4-10	46.8	102	125	ППИ-33-125
4-26	36.08	75	80	ППИ-33-80
4-14	10.83	22	25	ППИ-33-25
4-15	42.22	92	100	ППИ-33-100
4-16	10.46	21	25	ППИ-33-25
4-33	36.08	75	80	ППИ-33-80
4-34	46.19	100	100	ППИ-33-100
4-17	14.43	29	32	ППИ-33-32
4-18	7.22	14	16	ППИ-33-16
4-35, 4-36, 4-37, 4-38	11.4	23	25	ППИ-33-25
4-39	14.24	28	32	ППИ-33-32
5-6	13.15	26	32	ППИ-33-32
5-5	6.42	12	16	ППИ-33-16
5-4, 5-18, 5-10	6.42	12	16	ППИ-33-16
5-2	9.62	19	20	ППИ-33-20
5-3	3.21	6	6	ППИ-33-6
5-8	6.42	12	16	ППИ-33-16
5-11	19.43	40	40	ППИ-33-40

5-7	6.42	12	16	ППН-33-16
5-1, 5-9	5.13	10	10	ППН-33-10
5-13	55.51	126	160	ППН-33-160
5-12	2.35	4	6	ППН-33-6
5-14	15.88	32	32	ППН-33-32
5-15	65.73	149	160	ППН-33-160
5-16	26.65	58	63	ППН-33-63
5-17	50.88	111	125	ППН-33-125
5-23	60.74	138	160	ППН-33-160
5-19	9.62	19	20	ППН-33-20
5-20	7.22	14	16	ППН-33-16
5-22	8.98	18	20	ППН-33-20
5-24	35.36	74	80	ППН-33-80
5-21	49.38	107	125	ППН-33-125
5-25	39.69	86	100	ППН-33-100
5-26	43.77	95	100	ППН-33-100
5-27	32.34	70	80	ППН-33-80
6-1	444.12	1234	1250	ППН-41-1250
6-5	65.61	149	160	ППН-33-160
6-2	2.35	4	4	ППН-33-4
6-3	36.08	75	80	ППН-33-80
6-4	8.98	18	20	ППН-33-20
6-6	14.43	29	32	ППН-33-32
6-7	17.66	37	40	ППН-33-40
6-8	20.89	42	50	ППН-33-50
7-2	10.46	21	25	ППН-33-25
7-1	25.23	53	63	ППН-33-63
7-7	11.4	23	25	ППН-33-25
7-3, 7-4, 7-5	27.76	60	63	ППН-33-63
7-6	49.38	107	125	ППН-33-125
8-1	107.68	269	315	ППН-37-315
8-2	32.99	72	80	ППН-33-80
8-3	17.18	36	40	ППН-33-40
8-4	39.18	89	100	ППН-33-100

8-15, 8-16, 8-17	5.7	11	16	ППН-33-16
8-5	101.29	253	315	ППН-37-315
8-6	4.81	9	10	ППН-33-10
8-7	126.61	200	200	ППН-35-200
8-8	62.46	89	100	ППН-33-100
8-9	75.97	114	125	ППН-33-125
8-11	101.29	152	160	ППН-33-160
8-10	126.61	200	200	ППН-35-200
8-14	232.97	647	800	ППН-41-800
8-12	106.35	266	315	ППН-37-315
8-13	152.97	382	400	ППН-37-400
8-18	11.4	23	25	ППН-33-25
8-19	49.38	107	125	ППН-33-125
9-1	6.42	12	16	ППН-33-16
9-2	52.69	120	125	ППН-33-125
9-3	30.79	67	80	ППН-33-80
10-2	249.82	657	800	ППН-41-800
10-3	50.52	110	125	ППН-33-125
10-4	67.96	154	160	ППН-33-160
10-5	17.66	37	40	ППН-33-40
10-6	5.41	10	10	ППН-33-10
10-7	20.19	42	50	ППН-33-50
10-8, 10-9	4.81	9	10	ППН-33-10
10-10	55.51	126	160	ППН-33-160
10-11	25.23	53	63	ППН-33-63
10-1	25.23	53	63	ППН-33-63
10-12	75.97	114	125	ППН-33-125
11-1, 11-2	14.24	28	32	ППН-33-32
11-3, 11-4	49.38	107	125	ППН-33-125
11-5	23.63	31	32	ППН-33-32
11-6	70.27	160	160	ППН-33-160
11-7	43.83	95	100	ППН-33-100
11-8	13.06	26	32	ППН-33-32
11-9	71.22	170	200	ППН-35-200

11-10	2.34	4	4	ППН-33-4
11-11	5.67	11	16	ППН-33-16
11-12	130.57	326	350	ППН-37-350
11-13	13.06	26	32	ППН-33-32
11-14	590.86	1013	1250	ППН-41-1250
11-15	0.54	1	2	ППН-33-2
11-16	7.94	15	16	ППН-33-16
11-17	20.89	44	50	ППН-33-50
11-18	5.22	10	10	ППН-33-10
11-19	34.19	71	80	ППН-33-80
11-20	64.15	153	160	ППН-33-160
11-21	15.19	30	32	ППН-33-32
11-22	15.19	32	32	ППН-33-32
12-1	18.93	39	40	ППН-33-40
12-2	50.64	121	125	ППН-33-125
12-3	219.46	610	630	ППН-39-630
12-4	49.38	107	125	ППН-33-125
12-6	209.69	552	630	ППН-39-630
12-5	11.87	24	25	ППН-33-25
12-11	11.4	23	25	ППН-33-25
12-7	75.7	180	200	ППН-35-200
12-8	18.93	39	40	ППН-33-40
12-9	50.47	115	125	ППН-33-125
12-10	75.7	180	200	ППН-35-200
12-12	14.24	28	32	ППН-33-32
12-13, 12-14	32.99	72	80	ППН-33-80
13-3	162.72	407	425	ППН-39-425
13-6	25.26	53	63	ППН-33-63
13-5	10.46	21	25	ППН-33-25
13-7	75.7	180	200	ППН-35-200
13-4, 13-8	19.12	38	40	ППН-33-40
13-9, 13-10	106.45	253	315	ППН-37-315
13-11	25.26	53	63	ППН-33-63
13-12	9.62	19	20	ППН-33-20

13-13	10.46	21	25	ППН-33-25
13-14	49.38	107	125	ППН-33-125
13-16	23.64	49	50	ППН-33-50
13-2	16.04	33	40	ППН-33-40
13-17	9.62	19	20	ППН-33-20
13-1	14.24	28	32	ППН-33-32
14-1	10.46	21	25	ППН-33-25
14-2	16.4	34	40	ППН-33-40
14-3, 14-4	9.62	19	20	ППН-33-20
14-5, 14-13	16.04	33	40	ППН-33-40
14-6	52.69	120	125	ППН-33-125
14-7	5.7	11	16	ППН-33-16
14-8, 14-32	49.38	107	125	ППН-33-125
14-9, 14-21	68.73	164	200	ППН-35-200
14-10,14-14	32.99	72	80	ППН-33-80
14-12	60.48	144	160	ППН-33-160
14-15, 14-16, 14-17	5.7	11	16	ППН-33-16
14-18	22.73	45	50	ППН-33-50
14-19	9.62	19	20	ППН-33-20
14-20	50.47	115	125	ППН-33-125
14-22	100.94	240	250	ППН-35-250
14-23	12.11	24	25	ППН-33-25
14-24	8.07	16	20	ППН-33-20
14-25	24.48	51	63	ППН-33-63
14-26	32.3	70	80	ППН-33-80
14-27	42.9	98	100	ППН-33-100
14-28	12.11	24	25	ППН-33-25
14-29	42.9	98	100	ППН-33-100
14-30	93.82	223	250	ППН-35-250
14-31	59.05	134	160	ППН-33-160
14-33	11.86	24	25	ППН-33-25
14-34	7.57	15	16	ППН-33-16
14-35	27.76	60	63	ППН-33-63

14-36,14-38, 14-39	22.73	45	50	ППН-33-50
14-37	12.11	24	25	ППН-33-25
14-40	28.87	60	63	ППН-33-63
14-41	5.7	11	16	ППН-33-16
14-42, 14-43	14.24	28	30	ППН-33-30

5.7.2 Выбор автоматических выключателей

При выборе уставок тока срабатывания автоматических выключателей следует учитывать различия в характеристиках и погрешности в работе расцепителей выключателей. Требования к выбору выключателей:

- номинальное напряжение выключателя не должно быть ниже напряжения сети;
- отключающая способность должна быть рассчитана на максимальные токи КЗ, проходящие по защищаемому элементу;
- номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу:

$$I_{ном,расц} \geq I_{p,max}; \quad (63)$$

- автоматический выключатель не должен отключаться в нормальном режиме работы защищаемого элемента, поэтому ток уставки замедленного срабатывания регулируемых расцепителей следует выбирать по условию:

$$I_{ном,расц} \geq (1,1 \div 1,3)I_{p,max}; \quad (64)$$

- при допустимых кратковременных перегрузках защищаемого элемента автоматический выключатель не должен срабатывать; это достигается выбором уставки мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя по условию:

$$I_{ном,расц} \geq (1,25 \div 1,35)i_n. \quad (65)$$

Также осуществляется проверка на соответствие тока уставки расцепителя кратности однофазного тока КЗ:

$$I_{n(0)}^{(1)} \geq 1,25I_{ном,расц}. \quad (66)$$

Произведем выбор выключателя на примере распределительного шинопровода ШРА-1 для первого варианта.

Пиковый ток данного шинопровода:

$$i_{n,ШРА-1} = i_{n,max} + (I_{p,max} - k_{и,max} \cdot I_{ном,max}), \quad (67)$$

где $i_{п,max}$ – пусковой ток наибольшего электроприемника, питаемого ШРА-1, равный для нашего случая пусковому току продольно-строгального станка, А;

$I_{p,max}$ – расчетный ток данного ШРА-1, А;

$k_{и,max}$ – коэффициент использования наибольшего электроприемника;

$I_{ном,max}$ – номинальный ток наибольшего электроприемника, А.

$$i_{n,ШРА-1} = 198 + (255 - 0,2 \cdot 198) = 413 \text{ А.}$$

Принимаем к установке выключатель автоматический ВА-99С/100 315 с электронным расцепителем марки ЕКФ. Устройство микропроцессорного расцепителя позволяет регулировать уставку по току перегрузки от двух, до 10 номинальных значений выключателя. При установке регулируем уставку на тройную перегрузку номинального тока, чего вполне хватит для требований селективности и надёжности срабатывания:

$$I_{ном,расц} = 945 \text{ А.}$$

Проверяем по условиям:

– по условию (63):

$$945 \geq 255 \text{ A};$$

– по условию (64):

$$945 \geq 332 \text{ A};$$

– по условию (65):

$$945 \geq 559 \text{ A}.$$

Проверка по условию (66):

$$5768 \geq 945 \text{ A}.$$

Таким образом, окончательно для защиты ШРА-1 принимаем к установке автоматический выключатель ВА-99С/100 315 с регулируемым током расцепителя.

Регулировка тока расцепителя производится в пределах:

$$I_{\text{ном,расц}} = (1,5 \div 10) I_{\text{ном.АВ}}$$

Результаты выбора выключателей для остальных элементов приведены в таблице 54 для первого варианта и в таблице 55 для второго.

Таблица 54 – Результаты выбора автоматических выключателей для 1 варианта

Место установки	Расчетный ток нагрузки $I_{p,max}$, А	Пусковой ток $i_{п}$, А	Тип автомата
1	2	3	4
ШМА 1-1	1728	1988	ВА-45/2000
ШМА 1-2	1753	2740	ВА-45/2000
ШРА 2	549	662	ВА-99С/630
ШРА 4	1595	1903	ВА-99С/1600
ШРА 6	610	1597	ВА-99С/630
ШОС	34	38	ВА-99/40
ст. нагр.	594	654	ВА-99С/630
ШТА 2	99	146	ВА-99/100
СП 2-1	27	37	ВА-99/32
СП 2-2	112	216	ВА-99/125
СП 2-3	200	294	ВА-99/200
СП 2-4	210	323	ВА-99/250
СП 4-1	232	356	ВА-99/250
СП 4-2	214	304	ВА-99/250
СП 4-3	85	166	ВА-99/100
СП 4-4	306	424	ВА-99/315
СП 4-5	226	361	ВА-99/250
СП 4-6	425	733	ВА-99/500
СП 4-7	108	196	ВА-99/125
СП 6-1	465	1452	ВА-99/500
СП 6-2	145	273	ВА-99/160
ШМА 2-1	1501	1754	ВА-45/1600
ШМА 2-2	1487	1903	ВА-45/1600
ШРА 1	255	414	ВА-99С/300
ШРА 3	1246	1450	ВА-99С/1250
ШРА 5	679	804	ВА-99С/800
ШРА 13	669	1035	ВА-99С/800
ШТА 5	49	146	ВА-99/50
ШТА 13	212	578	ВА-99/250
СП 1-1	148	307	ВА-99/160
СП 1-2	107	169	ВА-99/125
СП 3-1	242	370	ВА-99/250
СП 3-2	198	327	ВА-99/200
СП 3-3	249	379	ВА-99/250
СП 3-4	201	406	ВА-99/250
СП 3-5	111	177	ВА-99/125
СП 3-6	244	448	ВА-99/250
СП 5-1	68	91	ВА-99/80
СП 5-2	159	284	ВА-99/160
СП 5-3	101	198	ВА-99/125
СП 5-4	221	337	ВА-99/250
СП 7-1	47	89	ВА-99/50
СП 7-2	83	181	ВА-99/100
СП 9-1	90	150	ВА-99/100
СП 13-1	121	265	ВА-99/125

СП 13-2	45	91	ВА-99/50
СП 13-3	33	76	ВА-99/50
СП 13-4	257	480	ВА-99/315
ШМА 3-1	2696	3101	ВА-45/3200
ШМА 3-2	2682	2747	ВА-45/3200
ШРА 8	1316	1478	ВА-99С/1600
ШРА 10	697	783	ВА-99С/800
ШРА 11	2027	2432	ВА-45/2500
ШРА 14	782	974	ВА-99С/800
ШТА 8	99	146	ВА-99/100
ШТА 11-1	49	146	ВА-99/50
ШТА 11-2	49	146	ВА-99/50
ШТА 12	49	146	ВА-99/50
ШТА 14	99	195	ВА-99/100
СП 8-1	214	349	ВА-99/250
СП 8-2	295	396	ВА-99/315
СП 8-3	304	384	ВА-99/315
СП 8-4	504	666	ВА-99/630
СП 10-1	386	912	ВА-99/400
СП 10-2	86	216	ВА-99/100
СП 10-3	225	326	ВА-99/250
СП 11-1	29	39	ВА-99/32
СП 11-2	202	261	ВА-99/250
СП 11-3	350	464	ВА-99/400
СП 11-4	591	996	ВА-99/630
СП 12-1	289	533	ВА-99/315
СП 12-2	342	783	ВА-99/400
СП 12-3	126	270	ВА-99/160
СП 14-2	196	256	ВА-99/200
СП 14-5	134	331	ВА-99/160
СП 14-7	106	213	ВА-99/125
СП 14-3	258	340	ВА-99/315
СП 14-4	113	305	ВА-99/125
СП 14-6	137	215	ВА-99/160
СП 14-8	115	168	ВА-99/125
СП 14-1	60	87	ВА-99/63

Таблица 55 – Результаты выбора автоматических выключателей для 2 варианта

Место установки	Расчетный ток нагрузки $I_{p,max}$, А	Пусковой ток i_p , А	Тип автомата
1	2	3	4
ШМА 1	3192	3843	ВА-45/3200
ШРА 1	2645	3230	ВА-45/3200
ШТА 1-1	99	296	ВА-99/100
ШТА 1-2	212	862	ВА-99/250
СП 1-1	255	587	ВА-99/315
СП 1-2	319	718	ВА-99/400
СП 1-3	360	768	ВА-99/400

СП 1-4	27	84	ВА-99/32
СП 1-5	531	743	ВА-99/630
СП 1-6	269	485	ВА-99/315
СП 1-7	253	490	ВА-99/315
СП 1-8	425	1010	ВА-99/500
СП 1-9	108	292	ВА-99/125
СП 1-10	45	146	ВА-99/50
СП 1-11	291	610	ВА-99/315
ШМА 2	3188	4964	ВА-45/3200
ШРА 2	2389	4165	ВА-45/3200
ШТА 2-1	49	246.9	ВА-99/50
СП 2-1	121	424	ВА-99/125
СП 2-2	68	120	ВА-99/80
СП 2-3	186	448	ВА-99/200
СП 2-4	47	101	ВА-99/50
СП 2-5	372	634	ВА-99/400
СП 2-6	195	475	ВА-99/200
СП 2-7	263	505	ВА-99/315
СП 2-8	116	244	ВА-99/125
СП 2-9	610	2386	ВА-99/630
СП 2-10	232	492	ВА-99/250
СП 2-11	178	365	ВА-99/200
СП 2-12	121	313	ВА-99/125
ШОС	34.19	37.609	ВА-99С/40
Ст. нагр.	593.99	653.389	ВА-99С/630
ШМА 3	2840	3678	ВА-45/3200
ШРА 3	764	1168	ВА-99С/800
ШРА 4	2076	2194	ВА-45/3200
ШТА 3-1	49	246	ВА-99/50
ШТА 3-2	49	246	ВА-99/50
ШТА 3-3	49	246	ВА-99/50
СП 3-1	137	308	ВА-99/160
СП 3-2	196	357	ВА-99/200
СП 3-3	371	775	ВА-99/400
СП 3-4	60	89	ВА-99/63
СП 3-5	221	523	ВА-99/250
СП 3-6	536	1375	ВА-99/630
СП 3-7	232	516	ВА-99/250
СП 3-8	910	2091	ВА-99/1000
СП 3-9	28	85	ВА-99/32
ШМА 4	2629	3627	ВА-45/3200
ШРА 5	454	829	ВА-99С/800
ШРА 6	2175	3176	ВА-45/3200
ШТА 4-1	99	296	ВА-99/100
ШТА 4-2	99	296	ВА-99/100
СП 4-1	240	615	ВА-99/250
СП 4-2	115	230	ВА-99/125
СП 4-3	504	969	ВА-99/630
СП 4-4	599	852	ВА-99/630

СП 4-5	243	819	ВА-99/250
СП 4-6	214	644	ВА-99/250
СП 4-7	427	1425	ВА-99/500
СП 4-8	90	300	ВА-99/100

Для автоматических выключателей типа ВА-99 значение тока ТО расцепителя не регулируется и равно:

$$I_{\text{ср.расц}} = 10 \cdot I_{\text{ном.АВ}} \quad (68)$$

5.8 Выбор оптимального варианта схемы низковольтного электроснабжения цеха

Для окончательного выбора между приведенными вариантами следует произвести экономический расчет вариантов, в котором мы учтем расходы на выбранное ранее электрооборудование. Смета затрат на реализацию первого варианта указана в таблице 56.

Таблица 56 – затраты на 1 вариант конфигурации сети механосборочного цеха

Тип электрооборудования	1 вариант			
	Наименование электрооборудования	Цена за 1 ед., р	Количество ед.	Общая стоимость, р
1	2	3	4	5
Силовые трансформаторы	ТМГ-1250/10	799190	2	1598380
	ТМГ-400/10	309638	2	619276
	ТМГ-250/10	224372	2	448744
	Итого по категории			2666400
Автоматические выключатели	ВА-45/3200	512914	2	1025828
	ВА-45/2500	438243	1	438243
	ВА-45/2000	405744	2	811488
	ВА-45/1600	287084	2	574168
	ВА-99С/1600	120548	2	241096
	ВА-99С/1250	104714	1	104714
	ВА-99С/800	67729	4	270916
	ВА-99С/630	49667	3	149001
	ВА-99С/300	35577	1	35577
	ВА-99С/40	3497	1	3497
	ВА-99/630	25141	2	50282
	ВА-99/500	25141	2	50282
	ВА-99/400	16420	3	49260

Продолжение таблицы 56

	ВА-99/315	16420	6	98520
	ВА-99/250	7956	13	103428
	ВА-99/200	7956	3	23868
	ВА-99/160	3834	6	23004
	ВА-99/125	3145	9	28305
	ВА-99/100	3145	7	22015
	ВА-99/80	3154	1	3154
	ВА-99/63	2949	1	2949
	ВА-99/50	3150	7	22050
	ВА-99/32	3150	2	6300
	Итого по категории			
Шинопроводы	ША 8832 45	45000	84	3780000
	ША 8825 45	33000	130	4290000
	ША 8820 45	26000	69	1794000
	ША 8816 45	20000	206	4120000
	ША 8812 45	15000	58	870000
	ША 8808 45	10000	280	2800000
	ША 8806 45	8000	154	1232000
	ША 8804 45	5500	58	319000
	ШТА К580	728	1016	739648
	Итого по категории			
Силовые кабели	АВВГ 4 × 300	2248	20	44960
	АВВГ 4 × 240	1658	340	563720
	АВВГ 4 × 185	1274	60	76440
	АВВГ 4 × 150	1059	100	105900
	АВВГ 4 × 120	925	100	92500
	АВВГ 4 × 95	721	20	14420
	АВВГ 4 × 70	556	60	33360
	АВВГ 4 × 50	450	80	36000
	АВВГ 4 × 35	347	140	48580
	АВВГ 4 × 25	324	60	19440
	АВВГ 4 × 16	182	140	25480
	АВВГ 4 × 10	139	180	25020
	АВВГ 4 × 6	40	120	4800
	Итого по категории			
Щитовое оборудование	ПР 8503-014 ПР 8503-018 ПР 8503-023 ПР 8503-029	8733	42	366786
	ПР 8503-033	11091	4	44364
	ПР 8503-153 ПР 8503-154 ПР 8503-155 ПР 8503-156	14276	8	114208
	Итого по категории			

Устройство компенсации реактивной мощности	КПС-0,4-30-3	22168	2	44336
	КПС-0,4-25-3	19879	2	39758
	КПС-0,4-12,5-3	12867	2	25734
	Итого по категории			109828
Предохранители	ППН-41-1250	3935	2	7870
	ППН-41-800	3152	2	6304
	ППН-39-630	1552	2	3104
	ППН-39-425	974	1	974
	ППН-37-400	527	2	1054
	ППН-37-350	454	1	454
	ППН-37-315	454	6	2724
	ППН-35-250	385	4	1540
	ППН-35-200	385	12	4620
	ППН-35-160	253	1	253
	ППН-33-125	253	34	8602
	ППН-33-100	241	16	3856
	ППН-33-80	108	24	2592
	ППН-33-63	180	19	3420
	ППН-33-50	180	9	1620
	ППН-33-40	180	19	3420
	ППН-33-32	180	17	3060
	ППН-33-30	180	2	360
	ППН-33-25	180	19	3420
	ППН-33-20	180	12	2160
	ППН-33-16	180	20	3600
	ППН-33-10	180	12	2160
	ППН-33-6	180	2	360
	ППН-33-4	180	2	360
	ППН-33-2	180	1	180
	Итого по категории			68067
ИТОГО вариант сети				28546361

Смета затрат для второго варианта указана в таблице 57.

Таблица 57 – затраты на 2 вариант конфигурации сети механосборочного цеха

Тип электрооборудования	2 вариант			
	Наименование электрооборудования	Цена за 1 ед., р	Количество ед.	Общая стоимость, р
1	2	3	4	5
Силовые трансформаторы	ТМГ-1250/10	799190	2	1598380
	ТМГ-630/10	439328	2	878656
	Итого по категории			2477036
Автоматические выключатели	ВА-45/3200	512914	8	4103312
	ВА-99С/800	67729	2	135458

	ВА-99С/630	49667	1	49667
	ВА-99С/40	3497	1	3497
	ВА-99/1000	104714	1	104714
	ВА-99/630	25141	5	125705
	ВА-99/500	25141	2	50282
	ВА-99/400	16420	4	65680
	ВА-99/315	16420	5	82100
	ВА-99/250	7956	7	55692
	ВА-99/200	7956	4	31824
	ВА-99/160	3834	1	3834
	ВА-99/125	3145	5	15725
	ВА-99/100	3145	4	12580
	ВА-99/80	3154	1	3154
	ВА-99/63	2949	1	2949
	ВА-99/50	3150	6	18900
	ВА-99/32	3150	2	6300
	Итого по категории			
Шинопроводы	ША 8832 45	45000	293	13185000
	ША 8825 45	33000	332	10956000
	ША 8808 45	10000	37	370000
	ША 8806 45	8000	20	160000
	ШТА К580	1016	728	739648
	Итого по категории			
Силовые кабели	АВВГ 4 × 300	2248	80	179840
	АВВГ 4 × 240	1658	400	663200
	АВВГ 4 × 185	1274	140	178360
	АВВГ 4 × 150	1059	200	211800
	АВВГ 4 × 120	925	60	55500
	АВВГ 4 × 95	721	40	28840
	АВВГ 4 × 70	556	100	55600
	АВВГ 4 × 50	450	100	45000
	АВВГ 4 × 35	347	80	27760
	АВВГ 4 × 25	324	60	19440
	АВВГ 4 × 16	182	180	32760
	АВВГ 4 × 10	139	220	30580
	АВВГ 4 × 6	40	140	5600
Итого по категории				1534280
Щитовое оборудование	ПР 8503-014 ПР 8503-018 ПР 8503-023 ПР 8503-029	8733	21	183393
	ПР 8503-033	11091	4	44364

Продолжение таблицы 57

	ПР 8503-153 ПР 8503-154 ПР 8503-155 ПР 8503-156	14276	15	214140
	Итого по категории			441897
Устройства компенсации реактивной мощности	КПС-0,4-50-3	40698	5	203490
	Итого по категории			203490
Предохранители	ППН-41-1250	3935	2	7870
	ППН-41-800	3152	2	6304
	ППН-39-630	1552	2	3104
	ППН-39-425	974	1	974
	ППН-37-400	527	2	1054
	ППН-37-350	454	1	454
	ППН-37-315	454	6	2724
	ППН-35-250	385	4	1540
	ППН-35-200	385	12	4620
	ППН-35-160	253	1	253
	ППН-33-125	253	34	8602
	ППН-33-100	241	16	3856
	ППН-33-80	108	24	2592
	ППН-33-63	180	19	3420
	ППН-33-50	180	9	1620
	ППН-33-40	180	19	3420
	ППН-33-32	180	17	3060
	ППН-33-30	180	2	360
	ППН-33-25	180	19	3420
	ППН-33-20	180	12	2160
	ППН-33-16	180	20	3600
	ППН-33-10	180	12	2160
	ППН-33-6	180	2	360
	ППН-33-4	180	2	360
	ППН-33-2	180	1	180
	Итого по категории			68067
ИТОГО на вариант				35006791

В расчеты приняты розничные цены из каталогов компаний производителей и компаний дистрибьюторов и актуальны на 1-2 квартал 2022 года.

Из экономических расчетов можно сделать вывод, что второй вариант обойдется дороже первого почти на 25%. Поэтому для дальнейшей работы принят 1 вариант конфигурации сети механосборочного цеха.

6 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА, СИГНАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА

6.1 Выбор уставок автоматических выключателей

6.1.1 Согласование по току

В тех случаях, когда возможно действие защиты последующего элемента Э1 (рисунок 11) из-за отказа защиты предыдущего элемента Э2 вследствие недостаточной чувствительности, чувствительность этих защит необходимо согласовать между собой. Согласование заключается в выборе таких токов срабатывания, при которых МТЗ элемента Э1 имела бы больший ток срабатывания.

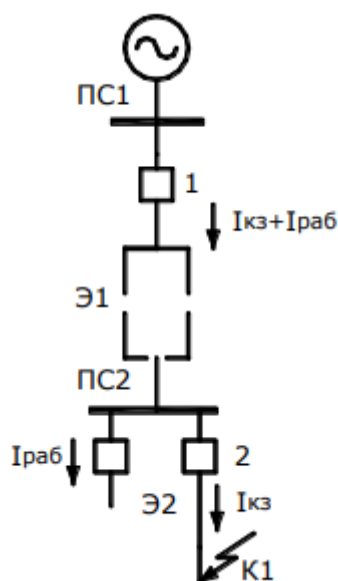


Рисунок 11 – Токораспределение при удаленном КЗ в сети с односторонним питанием

При согласовании чувствительности защит необходимо учитывать возможность существенного влияния токов нагрузки.

По условию согласования с защитами предыдущих элементов ток срабатывания защиты $I_{с.з.}$ выбирают по формуле 69:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{отс}}{k_{ток}} \cdot (I_{с.з.макс} + \sum I_{раб}), \quad (69)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$k_{ток}$ – коэффициент токораспределения, который учитывается только при наличии нескольких источников питания, при одном источнике питания принимается равным 1;

$I_{с.з.макс}$ – наибольший из токов срабатывания защит одного из предыдущих присоединений, А;

$\sum I_{раб}$ – суммарный ток нагрузки неповрежденных элементов, А.

6.1.2 *Согласование по времени*

Время срабатывания защиты выбирается из условия обеспечения селективности с защитами предыдущих и последующих элементов.

Выдержка времени вышестоящей защиты должна быть на ступень селективности больше времени срабатывания защиты нижестоящей для исключения неселективного срабатывания защиты.

Для защит с независимыми характеристиками время срабатывания $t_{с.з.1}$, с, выбирают по формуле 70:

$$t_{с.з.1} = t_{с.з.2} + \Delta t, \quad (70)$$

где Δt – ступень селективности. Для принятых выключателей $\Delta t = 0,2$ с.

Первая ступень срабатывания во всех автоматических выключателях является защитой от перегрузок с зависимой характеристикой.

Выбранные уставки срабатывания защит автоматических выключателей занесены в таблицу 58.

Таблица 58 – уставки срабатывания автоматических выключателей

Место установки	Тип автомата	Первая ступень	Вторая ступень	Третья ступень
1	4	2	3	5
ШМА 1-1	ВА-45/2000	$I_{расц1} = 2400 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц3} = 15000 \text{ А.}$ $t_{уст3} = 0,1 \text{ с.}$
ШМА 1-2	ВА-45/2000	$I_{расц1} = 3000 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц3} = 12000 \text{ А.}$ $t_{уст3} = 0,1 \text{ с.}$
СВ 1	ВА-45/2000	$I_{расц1} = 3000 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц3} = 15000 \text{ А.}$ $t_{уст3} = 0,1 \text{ с.}$
ШРА 2	ВА-99С/800 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 800 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 4	ВА-99С/1600 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 1920 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 6	ВА-99С/800 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 960 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШТА 2	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 2-1	ВА-99/32	$I_{расц1} = 38,4 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 320 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 2-2	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 2-3	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 2-4	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-1	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-2	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-3	ВА-99/100	$I_{расц1} = 120 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-4	ВА-99/315	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3150 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-5	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-6	ВА-99/500	$I_{расц1} = 600 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 5000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 4-7	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 6-1	ВА-99/500	$I_{расц1} = 600 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 5000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-

СП 6-2	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШОС	ВА-99/40	$I_{расц1} = 48 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 400 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
Ст. нагр.	ВА-99С/630 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 756 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШМА 2-1	ВА-45/1600	$I_{расц1} = 1920 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,1 \text{ с.}$
ШМА 2-2	ВА-45/1600	$I_{расц1} = 1920 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,1 \text{ с.}$
СВ 2	ВА-45/1600	$I_{расц1} = 1920 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,1 \text{ с.}$
ШРА 1	ВА-99С/315 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2520 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 3	ВА-99С/1250 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 1500 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 5	ВА-99С/800 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 960 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 13	ВА-99С/800 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 960 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШТА 1	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 5	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 7	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 13	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 1-1	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 1-2	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 3-1	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 3-2	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 3-3	ВА-99/250	$I_{расц1} = 250 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 3-4	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-

СП 3-5	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 3-6	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 5-1	ВА-99/80	$I_{расц1} = 96 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 800 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 5-2	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 5-3	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 5-4	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 7-1	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 7-2	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 9-1	ВА-99/100	$I_{расц1} = 120 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 13-1	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 13-2	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 13-3	ВА-99/40	$I_{расц1} = 48 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 400 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 13-4	ВА-99/315	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3150 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШМА 3-1	ВА-45/3200	$I_{расц1} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц3} = 20400 \text{ А.}$ $t_{уст3} = 0,1 \text{ с.}$
ШМА 3-2	ВА-45/3200	$I_{расц1} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц3} = 22000 \text{ А.}$ $t_{уст3} = 0,1 \text{ с.}$
СВ 3	ВА-45/ 3200	$I_{расц1} = 3200 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,5 \text{ с.}$	$I_{расц3} = 22000 \text{ А.}$ $t_{уст3} = 0,1 \text{ с.}$
ШРА 8	ВА-99С/1600 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 1920 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4800 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 10	ВА-99С/800 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 960 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 11	ВА-45/ 3200	$I_{расц1} = 2560 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4800 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,3 \text{ с.}$	-
ШРА 14	ВА-99С/800 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 960 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,42 \text{ с.}$	-

ШРА 14-1	ВА-99С/100 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 120 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШРА 14-2	ВА-99С/500 с электронным расцепителем	$I_{расц1} = 600 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,22 \text{ с.}$	-
ШТА 8	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 11-1	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 11-2	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 12	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 14-1	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
ШТА 14-2	ВА-99/50	$I_{расц1} = 60 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 8-1	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 8-2	ВА-99/315	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3150 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 8-3	ВА-99/315	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3150 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 8-4	ВА-99/630	$I_{расц1} = 756 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6300 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 10-1	ВА-99/400	$I_{расц1} = 480 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 10-2	ВА-99/100	$I_{расц1} = 120 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 10-3	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 11-1	ВА-99/32	$I_{расц1} = 38,4 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 320 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 11-2	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 11-3	ВА-99/400	$I_{расц1} = 480 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 11-4	ВА-99/630	$I_{расц1} = 756 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 6300 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 12-1	ВА-99/400 315	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3150 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 12-2	ВА-99/400	$I_{расц1} = 480 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 4000 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-

СП 12-3	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-2	ВА-99/250	$I_{расц1} = 300 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 2500 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-5	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-7	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-3	ВА-99/315	$I_{расц1} = 378 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 10 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 3150 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-4	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-6	ВА-99/160	$I_{расц1} = 192 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1600 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-8	ВА-99/125	$I_{расц1} = 150 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 1250 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-
СП 14-1	ВА-99/63	$I_{расц1} = 75,6 \text{ А.}$ $t_{уст1} = 24 \text{ с.}$	$I_{расц2} = 630 \text{ А.}$ $t_{уст2} = 0,02 \text{ с.}$	-

Карты селективности построены по одной для каждого вводного выключателя при помощи программы Гридис КС 3.0. и занесены в приложение В.

6.2 Разработка релейной защиты силовых трансформаторов

Согласно ПУЭ пункты 3.2.51-3.2.71, для силовых трансформаторов мощностью менее 4 МВА, нужно предусматривать следующие защиты:

Для защиты от внешних к.з. применяется токовая отсечка, которая охватывает так же часть обмотки трансформатора, используется как основная защита для трансформаторов без выдержки времени менее 4МВА и для трансформаторов большей мощности МТЗ с блокировкой по напряжению или без нее, используется как резервная защита трансформаторов.

Для защиты от внутренних замыканий в обмотках, обусловленных перегрузкой внешними к.з. трансформатора, должна применяться максимально-токовая защита (МТЗ), выступающая в роли резервной защиты для трансформаторов мощностью менее 4 МВА, для трансформаторов больше 4 МВА должна применяться продольная дифференциальная токовая защита, как

основная защита (без выдержки времени). Если чувствительность токовой отсечки меньше 2, а МТЗ имеет выдержку времени более 0,5 сек., можно применить дифференциальную защиту на трансформаторах малой мощности, но не меньше 1 МВА.

Защита от однофазных замыканий на землю в обмотках и на выводах, в сети с глухозаземленной нейтралью (сети с напряжением 220, 380 и 660 В), в основном это касается трансформаторов мощностью менее 4МВА.

Для масляных трансформаторов и РПН должна предусматриваться газовая защита, которая действует на сигнал при выделении газа и на отключение при сильном газообразовании.

Защита от перегрузки, в основном выполняется на сигнал. В случае если подстанция без постоянного персонала, который не находится на подстанции, то лучше выполнить действие защиты на отключение.

Для защиты трансформаторов применяется блок релейной защиты и автоматики микропроцессорного многофункционального устройства типа БМРЗ-102-ТР-01 компании НТЦ «Мехатроника».

6.2.1 Газовая защита трансформаторов

Газовая защита (ГЗ) – это защита от внутренних повреждений трансформатора, сопровождающихся выделением газа, понижением уровня масла в газовом реле или интенсивным движением потока масла из бака трансформатора в расширитель.

Газовая защита обладает абсолютной селективностью и выполняется двухступенчатой:

- первая ступень ГЗ срабатывает при незначительном выделении газа или понижении уровня масла в газовом реле и с выдержкой времени действует на сигнал;
- вторая ступень ГЗ срабатывает при значительном выделении газа, понижении уровня масла в газовом реле или при интенсивном движении потока масла из бака трансформатора в расширитель и действует на отключение трансформатора со всех сторон без выдержки времени.

Газовую защиту не рассчитываем т.к. она установлена на заводе-изготовителе.

6.2.2 Расчет уставок токовой отсечки

ТО подключается к ТТ стороны ВН трансформатора. В зону действия ТО входит только часть обмотки трансформатора со стороны ВН. ТО не должна приходить в действие при КЗ за трансформатором. Это условие обеспечивается тем, что ток срабатывания отсечки выбирается большим, чем максимальный ток КЗ нашинах НН в точке К1. Благодаря этому ТО трансформатора не срабатывает при КЗ на отходящих линиях (точка К2), следовательно, может быть выполнена без выдержки времени.

ТО не должна срабатывать при включении ненагруженного трансформатора от броска тока намагничивания. При выполнении отстройки от КЗ на стороне НН в точке К1 одновременно выполняется условие отстройки от БТН.

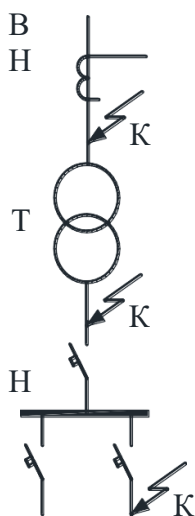


Рисунок 12 – Схема подключения ТО к понижающему трансформатору

По условию отстройки ТО от трехфазных КЗ на шинах НН в точке К1 ток срабатывания ТО $I_{ТО\ с.з.}$, о. е., вычисляют по формуле:

$$I_{ТО\ с.з.} = k_{отс} \cdot I_{КЗ\ макс}^{(3)} \quad (71)$$

где $k_{отс} = \text{от } 1,15$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$I_{КЗ_{макс}}^{(3)}$ - максимальное значение тока трехфазного КЗ на шинах НН, приведенное к стороне ВН, А. Значение тока определяется в максимальном режиме системы.

Чувствительность ТО проверяют по двухфазному металлическому замыканию на выводах трансформатора в точке КЗ в минимальном режиме системы по формуле:

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ_{мин}}^{(2)}}{I_{ТО \text{ с.з.}}}, \quad (72)$$

где $I_{КЗ_{мин}}^{(2)}$ - периодическая составляющая тока двухфазного КЗ при КЗ на выводах защищаемого трансформатора, А;

$I_{ТО \text{ с.з.}}$ - ток срабатывания ТО, А.

В соответствии с ПУЭ коэффициент чувствительности должен быть не менее 2.

Проведем расчет уставок ТО КТП №1 для первого трансформатора.

Определяем ток трехфазного КЗ на шинах НН двухобмоточного трансформатора:

$$I_{КЗ_{максНН}}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,1^2 + 15,38^2}} = 13,98 \text{ кА.}$$

Тогда приведенное значение КЗ к шинам ВН этого трансформатора определяется по формуле:

$$I_{КЗ_{максВН}}^{(3)} = I_{КЗ_{максНН}}^{(3)} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}}. \quad (73)$$

Приведенное значение КЗ к шинам ВН для КТП №1 равняется:

$$I_{K3 \text{ максВН}}^{(3)} = 13,98 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 0,51 \text{ кА.}$$

По условию отстройки ТО от трехфазных КЗ на шинах НН в точке К1 ток срабатывания ТО:

$$I_{\text{ТО с.з.}} = 1,15 \cdot 506 = 582 \text{ А.}$$

Для определения коэффициента чувствительности найдем значение двухфазного металлического замыкания на выводах трансформатора:

$$I_{K3 \text{ минНН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3 \text{ минНН}}^{(3)}; \quad (74)$$

$$I_{K3 \text{ минНН}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13984 = 12110 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности ТО:

$$k_{\text{ч}} = \frac{12110}{582} = 20,81.$$

Что превышает минимально необходимое значение.

Расчеты уставок ТО других трансформаторов занесены в таблицу 59.

Таблица 59 – Уставки токовых отсечек цеховых трансформаторов

Номер КТП	Трансформаторы	Трехфазное КЗ на шинах НН $I_{K3 \text{ максНН}}^{(3)}$, кА	Трехфазное КЗ на шинах ВН $I_{K3 \text{ максВН}}^{(3)}$, А.	Ток срабатывания ТО $I_{\text{ТО с.з.}}$, А.	Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$
1	2	3	4	5	6
КТП №1	ТМГ-630/10 №1	13,984	507	582	20,81
	ТМГ-630/10 №2	13,984	507	582	20,81

КТП №2	ТМГ-250/10 №1	7,203	261	300	20,81
	ТМГ-250/10 №2	7,203	261	300	20,81
КТП №3	ТМГ-1250/10 №1	26,608	963	1107	20,81
	ТМГ-1250/10 №2	26,608	963	1107	20,81

6.2.3 Расчет уставок максимальной токовой защиты

Уставки по току МТЗ должны обеспечить:

- несрабатывание защиты на отключение при послеаварийных перегрузках;
- согласование действия по току и по времени с защитами питающих и отходящих элементов;
- необходимую чувствительность при всех видах КЗ в основной зоне и в зоне резервирования.

По условию отстройки от самозапуска двигателей нагрузки ток срабатывания защиты $I_{\text{МТЗ с.з.}}$, А, рассчитывают по формуле:

$$I_{\text{МТЗ с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot \frac{I_{\text{раб.макс}}}{k_{\text{в}}}, \quad (75)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле и необходимый запас;

$k_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска электродвигателей обобщенной нагрузки.

Принимаем $k_{\text{сзп}} = 2$;

$I_{\text{раб.макс}}$ – максимальный рабочий ток защищаемого трансформатора, с учетом допустимой длительной перегрузки в аварийных условиях может быть равен $1,4 I_{\text{ном.тр}}$ на подстанциях без АВР на стороне НН и $0,7 I_{\text{ном.тр}}$ на подстанциях с АВР;

$k_{\text{в}} = 0,95$ - коэффициент возврата.

При действии АВР к трансформатору Тр1 подключается заторможенная нагрузка отключившегося трансформатора Тр2, рисунок.

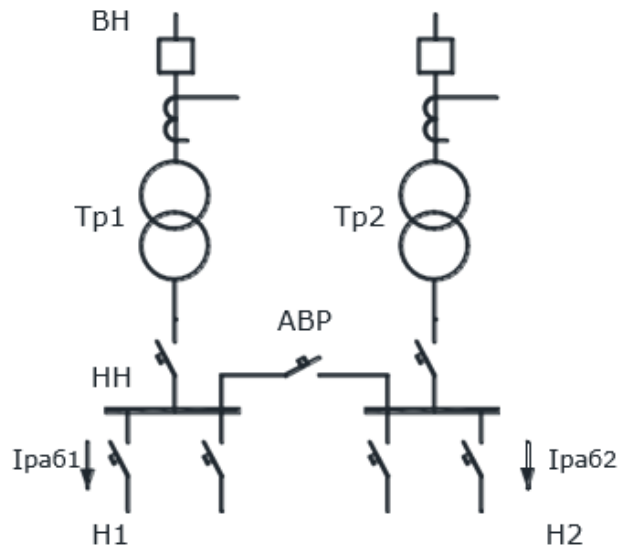


Рисунок 13 – Первичная схема двухтрансформаторной подстанции с АВР на стороне НН

По условию отстройки тока перегрузки при действии АВР трансформаторов ток срабатывания МТЗ $I_{\text{МТЗ с.з.}}$, А. выбирают по формуле:

$$I_{\text{МТЗ с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{\text{раб2.макс}} \cdot k_{\text{сзп}} + k'_{\text{отс}} \cdot I_{\text{раб1.макс}}}{k_{\text{в}}}, \quad (76)$$

$I_{\text{раб2.макс}}$ – максимальный рабочий ток нагрузки Н2, приведенный к стороне ВН. В схеме с АВР принимается равной $0,7 I_{\text{ном.тр2}}$, чтобы не допустить опасной перегрузки трансформатора после АВР;

$k'_{\text{отс}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока нагрузки Н1 из-за снижения напряжения на шинах НН при подключении к трансформатору 1 после АВР заторможенных двигателей нагрузки Н2. Значение этого коэффициента для нагрузки, в основном состоящей из двигателей, участвующих в самозапуске, принимается равным 1,5;

$I_{\text{раб1.макс}}$ – максимальный рабочий ток нагрузки Н1, приведенный к стороне ВН трансформатора. В схеме с АВР принимается равной $0,7 I_{\text{ном.тр2}}$, чтобы не допустить опасной перегрузки трансформатора после АВР.

При применении в качестве защитных устройств автоматических выключателей МТЗ трансформатора согласуют с вводным автоматическим выключателем, а если согласование невозможно, то с секционным и автоматическими выключателями отходящих присоединений.

При выполнении защитой функций основной защиты трансформатора и/или шин НН чувствительность по току определяется при металлическом КЗ на шинах НН по формуле:

$$k_{\text{чI}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}}}{I_{\text{МТЗ с.з.}}}, \quad (77)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальное значение тока КЗ на шинах НН, приведенное к стороне ВН, А.

Значение коэффициента чувствительности должно быть больше 1,5

6.2.4 Расчет времени срабатывания МТЗ

Время срабатывания защиты выбирается из следующих условий:

- обеспечение нагревостойкости трансформатора;
- обеспечения селективности с защитами предыдущих элементов.

Наибольшая продолжительность КЗ $t_{\text{кз.макс}}$ на выводах НН трансформаторов равна 4 с.

Для МТЗ с независимой характеристикой выдержка времени не должно превышать $t_{\text{кз.макс}}$. Для МТЗ с зависимой характеристикой выдержка времени не должна превышать $t_{\text{к макс}}$ при КЗ на выводах НН трансформатора.

При выдержке времени МТЗ менее 1 с. возможно срабатывание МТЗ при включении трансформатора из-за броска тока намагничивания. Для отстройки от броска тока намагничивания силового трансформатора используют следующие способы:

- блокировка МТЗ по второй гармонике тока. При использовании блокировки по второй гармонике выдержка времени МТЗ не отстраивается от длительности броска тока намагничивания.

Чтобы МТЗ работала селективно, нужно отстраиваться от времени

срабатывания предыдущих защит, в данном случае это вводной автомат на стороне 0,4 кВ, где время его срабатывания $t_{с.з.} = 0,5$ сек.

По рекомендациям на терминалы БМРЗ-102-ТР-01, применяется временная ступень селективности $\Delta t = 0,3$ сек.

В результате время срабатывания МТЗ определяется по формуле:

$$t_{ср.МТЗ.тр.} = t_{ср.перд.з.} + \Delta t_{БМРЗ}. \quad (78)$$

И будет равно:

$$t_{ср.МТЗ.тр.} = 0,5 + 0,3 = 0,8 \text{ с.}$$

Рассчитаем ток срабатывания МТЗ первого трансформатора КТП №1 с условием отстройки от самозапуска двигателей нагрузки ток срабатывания защиты МТЗ равен:

$$I_{МТЗ \text{ с.з.}} = 1,2 \cdot 2 \cdot \frac{0,7 \cdot 1728}{0,95} = 3055,83 \text{ А.}$$

По условию отстройки тока перегрузки при действии АВР трансформаторов ток срабатывания МТЗ:

$$I_{МТЗ \text{ с.з.}} = 1,2 \cdot \frac{1753 \cdot 2 + 1,5 \cdot 1728}{0,95} = 7702,74 \text{ А.}$$

По условию согласования с вводным автоматом ток срабатывания МТЗ:

$$I_{МТЗ \text{ с.з.}} = 1,2 \cdot 6000 = 7800 \text{ А.}$$

Отстройки МТЗ от разных токов указаны в таблице 60.

Таблица 60 – значения МТЗ цеховых трансформаторов

Номер КТП	Трансформаторы	Отстройка от самозапуска $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ А}$	Отстройка от АВР $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ А}$	Отстройка от АВ $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ А}$	Принятый ток срабатывания $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ А}$	Время срабатывания $t_{\text{ср.МТЗ.тр.}}, \text{ с}$
1	2	3	4	5	6	7
КТП №1	ТМГ-630/10 №1	3055,83	7800	7702,74	7800	0,8
	ТМГ-630/10 №2	3100,04	7800	7686,95	7800	0,8
КТП №2	ТМГ-250/10 №1	2654,4	5200	6600,63	6600	0,8
	ТМГ-250/10 №2	2629,64	5200	6609,47	6600	0,8
КТП №3	ТС 1600/10 №1	4767,66	7800	11883,79	11880	0,8
	ТС 1600/10 №2	4742,91	7800	11892,63	11890	0,8

6.2.5 Расчет уставок защиты от перегрузки

Ток срабатывания защиты от перегрузки выбрать из условия возврата защиты при номинальном токе трансформатора по формуле:

$$I_{\text{перегруз.с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot \frac{I_{\text{раб.макс}}}{k_{\text{в}}} \quad (79)$$

Ток срабатывания защиты от перегрузки первого трансформатора КТП №1 равен:

$$I_{\text{перегруз.с.з.}} = 1,2 \cdot \frac{1728}{0,95} = 2182,74 \text{ А.}$$

Выдержку времени защиты от перегрузки выбрать из условия отстройки от времени самозапуска двигателей, питающихся от секций шин 6 - 10 кВ $t_{\text{перегруз.с.з.}}=10 \text{ с.}$

Значения уставок срабатывания защиты от перегрузок всех цеховых трансформаторов указаны в таблице 61.

Таблица 61 – уставки срабатывания защиты от перегрузок.

Номер КТП	Трансформаторы	Ток срабатывания защиты от перегрузок $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ А}$	Выдержка времени срабатывания защиты $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$
1	2	3	4
КТП №1	ТМГ-630/10 №1	2182.74	10
	ТМГ-630/10 №2	2214.32	10
КТП №2	ТМГ-250/10 №1	1896	10
	ТМГ-250/10 №2	1878.32	10
КТП №3	ТС 1600/10 №1	3405.47	10
	ТС 1600/10 №2	3387.79	10

Пересчет тока, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполним с учетом приведения к стороне ВН по формуле:

$$I_{\text{с.з.БМРЗ}} = \frac{I_{\text{с.з.}}}{k_{\text{ТТ}}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ.тр.}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ.тр.}}^{\text{ВН}}}, \quad (80)$$

где $k_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Уставки, вводимые в блок БМРЗ-102-ТР-01, приведены в таблице 62.

Таблица 62 – уставки срабатывания защит трансформаторов

Трансформатор	Обозначение в блоке	Показатель	Значение уставки	
1	2	3	4	
КТП №1 трансформатор №1	ТО			
	S101	Ввод ТО	Введен	
	ТО РТ1	Ток срабатывания ТО без выдержки времени $I_{\text{ТО с.з.}}, \text{ А}$	25,35	
	МТЗ			
	S103	Ввод первой ступени МТЗ	Введен	
	МТЗ РТ1	Ток срабатывания первой ступени МТЗ $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ А}$	14,86	
	МТЗ Т1-1	Выдержка времени первой ступени МТЗ $t_{\text{ср.МТЗ.тр.}}, \text{ с}$	0,8	
	МТЗ Тбл.	Выдержка времени блокировки первой ступени МТЗ, при включении АВ $t_{\text{бл.МТЗ}}, \text{ с}$	0,5	
	Защита от перегрузки			
	S104	Ввод второй ступени МТЗ	Введен	

	MT3 PT2	Ток срабатывания второй ступени MT3 $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ A}$	4,16
	MT3 T3	Выдержка времени второй ступени MT3 $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$	10
КТП №1 трансформатор №2	ТО		
	S101	Ввод ТО	Введен
	ТО PT1	Ток срабатывания ТО без выдержки времени $I_{\text{ТО с.з.}}, \text{ A}$	25,35
	MT3		
	S103	Ввод первой ступени MT3	Введен
	MT3 PT1	Ток срабатывания первой ступени MT3 $I_{\text{MT3 с.з.}}, \text{ A}$	14,86
	MT3 T1-1	Выдержка времени первой ступени MT3 $t_{\text{ср. MT3.тр.}}, \text{ с}$	0,8
	MT3 Тбл.	Выдержка времени блокировки первой ступени MT3, при включении АВ $t_{\text{бл. MT3}}, \text{ с}$	0,5
	Защита от перегрузки		
	S104	Ввод второй ступени MT3	Введен
	MT3 PT2	Ток срабатывания второй ступени MT3 $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ A}$	4,22
	MT3 T3	Выдержка времени второй ступени MT3 $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$	10
КТП №2 трансформатор №1	ТО		
	S101	Ввод ТО	Введен
	ТО PT1	Ток срабатывания ТО без выдержки времени $I_{\text{ТО с.з.}}, \text{ A}$	13,05
	MT3		
	S103	Ввод первой ступени MT3	Введен
	MT3 PT1	Ток срабатывания первой ступени MT3 $I_{\text{MT3 с.з.}}, \text{ A}$	12,57
	MT3 T1-1	Выдержка времени первой ступени MT3 $t_{\text{ср. MT3.тр.}}, \text{ с}$	0,8
	MT3 Тбл.	Выдержка времени блокировки первой ступени MT3, при включении АВ $t_{\text{бл. MT3}}, \text{ с}$	0,5
	Защита от перегрузки		
	S104	Ввод второй ступени MT3	Введен
	MT3 PT2	Ток срабатывания второй ступени MT3 $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ A}$	3,61
	MT3 T3	Выдержка времени второй ступени MT3 $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$	10
КТП №2 трансформатор №2	ТО		
	S101	Ввод ТО	Введен
	ТО PT1	Ток срабатывания ТО без выдержки времени $I_{\text{ТО с.з.}}, \text{ A}$	13,05

	МТЗ		
	S103	Ввод первой ступени МТЗ	Введен
	МТЗ РТ1	Ток срабатывания первой ступени МТЗ $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ A}$	12,57
	МТЗ Т1-1	Выдержка времени первой ступени МТЗ $t_{\text{ср.МТЗ.тр.}}, \text{ с}$	0,8
	МТЗ Тбл.	Выдержка времени блокировки первой ступени МТЗ, при включении АВ $t_{\text{бл.МТЗ}}, \text{ с}$	0,5
	Защита от перегрузки		
	S104	Ввод второй ступени МТЗ	Введен
	МТЗ РТ2	Ток срабатывания второй ступени МТЗ $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ A}$	3,58
	МТЗ Т3	Выдержка времени второй ступени МТЗ $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$	10
	КТП №3 трансформатор №1	ТО	
S101		Ввод ТО	Введен
ТО РТ1		Ток срабатывания ТО без выдержки времени $I_{\text{ТО с.з.}}, \text{ A}$	48,15
МТЗ			
S103		Ввод первой ступени МТЗ	Введен
МТЗ РТ1		Ток срабатывания первой ступени МТЗ $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ A}$	22,63
МТЗ Т1-1		Выдержка времени первой ступени МТЗ $t_{\text{ср.МТЗ.тр.}}, \text{ с}$	0,8
МТЗ Тбл.		Выдержка времени блокировки первой ступени МТЗ, при включении АВ $t_{\text{бл.МТЗ}}, \text{ с}$	0,5
Защита от перегрузки			
S104		Ввод второй ступени МТЗ	Введен
МТЗ РТ2		Ток срабатывания второй ступени МТЗ $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ A}$	6,49
МТЗ Т3		Выдержка времени второй ступени МТЗ $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$	10
КТП №3 трансформатор №1		ТО	
	S101	Ввод ТО	Введен
	ТО РТ1	Ток срабатывания ТО без выдержки времени $I_{\text{ТО с.з.}}, \text{ A}$	48,15
	МТЗ		
	S103	Ввод первой ступени МТЗ	Введен
	МТЗ РТ1	Ток срабатывания первой ступени МТЗ $I_{\text{МТЗ с.з.}}, \text{ A}$	22,65
	МТЗ Т1-1	Выдержка времени первой ступени МТЗ $t_{\text{ср.МТЗ.тр.}}, \text{ с}$	0,8
	МТЗ Тбл.	Выдержка времени блокировки первой ступени МТЗ, при включении АВ $t_{\text{бл.МТЗ}}, \text{ с}$	0,5

Защита от перегрузки		
S104	Ввод второй ступени МТЗ	Введен
МТЗ РТ2	Ток срабатывания второй ступени МТЗ $I_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ A}$	6,45
МТЗ Т3	Выдержка времени второй ступени МТЗ $t_{\text{перегруз.с.з.}}, \text{ с}$	10

6.3 Выбор системы подключения ТТ и ТН

Согласно ПУЭ [14] в сетях 6-10 кВ рекомендуется применение трехрелейной схемы, так как она обеспечивает повышение чувствительности при двухфазных КЗ за трансформаторами 6(10)/0,4 кВ со схемами соединения звезда-треугольник и при однофазных КЗ за трансформатором со схемой звезда-звезда.

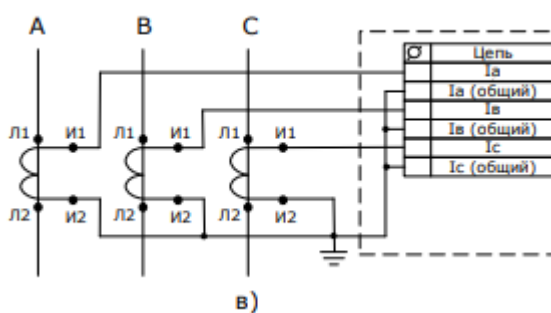


Рисунок 14 – трехфазная трехрелейная схема подключения ТТ

Выбор такой схемы подключения защит так же позволит выполнять расчет тока нулевой последовательности из фазных токов.

6.4 Выбор системы оперативного тока

Схема питания должна обеспечить возможность подключения каждого потребителя к нескольким источникам оперативного тока. От надежности этой схемы зависит общая надежность работы потребителя оперативного тока.

Для организации системы оперативного постоянного тока используем шкафы оперативного постоянного тока (ШОТ). Преимуществами шкафного исполнения является удобство обслуживания, осмотра и ремонта при эксплуатации, компактность, относительно небольшая стоимость.

Шкаф оперативного тока - низковольтное комплектное устройство, включающее в себя зарядные устройства, аккумуляторную батарею и распределительное устройство постоянного тока. Питание обеспечим шин, подключенных к АБ через DC/AC преобразователь.

6.5 Автоматика на КТП

Для организации цепей вторичной коммутации комплектных трансформаторных подстанций напряжением 0,4 кВ выполненных на постоянном оперативном токе напряжением =220 В, будем применять блоки БМРЗ-0,4. Перечень применяемых устройств РЗА на КТП указан в таблице 64.

Таблица 63 – перечень применяемых микропроцессорных устройств РЗА

Номер КТП	Трансформаторы	Наименование применяемого цифрового устройства
1	2	3
КТП №1	Рабочий ввод 0.4 кВ	БМРЗ-0,4ВВ-10-23
	Секционный выключатель	БМПА-0,4-10-04
КТП №2	Рабочий ввод 0.4 кВ	БМРЗ-0,4ВВ-10-23
	Секционный выключатель	БМПА-0,4-10-04
КТП №3	Рабочий ввод 0.4 кВ	БМРЗ-0,4ВВ-10-23
	Секционный выключатель	БМПА-0,4-10-04

Данные блоки РЗА позволяют выполнять функции релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации присоединений. Блок устанавливается в релейных отсеках распределительных устройств или на панелях КТП и в шкафах, в релейных залах и пультах управления

Блок представляет собой комбинированное многофункциональное устройство, выполняющее различные функции защиты, измерения, контроля, автоматики, сигнализации, местного и дистанционного управления. Использование в блоке аналого-цифровой и микропроцессорной элементной базы обеспечивает высокую точность измерений и постоянство характеристик, что позволяет существенно повысить чувствительность и быстродействие защит, а также уменьшить ступени селективности. Алгоритмы функций защиты и

автоматики, а также интерфейсы для внешних соединений блока, разработаны по техническим требованиям к системам РЗА.

6.5.1 Автоматическое включение резерва

Автоматика АВР СВ обеспечивает двустороннее автоматическое включение резервного питания КТП при исчезновении напряжения на одном из вводов. Функция АВР СВ выполняется совместными действиями двух БМРЗ-0,4ВВ. БМРЗ-0,4ВВ выполняет следующие функции:

- контролирует напряжения U_{A0} , U_{B0} , U_{C0} на секции и напряжение ввода $U_{ВВ}$;
- контролирует состояние выключателя ввода и секционного выключателя;
- формирует команды управления выключателем ввода и секционным выключателем;
- контролирует параметры напряжения на секции и формирует сигнал "Разреш. АВР" для БМРЗ-0,4ВВ соседней секции.

Структурная схема АВР СВ приведена на рисунке 15.

Пуск АВР СВ происходит при снижении напряжения ввода $U_{ВВ}$ от 25 % номинального напряжения. Необходимыми условиями пуска является: включенное положение выключателя ввода, отключенное положение секционного выключателя, а также наличие сигналов "Разреш. АВР" (от БМРЗ-0,4ВВ соседней секции) и "АВР СВ вкл-н". После отработки выдержки времени $T_{АВР}$ выдается команда на отключение выключателя ввода.

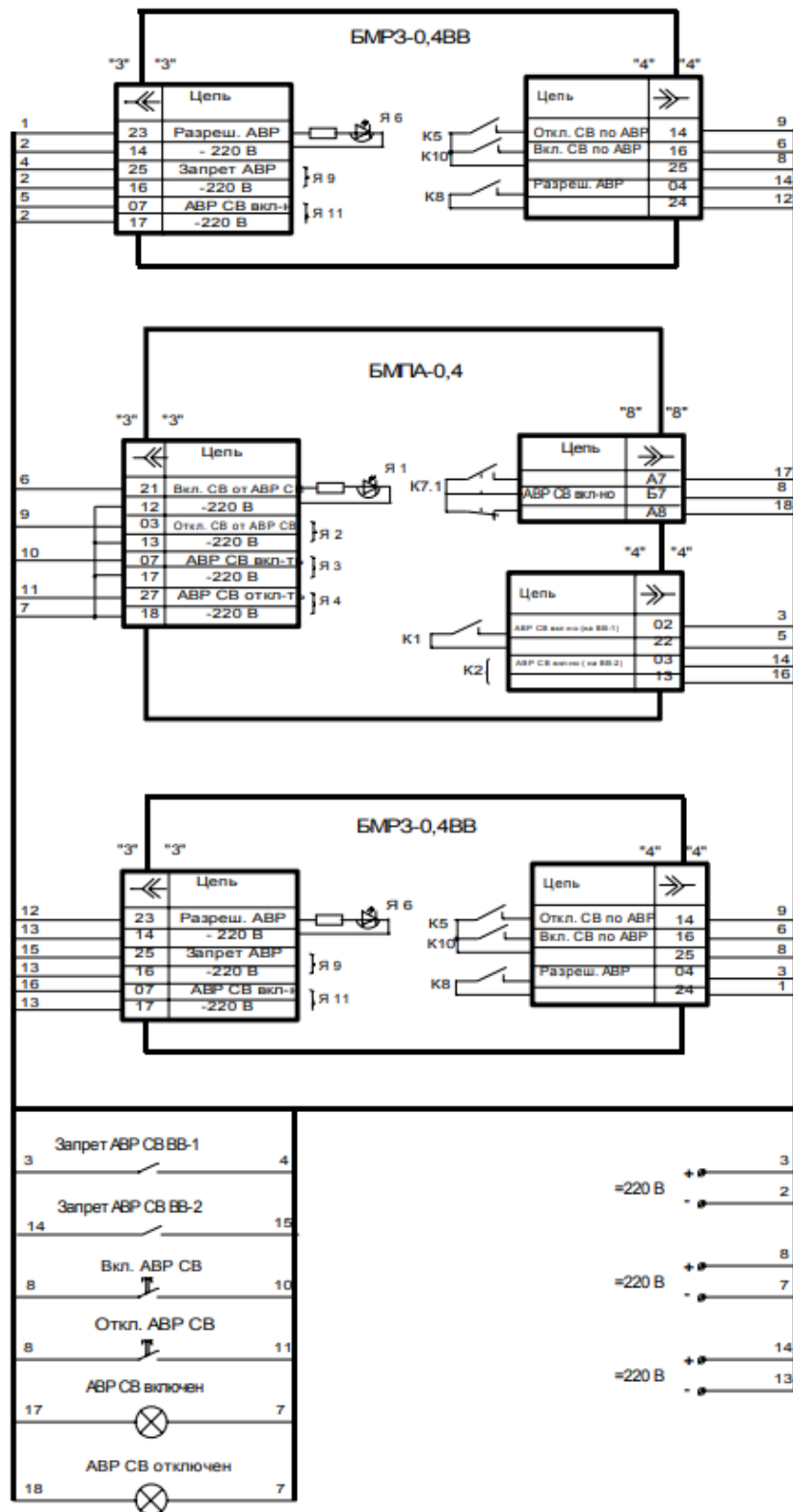


Рисунок 15 – Структурная схема АВР СВ, реализованная через блоки БМРЗ

Команда на включение секционного выключателя выдается с задержкой равной 50 мс. после отключения выключателя ввода, если напряжение на секции составляет менее 25 % от номинального напряжения и отсутствии блокировок АВР СВ.

Работа АВР СВ блокируется:

- при отключении выключателя ввода функциями защиты, кроме защиты от перегрева трансформатора;
- дискретным сигналом "Запрет АВР";
- при отсутствии входных дискретных сигналов "АВР СВ вкл-н" или "Разреш. АВР";
- при отключении выключателя рабочего ввода по команде оператора;
- при неисправности блока или выключателя.

6.5.2 Сигнализация

Блок обеспечивает следующие виды сигнализации:

- индикаторную;
- дискретными сигналами (выходными реле);
- по последовательным каналам.

Представление информации, передаваемой по последовательным каналам, определяется программным обеспечением АСУ или информационно-управляющего комплекса (КИУ РЗА).

Блок формирует выходные дискретные сигналы следующих групп:

- сигналы обобщенной сигнализации;
- индикация положения выключателя.

Блок формируют сигналы обобщенной сигнализации "Авар. откл.", "Вызов", "Срабатыв. автом." и сигналы системы диагностики "Неисправн. ЦУ", "Неиспр. БМРЗ", "Отказ БМРЗ".

6.6 Организация измерения и учета электроэнергии

Для обеспечения технического учета электроэнергии на вводе в РУ-0,4кВ проектируемых КТП устанавливается электросчетчик, обеспечивающий учет активной и реактивной электроэнергии (мощности).

7 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проблема надежности в электроэнергетике является одной из ключевых. В данной примере надежность определяет безопасные условия труда и объемы выработки. Обеспечение высокой надежности электроэнергетических объектов и систем является основным требованием к любому проекту.

Проанализируем надежность спроектированной системы. Для этого воспользуемся Аналитическим методом анализа надежности системы.

Данный метод позволяет количественно оценить надежность электрической схемы любой сложности. Он основан на композиции системного анализа и теории вероятностей. Его сущность заключается в определении количественных вероятностных значений показателей надежности.

В качестве примера рассчитаем вероятность безотказной работы потребителя 1-1. Для этого составим расчетную схему (рисунок 16) и ее схему замещения (рисунок 17). Исходные данные для расчета указаны в таблице 64.

Таблица 64 – Исходные данные для расчета надежности

Элемент	Интенсивность отказов $\lambda_0 \frac{1}{\text{год}}$	Протяженность l , км	Время восстановления t_v , ч	Интенсивность преднамеренных отключений $\lambda_{пр} \frac{1}{\text{год}}$	Время преднамеренных отключений $t_{пр}$, ч
T1	0,00438	-	25	0,2	48
T2	0,00438	-	25	0,2	48
Q1	0,015	-	6	0,1	6
Q2	0,015	-	6	0,1	6
Q3	0,015	-	6	0,1	6
Ш 1	0,01	0,1	10	0,02	2
Q4	0,0083	-	6	0,1	6
Кл1	0,1	0,005	12	0,01	3
Ш 2	0,01	0,06	10	0,02	2
Q5	0,0083	-	6	0,1	6
Кл2	0,1	0,008	12	0,01	3
ППН 1	0,05	-	4,5	-	-
КЛ 3	0,1	0,01	12	0,01	3

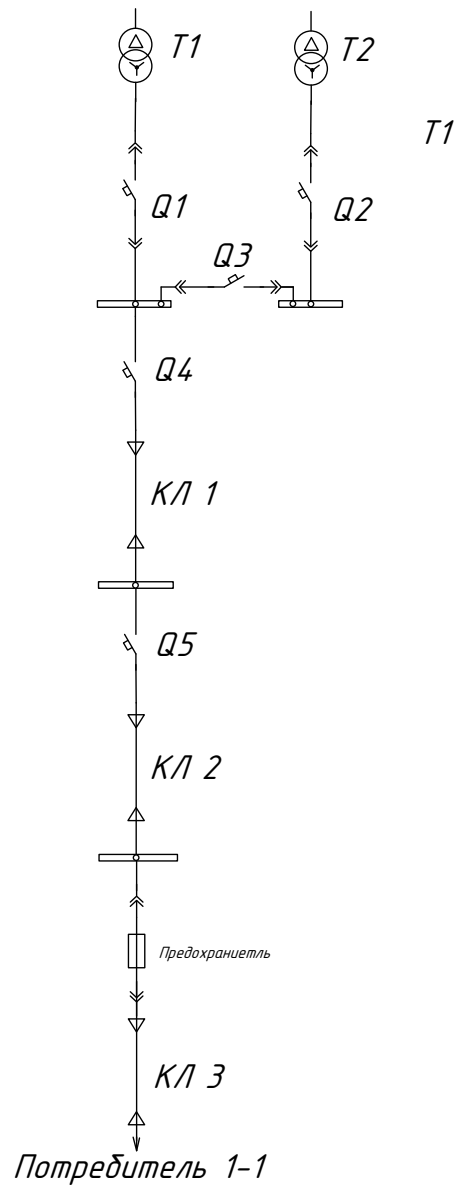


Рисунок 16 – Расчетная схема электроснабжения

Определим параметры потока отказов цепи, учитывая их преднамеренные отключения, пользуясь следующей формулой:

$$\lambda_c = \sum_1^n \lambda_i + \lambda_{\text{пр.нб}} \quad (81)$$

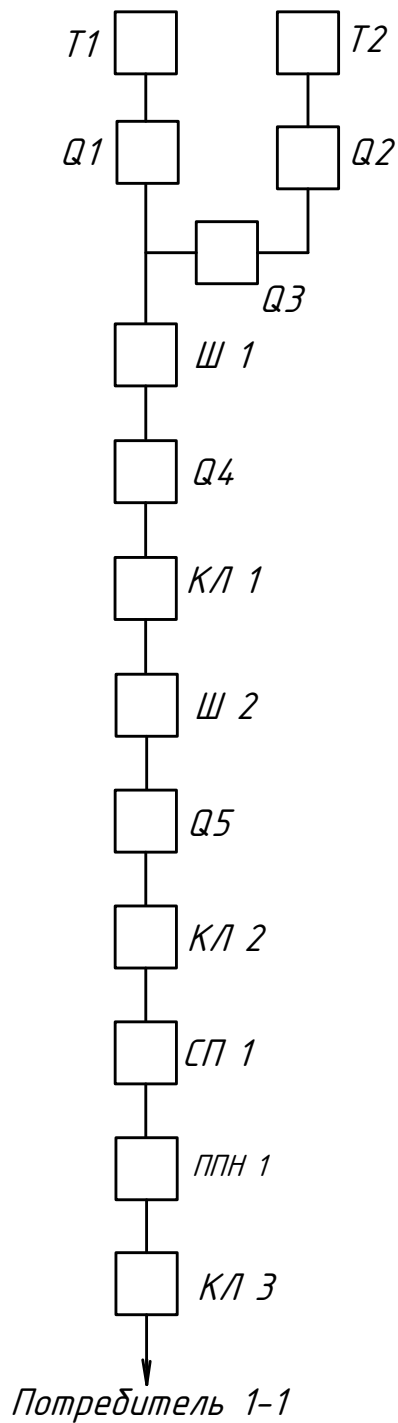


Рисунок 17 – схема замещения расчетного участка сети

Параметр потока отказов участка сети, подключенного в параллель, будет равен:

$$\lambda_{\text{парал}} = \frac{(0,00438 + 0,015 + 0,015) \cdot (0,00438 + 0,015)}{0,00438 + 0,015 + 0,015 + 0,00438 + 0,015} = 0,01239$$

Преобразованная схема замещения изображена на рисунке 18.

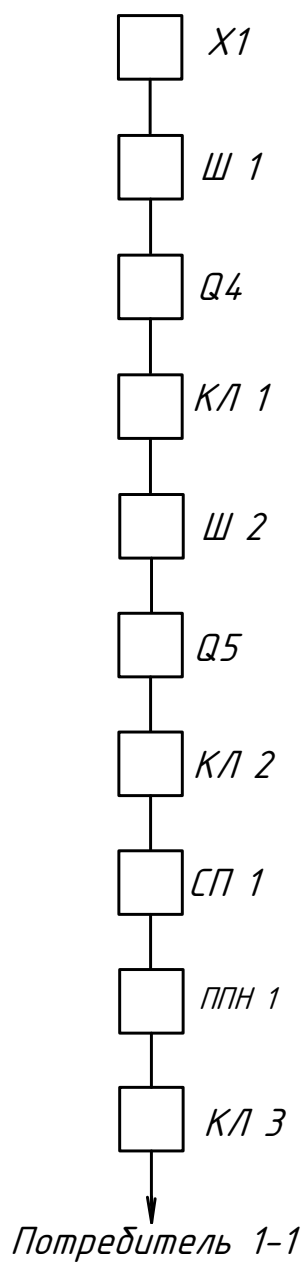


Рисунок 18 – Преобразованная схема замещения

Параметр потока отказов всего участка будет равен:

$$\lambda_c = 0,1239 + 0,01 \cdot 2 \cdot 0,16 + 0,0083 \cdot 2 + 0,011 \cdot 3 \cdot 0,023 + 0,05 + 0,1 = 0,168 \text{ 1/год.}$$

Определим вероятность отказа участка цепи по формуле:

$$q_c = \sum_1^n \lambda_i \cdot t_{Bi}; \quad (82)$$

$$q_c = \frac{(0,00438 \cdot \frac{25}{8760} + 0,015 \cdot \frac{6}{8760} + 0,015 \cdot \frac{6}{8760}) \cdot (0,00438 \cdot \frac{25}{8760} + 0,015 \cdot \frac{6}{8760})}{0,00438 \cdot \frac{25}{8760} + 0,015 \cdot \frac{6}{8760} + 0,015 \cdot \frac{6}{8760} + 0,00438 \cdot \frac{25}{8760} + 0,015 \cdot \frac{6}{8760}} + 0,01 \cdot 0,1 \cdot \frac{10}{8760} + 0,0083 \cdot \frac{6}{8760} + 0,011 \cdot 0,005 \cdot \frac{12}{8760} + 0,01 \cdot 0,06 \cdot \frac{10}{8760} + 0,0083 \cdot \frac{6}{8760} + 0,011 \cdot 0,008 \cdot \frac{12}{8760} + 0,05 \cdot \frac{4,5}{8760} + 0,011 \cdot 0,005 \cdot \frac{12}{8760} = 0,05 \cdot 10^{-3}$$

Определим среднее время восстановления исследуемого участка по формуле:

$$t_{\text{Вср.}} = \frac{q_c}{\lambda_c - \lambda_{\text{пр.нб}}}; \quad (83)$$

$$t_{\text{Вср.}} = \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,168 - 0,1} = 6,75 \text{ ч.}$$

Вероятность отказов для других участков идентична вероятности отказов рассмотренного участка, так как элементы цепи имеют те же показатели надежности.

8 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

8.1 Безопасность

8.1.1 Электробезопасность

На производстве система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Мероприятия по технике безопасности разрабатываются отделом охраны труда предприятия.

Основными причинами воздействия тока на человека является:

- 1) случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние токоведущим частям оборудования;
- 2) результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
- 3) шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания или обрыва провода.

Помещение цеха является помещением с повышенной опасностью, так как в нём токопроводящий бетонный пол и есть возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям здания, технологическому оборудованию с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования с другой [10].

Для обеспечения безопасной эксплуатации, электрооборудование должно быть установлено в соответствии с требованиями СНиП III-И.6-62* «Электротехнические устройства. Правила организации и производства работ. Приемка в эксплуатацию» и «Правила устройства электроустановок», ГОСТ 12.2.009-99.

Все РП, СП, ЩО, ГЩО и так далее, должны иметь чёткие надписи, указывающие электроприёмник, к которому они относятся [11].

8.1.2 Организационные и технические мероприятия

Работы в действующих электроустановках должны проводиться с соблюдением организационных и технических мероприятий.

Основным организационным мероприятием, осуществляемым до начала работ, является оформление разрешения на проведение работ, в котором определяются условия по обеспечению безопасности работающих.

Правилами установлено три вида разрешения на проведение работ в действующих электроустановках: наряд, распоряжение, разрешение в порядке текущей эксплуатации.

Наряд - это задание на производство работы, оформленное на специальном бланке установленной формы и определяющее содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность выполнения работы, и пр.

Распоряжение — это задание на производство работы, определяющее ее содержание, место, время, меры безопасности (если они требуются) и лиц, которым поручено ее выполнение. Распоряжение может быть передано непосредственно или с помощью средств связи с последующей записью в оперативном журнале.

Работники, принимаемые для выполнения работы в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены в специализированных центрах подготовки персонала.

Категории работ, проводимых в действующих электроустановках. Правила устанавливают четыре категории работ: при полном снятии напряжения; при частичном снятии напряжения; выполняемые на токоведущих частях, находящихся под напряжением или вблизи них; выполняемые без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Эти работы должны выполнять не менее двух человек: старший - не ниже IV группы, остальные - не ниже III. В электроустановках выше 1 кВ необходимо применять электрозащитные средства: изолирующие штанги и клещи,

электроизмерительные клещи, указатели напряжения. В электроустановках до 1000 В следует: оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением; работать в галошах или стоя на изолирующей подставке либо на диэлектрическом коврике; применять инструмент с изолирующими рукоятками, а при его отсутствии пользоваться диэлектрическими перчатками.

Производитель работ отвечает за безопасность членов бригады, а также за исправность инструмента, такелажа и другой ремонтной оснастки. Производителями работ в установках выше 1000 В назначаются лица с квалификационной группой V или IV, в электроустановках до 1000 В - не ниже III. Для работ, выполняемых в электроустановках любого напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, по распоряжению производителя работ могут назначаться лица с квалификационной группой не ниже III.

При проведении неотложных работ производитель работ из числа оперативного персонала, выполняющий работу или осуществляющий наблюдение за работающими в электроустановках напряжением выше 1000 В, должен иметь IV, а в электроустановках напряжением до 1000В – группу III.

Члены бригады, работающие в электроустановках напряжением до и выше 1000В, должны иметь группу III.

К работам, выполняющим в порядке текущей эксплуатации согласно перечню, относятся небольшие по объему виды работ, выполняемые в течении рабочей смены и разрешенные к производству в порядке текущей эксплуатации, должны содержаться в заранее разработанном и подписанном техническим руководителем или ответственным за электрохозяйства, утвержденным руководителем организации перечне работ. При этом должны быть соблюдены следующие требования:

- работа в порядке текущей эксплуатации (перечень работ) распространяется только на электроустановки напряжением до 1000В;

- работа выполняется силами оперативного или оперативно-ремонтного персонала на закрепленном за этим персоналом оборудованием, участке.

Подготовка рабочего места осуществляется теми же работниками, которые в дальнейшем выполняют необходимую работу.

К работам, выполняемым в порядке текущей эксплуатации в электроустановках напряжением до 1000В, могут быть отнесено:

- работы в электроустановках с односторонним питанием;
- отсоединение, присоединение кабеля, проводов электродвигателя, другого оборудования;
- ремонт вспомогательных пускателей, рубильников, контакторов, пусковых кнопок, другой аналогичной пусковой и коммутационной аппаратуры при условии установки ее вне щитков и сборок;
- ремонт отдельных электроустановок;
- ремонт отдельно расположенных магнитных станций и блоков управления, уход за щеточным аппаратом электрических машин;
- снятие и установка электросчетчиков, других приборов и средств измерений;
- замена предохранителей, ремонт осветительной электропроводки, арматуры, замена ламп и чистка светильников, расположенных на высоте более 2,5 м и другие работы.

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

- установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);

- вывешены указательные плакаты «заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

8.1.3 Требования к персоналу

Работники, принимаемые для выполнения работы в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены в специализированных центрах подготовки персонала (учебных комбинатах, учебно – тренировочных центрах и т.п.).

Электрический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемами освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях.

Работники, обладающие правом проведения специальных работ, должны иметь об этом запись в удостоверении (верхолазные работы, работы под напряжениями на токоведущих частях, чистка, обмыв и замена изоляторов, ремонт проводов, контроль измерительной штангой изоляторов и содержательных зажимов, связка тросов, испытания оборудования повышенной напряженности, за исключением работ с мегаомметром).

Единоличный осмотр электроустановок, электротехнической части технологического оборудования может выполнять работник имеющий группу не ниже III, из числа оперативного персонала, обслуживающего данную электроустановку в рабочее время или находящегося на дежурстве, либо работник из числа административно – технического персонала, имеющий группу V, для электроустановок напряжением выше 1000 В, и работник, имеющий группу IV – для электроустановок напряжением до 1000В и право единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации.

При осмотре электроустановок, напряжением выше 1000 В не допускается входить в помещения, камеры, не оборудованные ограждениями или барьерами,

препятствующие приближения к токоведущим частям на расстояния менее допустимых правил. Не допускается проникать за ограждения и барьеры электроустановок. Не допускается выполнение какой-либо работы во время осмотра.

При замыкании на землю в электроустановках напряжением 3-35кВ приближается к месту замыкания их расстояние менее 4 м в ЗРУ и менее 8 м – на ОРУ и на ВЛ допускается только для оперативных переключений с целью ликвидации замыкания и освобождения людей, попавших под напряжение. При этом следует пользоваться электрозащитными средствами.

Работа в электроустановках должны проводиться по наряду, распоряжению, перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации. Не допускается самовольное проведение работ, а также расширение рабочих мест и объема задания, определенных нарядом, распоряжением, или утвержденным перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.

Персоналу следует помнить, что после исчезновения напряжения на электроустановке оно может быть подано вновь без предупреждения.

При приближении грозы должны быть прекращены все работы на ВЛ, ВЛС, ОРУ, на вводах и коммутационных аппаратах ЗРУ, непосредственно подключенных к ВЛ, на КЛ, подключенных к участкам ВЛ, а также на вводах ВЛС, в помещениях узлов связи и антенно – мачтовых сооружениях.

8.1.4 Основные и дополнительные средства защиты

При работе в электроустановках необходимо пользоваться электрозащитными средствами, к которым относятся:

- 1) изолирующие штанги всех видов;
- 2) изолирующие клещи;
- 3) указатели напряжения;
- 4) сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные и стационарные;
- 5) устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для

проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля);

- 6) диэлектрические перчатки, галоши, боты;
- 7) диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- 8) защитные ограждения (щиты и ширмы), изолирующие накладки и колпаки;
- 9) ручной изолирующий инструмент;
- 10) переносное заземления;
- 11) плакаты и знаки безопасности;
- 12) специальные средства защиты, устройства и приспособления, изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением на 1кВ и выше;
- 13) гибкие изолирующие покрытия и накладки для работ под напряжением до 1000В;
- 14) лестницы приставные и стремянки изолирующие стеклопластиковые.

Таблица 65 – Нормы комплектования средствами защиты

Наименование средств защиты	РУ напряжением выше 1000 В, кол-во	РУ напряжением до 1000 В, кол-во
1	2	3
Изолирующая штанга (оперативная или универсальная)	2 шт на каждый класс напряжения	По местным условиям
Указатели напряжения	2 шт на каждый класс напряжения	2 шт
Изолирующие клещи (при отсутствии универсальной штанги)	1 шт на каждый класс напряжения (при наличии соответствующих предохранителей)	1 шт
Диэлектрические перчатки	не менее 2 пар	2 пары
Диэлектрические боты (для ОРУ)	1 пара	-
Диэлектрические галоши	-	2 пары
Переносные заземления	Не менее 2 на каждый класс напряжения	По местным условиям
Защитные ограждения (щиты)	Не менее 2 шт	-
Защитные ограждения, изолирующие накладки, переносные плакаты и знаки безопасности	-	По местным условиям
Противогаз изолирующий	2 шт	-
Защитные очки или щитки	2 шт	1 шт
Диэлектрический ковер или изолирующая подставка	-	По местным условиям

8.1.5 Вентиляция

Вентиляцией называется обработка воздуха, замена загрязненного на очищенный воздух, поступающий с улицы в помещение, грязный воздух очищается фильтрами. Температура воздуха, поступающего на рабочие места через открытые ворота, двери или технологические проемы в холодный период года не должна быть ниже 14 °С при легкой физической работе, 12 °С

– при работе средней тяжести, 8 °С – при тяжелой работе, 5 °С – при тяжелой работе и отсутствии постоянных рабочих мест. Для достижения требуемых параметров температуры воздуха открывающиеся ворота, двери и технологические проемы оборудуются воздушными или воздушно-тепловыми завесами.

8.1.6 Расчет санитарно-защитной зоны по шуму для подстанций

Силовые трансформаторы являются характерным источником шума на территории предприятия и населенных мест. В проекте предусмотрено использование трансформаторов с естественной циркуляцией воздуха и масла. Для таких трансформаторов характерен только электромагнитный шум. Электромагнитный шум в ТМ возникает по следующим причинам: магнитострикционный эффект; силы, действующие на витки обмотки ТМ в магнитном поле; силы Максвелла, возникающие в стыках и шиповых соединениях сердечника ТМ.

Определим минимальное расстояние от подстанции до территории, на которой выполняются санитарно-гигиенические требования по шуму, Исходные данные приведены в таблице 66.

Таблица 66 – Исходные данные

№ КТП	Количество трансформаторов, N	Вид системы охлаждения	Типовая мощность трансформатора, кВА	Класс напряжения, кВ	Корректированный уровень звуковой мощности LPA, дБА
1	2	3	4	5	6
1	2	Естественной циркуляцией воздуха и масла	630	10	70
2	2	Естественной циркуляцией воздуха и масла	250	10	65
3	2	Естественная циркуляция воздуха	1600	10	75
4	2	Естественная циркуляция воздуха	400	10	68
5	2	Естественной циркуляцией воздуха и масла	1000	10	73

Нормы шума в рабочих помещениях устанавливает СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". В расчетах принимаем требования, установленные для трудового процесса. Допустимый уровень шума составляет: 80 дБА.

Определяем минимальное расстояние от ПС до рабочего места.

Известно, что если источник шума имеет показатель направленности равный 1, что можно принять для ТМ, и его корректированный уровень звуковой мощности равен L_{WA} , то в любой точке полусферы радиусом R уровень шума создаваемый данным источником будет равным L_A (рисунок 19).

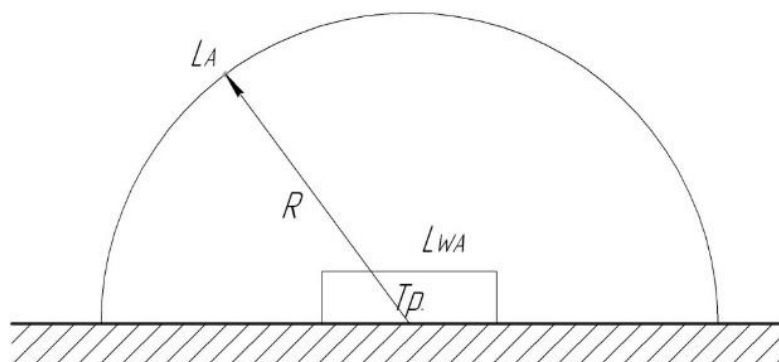


Рисунок 19 – Излучение шума трансформатором

В этом случае в соответствии с ГОСТ 12.1.024-87 справедливо соотношение:

$$L_{WA} = L_A + 10 \lg \frac{S}{S_0}, \quad (84)$$

где S – площадь поверхности полусферы, м^2 ;
 $S_0 = 1\text{м}^2$.

Исходя из последней формулы при оценке шума, создаваемого трансформатором в эксплуатации, уровень звука на заданном расстоянии R от трансформатора можно определить по формуле:

$$L_A(R) = L_{WA} - 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (85)$$

где $S = \pi R^2$.

Чтобы определить минимальное расстояние от источников, расположенных на ПС, до границы жилой застройки по формуле необходимо принять следующие допущения:

- 1) так как расстояние между трансформаторами небольшое то два

источника можно заменить одним. При этом его скорректированный уровень звуковой мощности будет равен:

$$L_{W_{A\Sigma}} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{W_{Ai}}}, \quad (86)$$

где N – количество источников шума (ТМ);

$L_{W_{Ai}}$ – скорректированный уровень звуковой мощности i -го источника шума, дБА;

Уровень звуковой мощности эквивалентного источника для КТП №1 в данных условиях будет равен:

$$L_{W_{A\Sigma}} = 10 \lg \sum_{i=1}^2 10^{0,1 \cdot 70} = 73 \text{ дБА}.$$

2) на границе с рабочими местами уровень звука должен равен допустимому уровню звука $L_A(R) = ДУ_{L_A}$. Тогда $R = R_{min}$.

Исходя из принятых допущений выражение (86) можно переписать в следующем виде:

$$ДУ_{L_A} = L_{W_{A\Sigma}} - 10 \lg \frac{2\pi R_{min}}{S_0} \quad (87)$$

Разрешив последнее уравнение, относительно R_{min} получим минимальное расстояние от источников шума на ПС до рабочей зоны:

$$R_{min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(L_{W_{A\Sigma}} - ДУ_{L_A})}}{2\pi}};$$

$$R_{min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(73-80)}}{2\pi}} = 0,6 \text{ м}.$$

Расстояние от КТП ближайшего рабочего места $R=6$ м. В данном случае реализуется принцип «защита расстоянием».

Для других цеховых подстанций расчеты произведены аналогично и занесены в таблицу 67.

Таблица 67 – результаты расчетов санитарно-защитной зоны по шуму.

№ КТП	Корректированный уровень звуковой мощности L_A , дБА	Допустимый уровень шума, дБА	Уровень звуковой мощности для КТП $L_{WA\Sigma}$, дБА	Минимальное расстояние от источников шума R_{min} , м	Фактическое расстояние от КТП до рабочего места R , м
1	2	3	4	5	6
1	70	80	73	0,18	4,6
2	65	80	68	0,1	3,5
3	75	80	78	0,32	6,3
4	68	80	71	0,14	15
5	73	80	76	0,25	7,7

Все цеховые подстанции удовлетворяют санитарно-защитным требованиям по шуму

8.1.7 Освещение

Освещение на производстве играет важную роль. Правильно подобранное освещение обеспечивает психологический комфорт, снижение количества брака и возможных травм.

На предприятии используется искусственное общее и естественное боковое освещение. Для искусственного освещения используют специальные светильники взрывобезопасные пыле- и влагонепроницаемые.

Для проверки получившейся освещенности при использовании ламп, принятых в расчетной части проекта, воспользуемся методом коэффициента использования:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (88)$$

где Φ – световой поток одного светильника. Для всего цеха выбран светильник СДП61Н-11001Д-П-65 имеет световой поток $\Phi=11000$ лм;

E_H – нормированная минимальная освещенность, лк. Для рабочих процессов на производстве освещенность применяется равной 200 лк, согласно СП 52.13330 «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение» - V разряд зрительных работ.

$K_{зап}$ – коэффициент запаса 1;

S – площадь помещения, м²;

z – коэффициент неравномерности. Для принятых ламп $z=1,1$;

N – количество светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Тогда освещенность, полученная теоретически:

$$E_H = \frac{N \cdot \eta \cdot \Phi}{K_{зап} \cdot S \cdot z}. \quad (89)$$

Расчет произведем на примере одного из участков. На примере механического участка механосборочного цеха.

Площадь помещения механического участка:

$$S = 112,71 \cdot 38,22 = 4307,78 \text{ м.}$$

Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}. \quad (90)$$

Индекс помещения механического цеха согласно плану:

$$i = \frac{112,71 \cdot 38,22}{8,4 \cdot (112,71 + 38,22)} = 3,4.$$

Кроме индекса помещения для нахождения коэффициента использования светового потока необходимо знать коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности. Для чистого бетонного потолка, бетонных стен с окнами и темной расчетной поверхностью принимаем $p_{\text{п}}=70\%$; $p_{\text{с}}=50\%$; $p_{\text{р}}=30\%$. По этим данным определяем коэффициент использования светового потока для механосборочного цеха.

Коэффициент использования светового потока для принятых светодиодных ламп с кривой силы света (КСС) типа «Д» будет равен $\eta = 0,98$.

В соответствии с планом размещения светильников определяем получившуюся освещенность при использовании выбранных ламп:

$$E_{\text{н}} = \frac{11000 \cdot 96 \cdot 0,98}{1 \cdot 4307,78 \cdot 1,1} = 218,4 \text{ лк.}$$

Что удовлетворяет требованиям СП 52.13330 «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение» и превышает минимальное требование по освещенности помещения. $218,4 > 200$.

Аналогично выполняется расчет для всех остальных помещений. Полученные результаты занесены в таблицу 68.

Таблица 68 – Расчет осветительных приборов помещений

Помещение	Площадь помещения S, м ²	Коэффициент неравномерности z	Число светильников N,	Индекс помещения i	Коэффициент использования светового потока η , %	Полученная освещенность $E_{\text{н}}$, лк
1	2	3	4	5	6	7
Механический участок	4307,78	1,1	96	3,4	98	218,4
Термический участок	4219,86	1,1	96	3,35	96	218,4
Сварочный участок	1657,89	1,1	52	1,89	81	254,06
Сборочный участок	1510,78	1,1	48	1,93	82	260,53

8.2 Экологичность

Рассматриваемое в работе производство предусматривает использование самых разнообразных технологических приемов, связанных с обработкой различных материалов, монтажом и сборкой изделий. В процессе производства появляются отрицательные факторы, которые могут влиять как непосредственно на человека, осуществляющего производственный процесс, так и на окружающую среду. В общем случае в производственном процессе могут возникать опасные физические, химические, психофизиологические, биологические и производственные факторы.

При механической обработке могут появиться запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, высокий уровень шума, а при выполнении сварки, резки, пайки металлов — выбросы искр и брызг расплавленного металла.

Термический и сварочный участки завода обладают химически-вредным факторами, к которым относятся газовые выделения при обработке материалов. Кислоты и щелочи, используемые при обработке сплавов, а также аэрозоли нефтяных масел, входящих в состав смазывающе-охлаждающих жидкостей, могут вызывать раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

При сварке осуществляется нагрев до высоких температур и поэтому более легкие, чем окружающий воздух, пары металла, компонентов сварных материалов поднимаются над постом сварки и попадают в зону температур одного порядка с окружающей воздухом, поэтому быстро конденсируется и затвердевают. Образуется твердая фаза частиц сварочной пыли – аэрозоль конденсации. В силу своих мельчайших размеров (иногда меньше 1 микрометра) сварочный аэрозоль беспрепятственно проникает в глубинные отделы легких (легочные альвеолы) и частично остается в их стенках, вызывая профессиональные заболевания.

Для уменьшения концентрации вредных веществ на рабочих местах до предельно допустимых на данном производстве применены местные отсосы: вытяжные панели и фильтро-вытяжные агрегаты, вытяжные шкафы. Задачей вентиляции является обеспечение чистоты воздуха и заданных

метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязнённого или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха. В данное производство необходимо внедрение системы очистки воздуха, удаляемого системами вентиляции и содержащего пыль, вредные или неприятно пахнущие вещества, перед выбросом в атмосферу.

8.3 Чрезвычайные ситуации

8.3.1 Пожарная безопасность

Для обеспечения пожарной безопасности на объекте необходимо соблюдение следующих норм

Сварочные работы должны проводиться в соответствии с типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий. Опасность взрывов возникает при неправильной транспортировке, хранении и использовании баллонов со сжатыми газами, при проведении сварочных работ в различных ёмкостях без предварительного контроля степени их очистки и наличия в них остатков горючих веществ и т. д.

Места, отведенные для проведения сварочных работ, установки оборудования, должны быть очищены от легковоспламеняющихся материалов в радиусе не менее 5м. Сварочные работы вне производственного помещения могут производиться только по согласованию с заводской пожарной охраной.

Запрещается производить сварку свежеокрашенных конструкций до полного высыхания краски, сосудов, аппаратов, трубопроводов коммуникаций, находящихся под напряжением, избыточным давлением, заполненных горючими материалами.

Для защиты от брызг используют спецодежду: брюки, куртку и рукавицы из " брезентовой или специальной ткани.

Опасность взрыва возникает при неправильных условиях хранения и эксплуатации баллонов. Баллоны должны быть тщательно и надежно закреплены во время хранения и эксплуатации. Необходимо принимать меры, предупреждающие перегрев баллона и превышения в нем давления (системы

защиты от перегрева и превышения давления — это термореле и газовый предохранительный клапан).

В целях пожаробезопасности на данном производстве для питания литейного участка предусмотрены сухие трансформаторы. Для питания других цеховых подстанций подобраны герметичные масляные трансформаторы без бака.

Кабельные линии спроектированы с применением кабеля АВВГ, являющимся подходящим вариантом для обустройства электросетей на объектах с повышенными требованиями к пожарной безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте разработана схема внутреннего электроснабжения завода «Амурский металлист». В начале проектирования были определены расчётные нагрузки цехов в целом, по которым выбраны силовые трансформаторы.

Система электроснабжения цехов состоит из КТП, кабельных линий, питающих ЭП и отдельные электроприемники, шинопроводов ШРА, коммутационно-защитной аппаратуры (автоматических выключателей и предохранителей). Проектирование системы внутреннего электроснабжения основывается на общих принципах построения схем внутризаводского распределения электроэнергии. Основными критериями при проектировании являются техническая применимость и экономичность проекта.

Характерной особенностью схем внутризаводского распределения электроэнергии является большая разветвлённость сети и наличие большого количества коммутационно-защитной аппаратуры, что оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели и на надёжность системы электроснабжения. Все выбранное оборудование было проверено на стойкость к токам КЗ и согласованность между собой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баумштейн И.А., Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. Москва Энергия 1999г. стр.652
2. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии, Москва Энергия 2000г. стр.368
3. Двойнова Н.Ф. Производственная безопасность. Южно-Сахалинск Издательство СахГУ 2014г. стр.91
4. Козулин В.С. Рожкова Л. Д.,. - Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов – 2-е издание, перераб. – М.: Энергия, 2001. – 600 с
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
6. Мовсеков Н.С. Справочник по проектированию электроснабжения, Москва Энергия 2000. – 456 с.
7. Околович М. Н. Проектирование электрических станций: Учебник для вузов. М.: Энергоиздат, 2002. – 112 с.
8. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций/ Л.Д.Рожкова, В.С. Козулин - М.: Энергия, 1980.
9. Под общей редакцией профессоров Московского энергетического института «Электротехнический справочник», Москва Энергия 2001. – 216 с.
10. Мищенко О.А., Тищенко В.П. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. -Хабаровск: Изд-во ТОГУ 2014. – 340 с.
11. Правила устройства электроустановок / Госэнергонадзор – 7-е изд., перераб. и доп.-Санкт-Петербург. Издательство ДЕАН, 2007. – 928 с.
12. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 648 с.
13. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические

условия. Введ. 1986-07-01.

14. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2020. – 464 с.

15. Козлов, А.Н. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / сост.: А. Н. Козлов, В. А. Козлов, Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - 4-е изд., испр. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. – 160 с.

16. Козлов, А.Н. Микропроцессорные средства управления [Электронный ресурс]: учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника". Ч.1: Построение основных функций цифровых релейных защит / АмГУ, Эн.ф.; сост. А. Н. Козлов. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. – 54 с.

17. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебник для вузов. / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.

18. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий / А. А. Федоров, Л.Е. Старкова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

19. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение промышленных предприятий: сборник учебно-методических материалов. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 179 с.

20. Кабышев, А. В. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учеб. пособие / А. В. Кабышев, С. Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006, – 248 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Точки КЗ для 1 варианта конфигурации сети

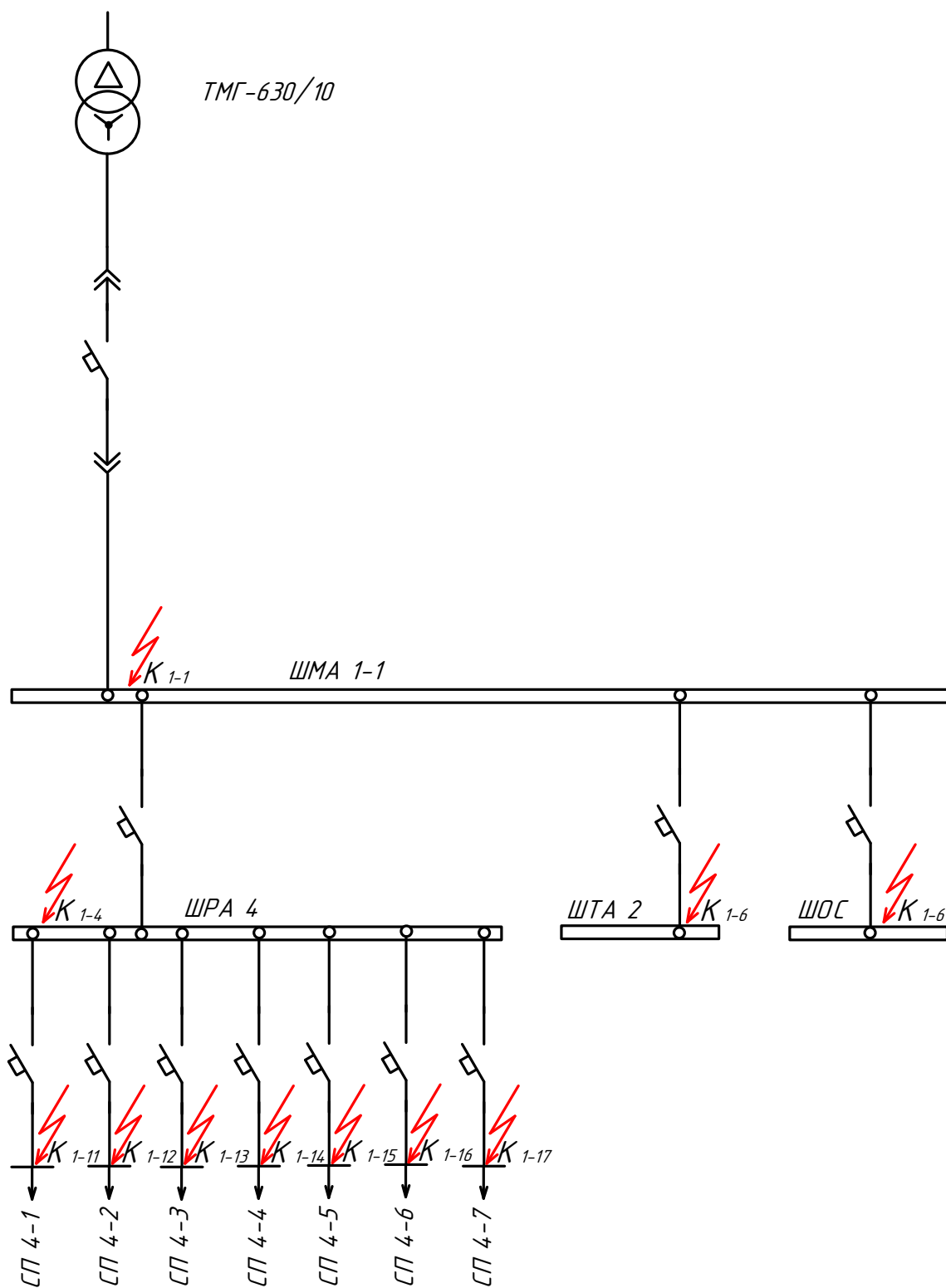


Рисунок А.1 – точки КЗ для первого трансформатора КТП №1

механосборочного цеха

Продолжение Приложения А

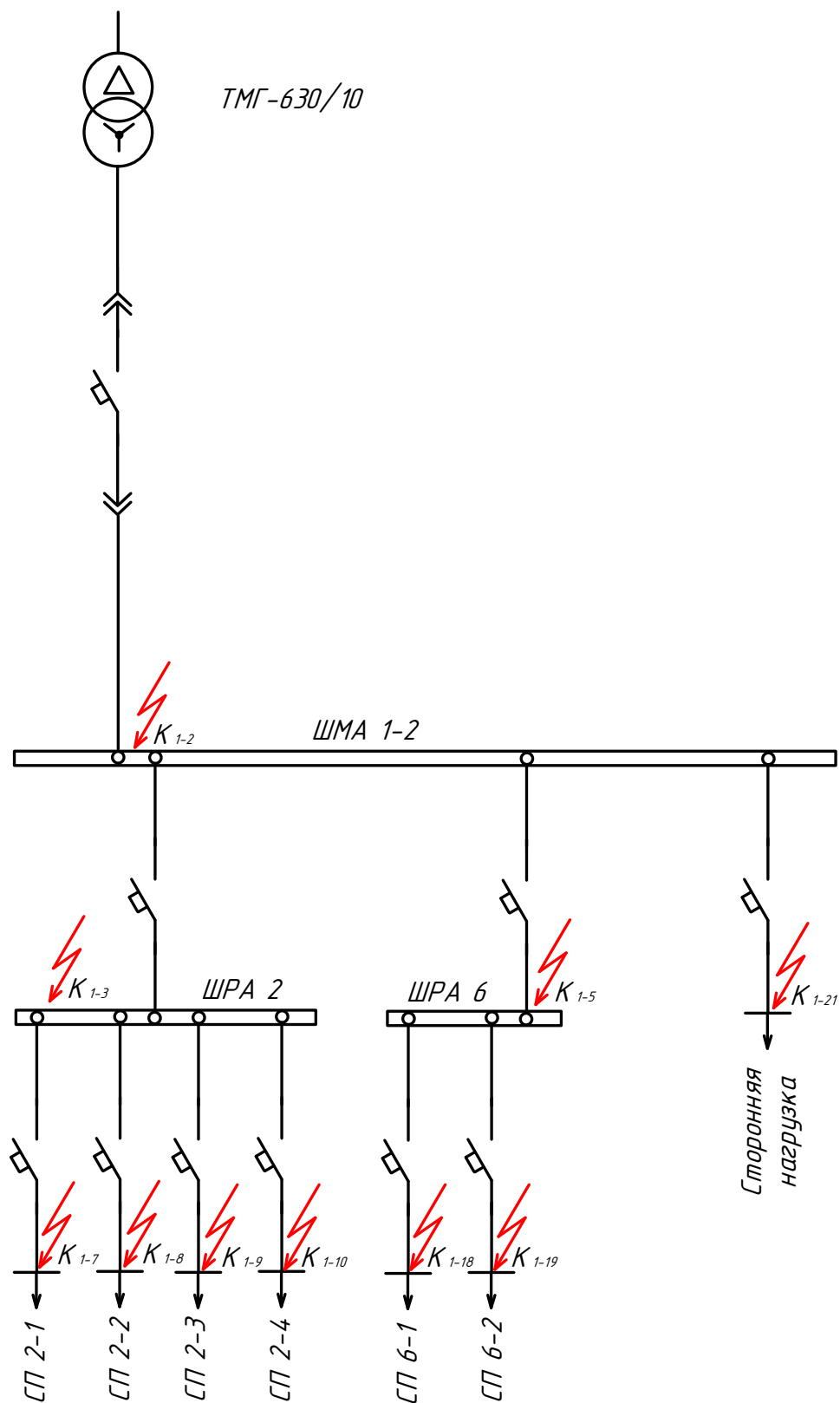


Рисунок А.2 – точки КЗ для второго трансформатора КТП №1
механосборочного цеха

Продолжение Приложения А

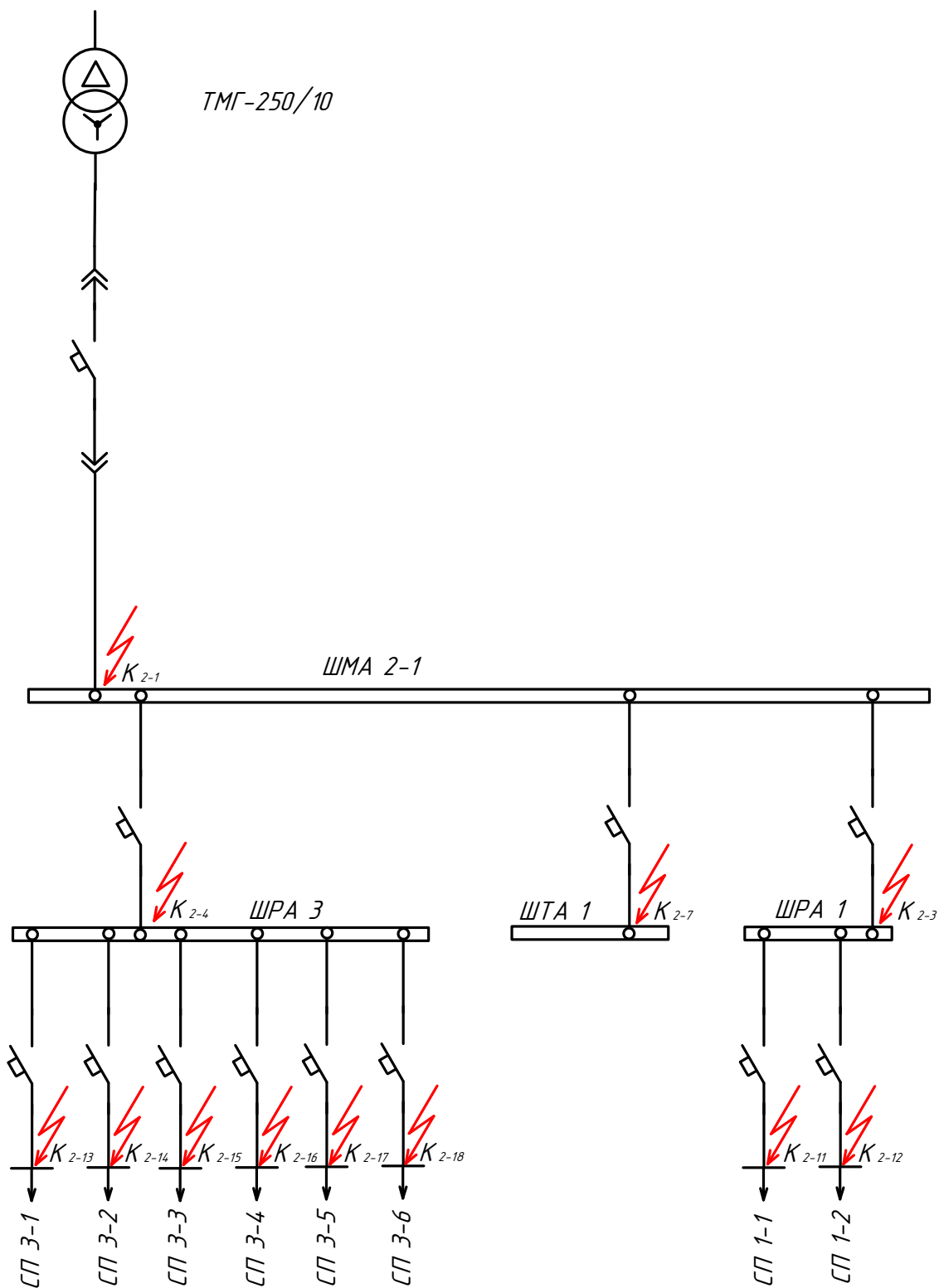


Рисунок А.3 – точки КЗ для первого трансформатора КТП №2
механосборочного цеха

Продолжение Приложения А

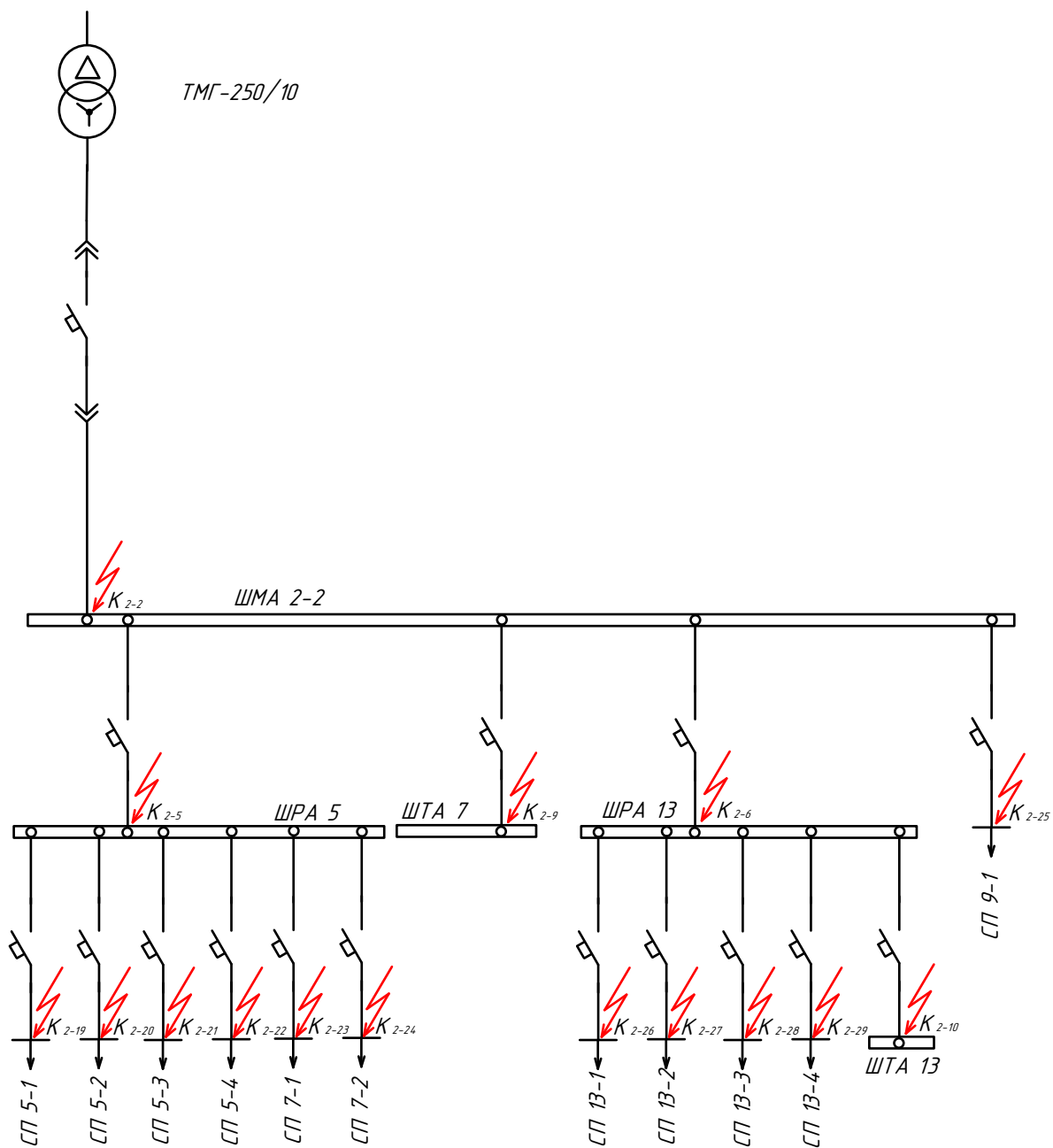


Рисунок А.4 – точки КЗ для второго трансформатора КТП №2
механосборного цеха

Продолжение Приложения А

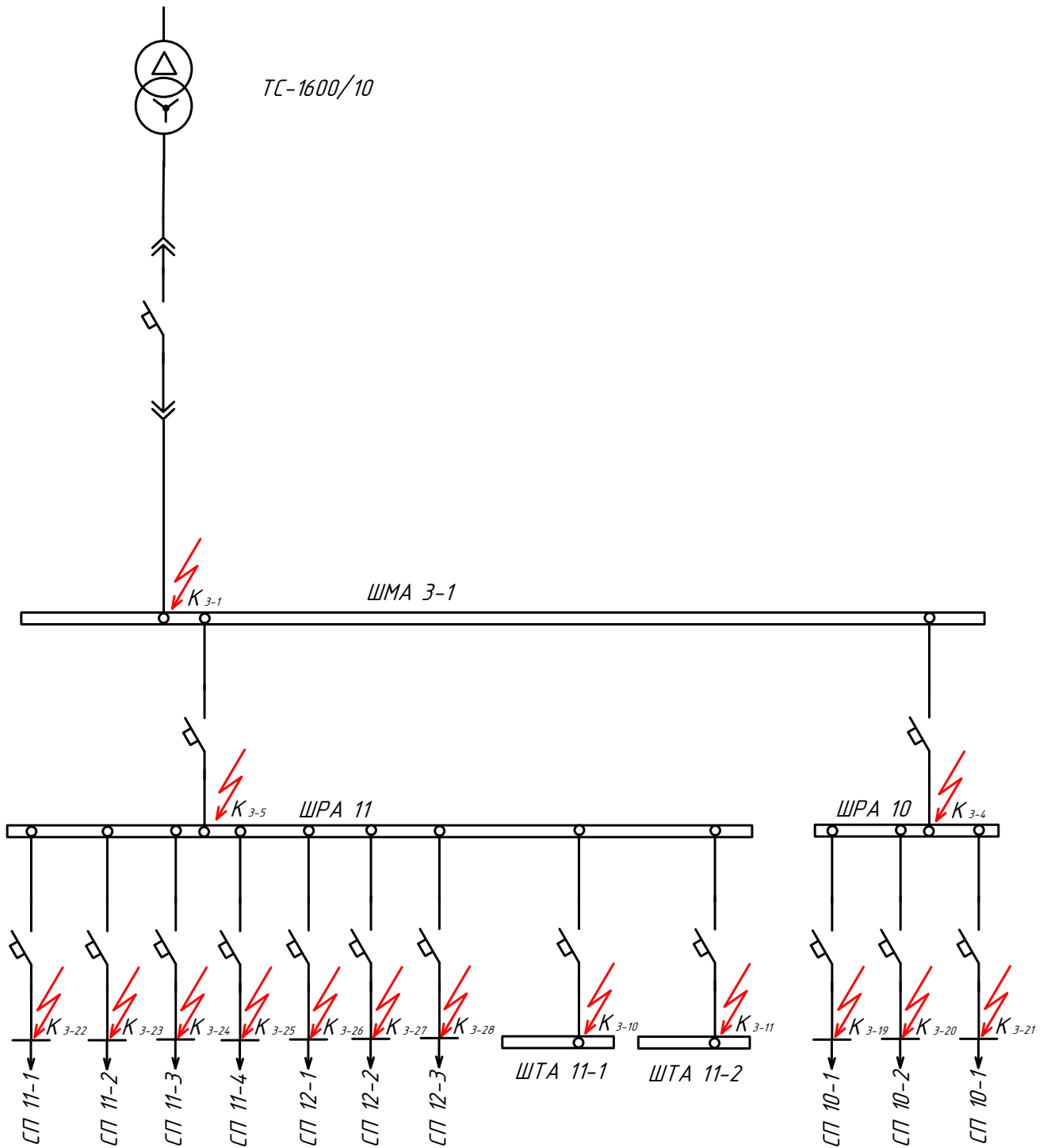


Рисунок А.5 – точки КЗ для первого трансформатора КТП №3
механосборочного цеха

Продолжение Приложения А

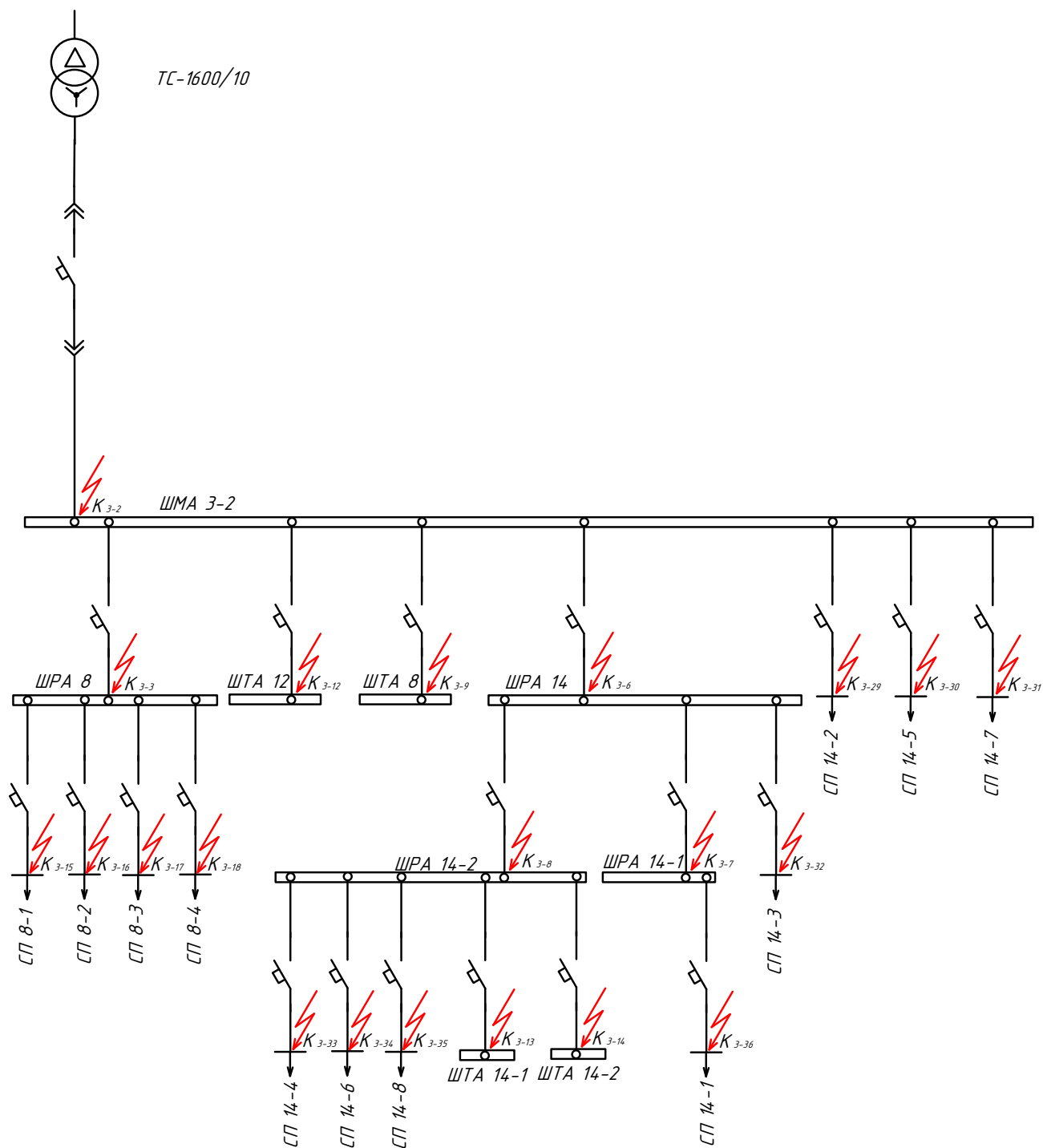


Рисунок А.6 – точки КЗ для второго трансформатора КТП №3
механосборочного цеха

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

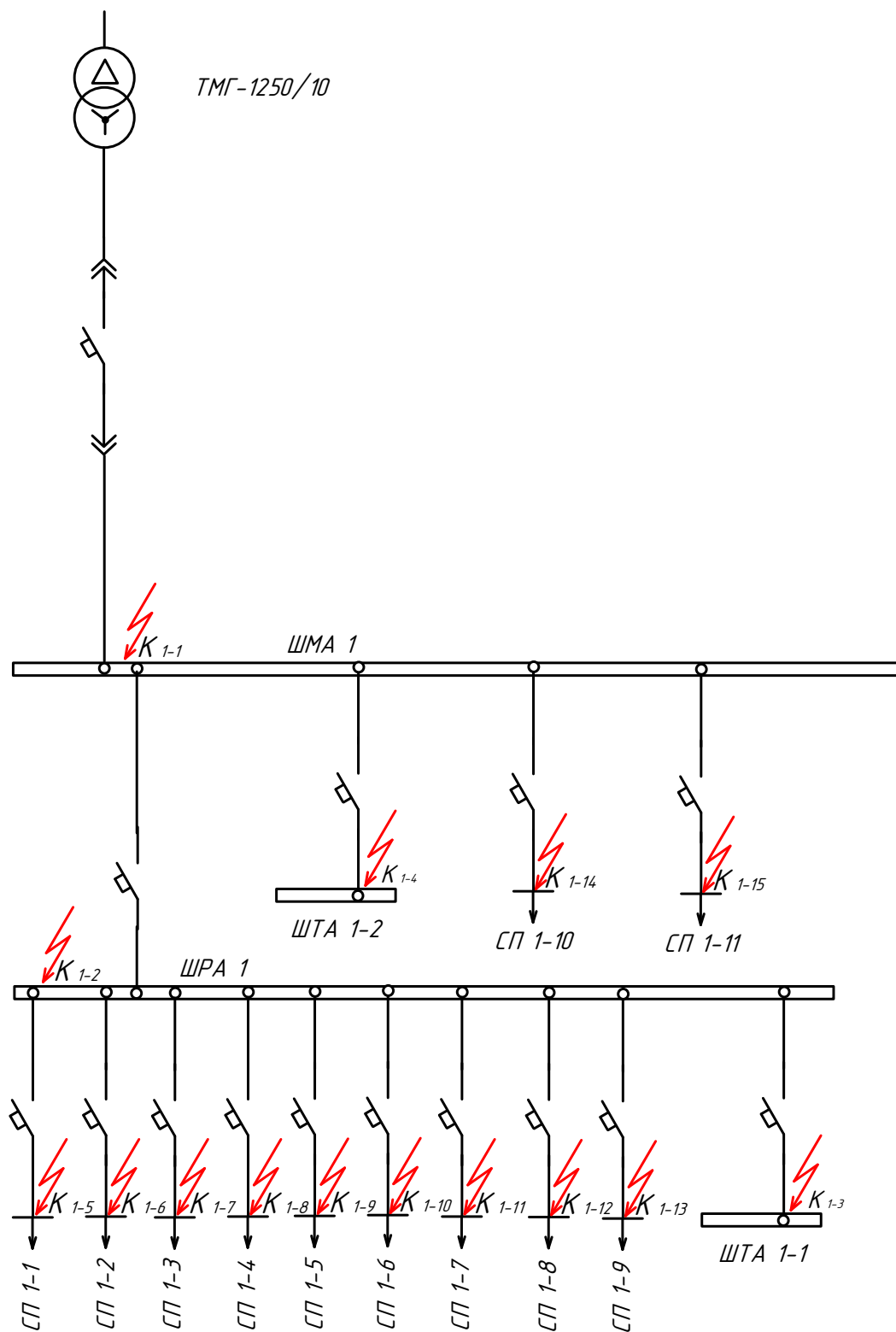


Рисунок Б.1 – точки КЗ для первого трансформатора КТП №1
механосборочного цеха

Продолжение Приложения Б

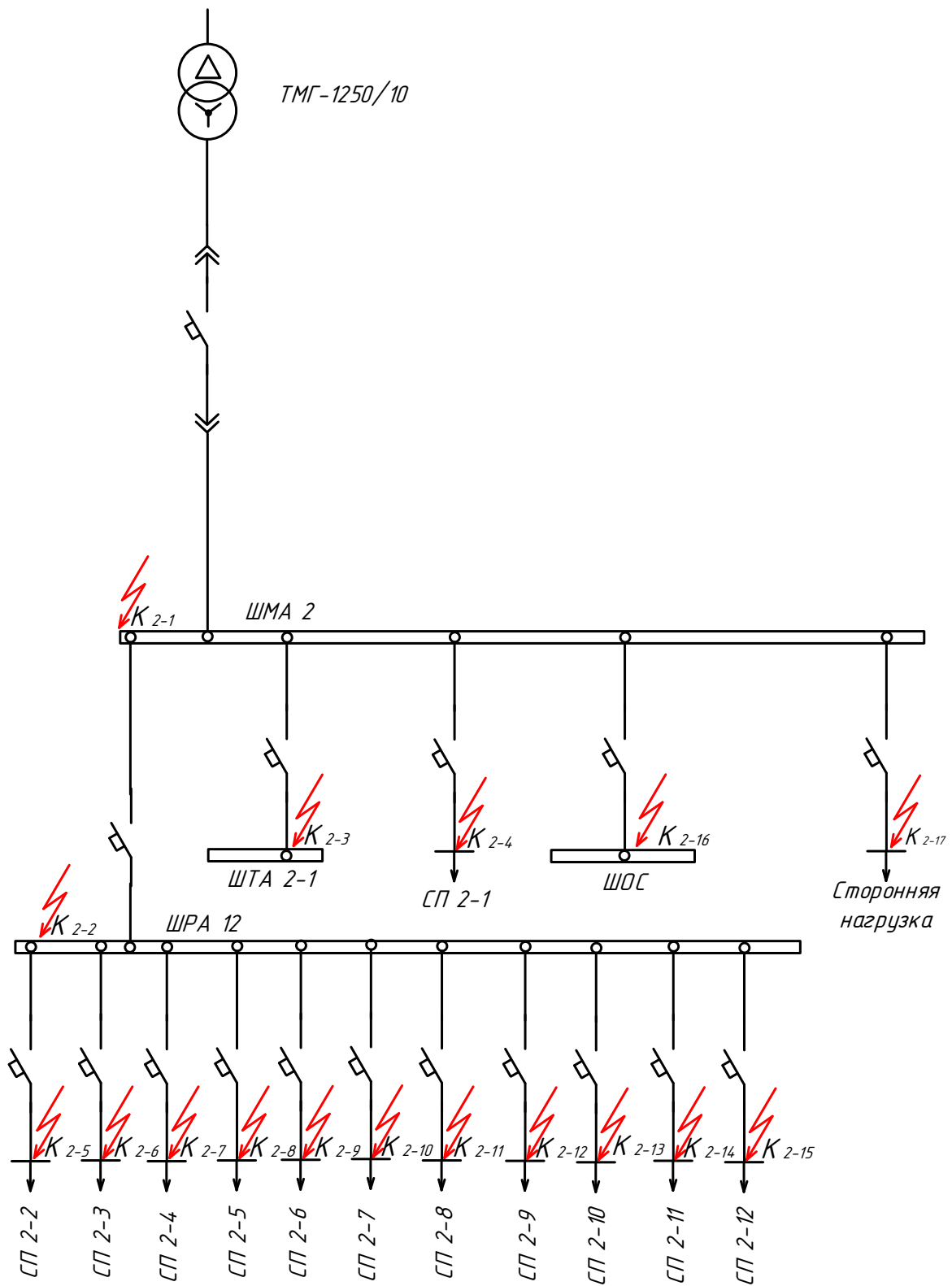


Рисунок Б.2 – точки КЗ для второго трансформатора КТП №1
механосборочного цеха

Продолжение Приложения Б

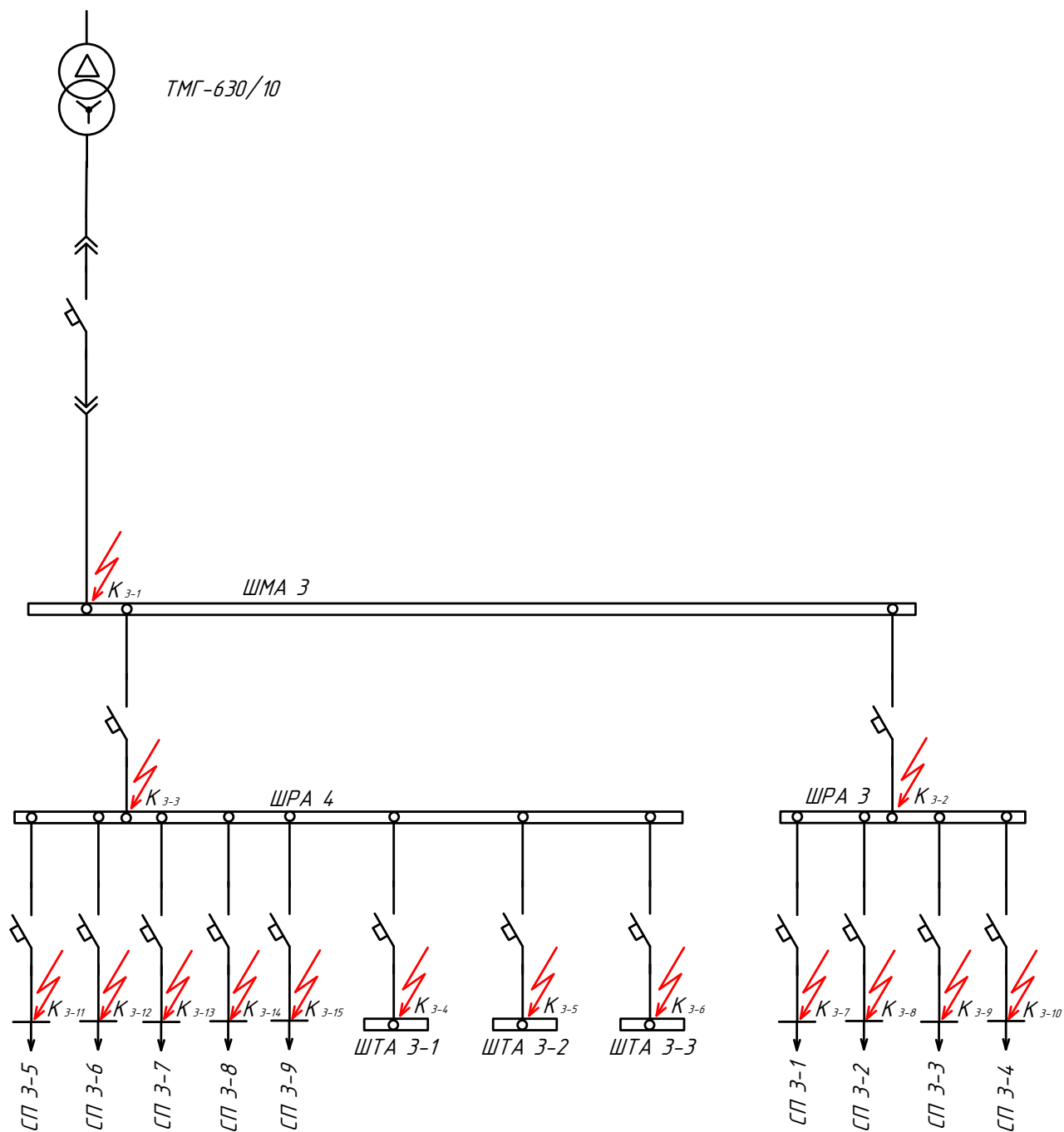


Рисунок Б.3 – точки КЗ для первого трансформатора КТП №2
механосборочного цеха

Продолжение Приложения Б

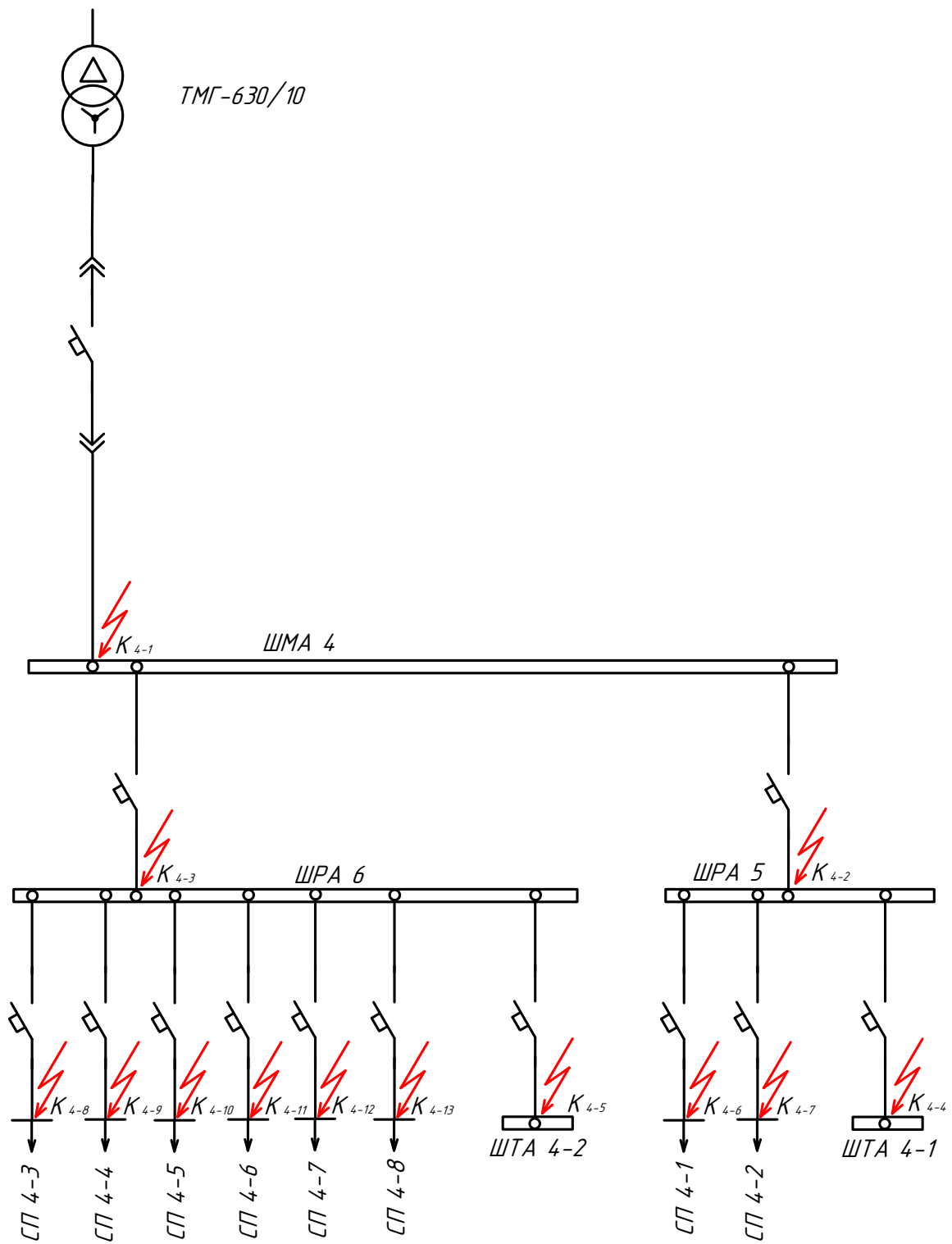


Рисунок Б.4 – точки КЗ для второго трансформатора КТП №2
механосборочного цеха

ПРИЛОЖЕНИЕ В

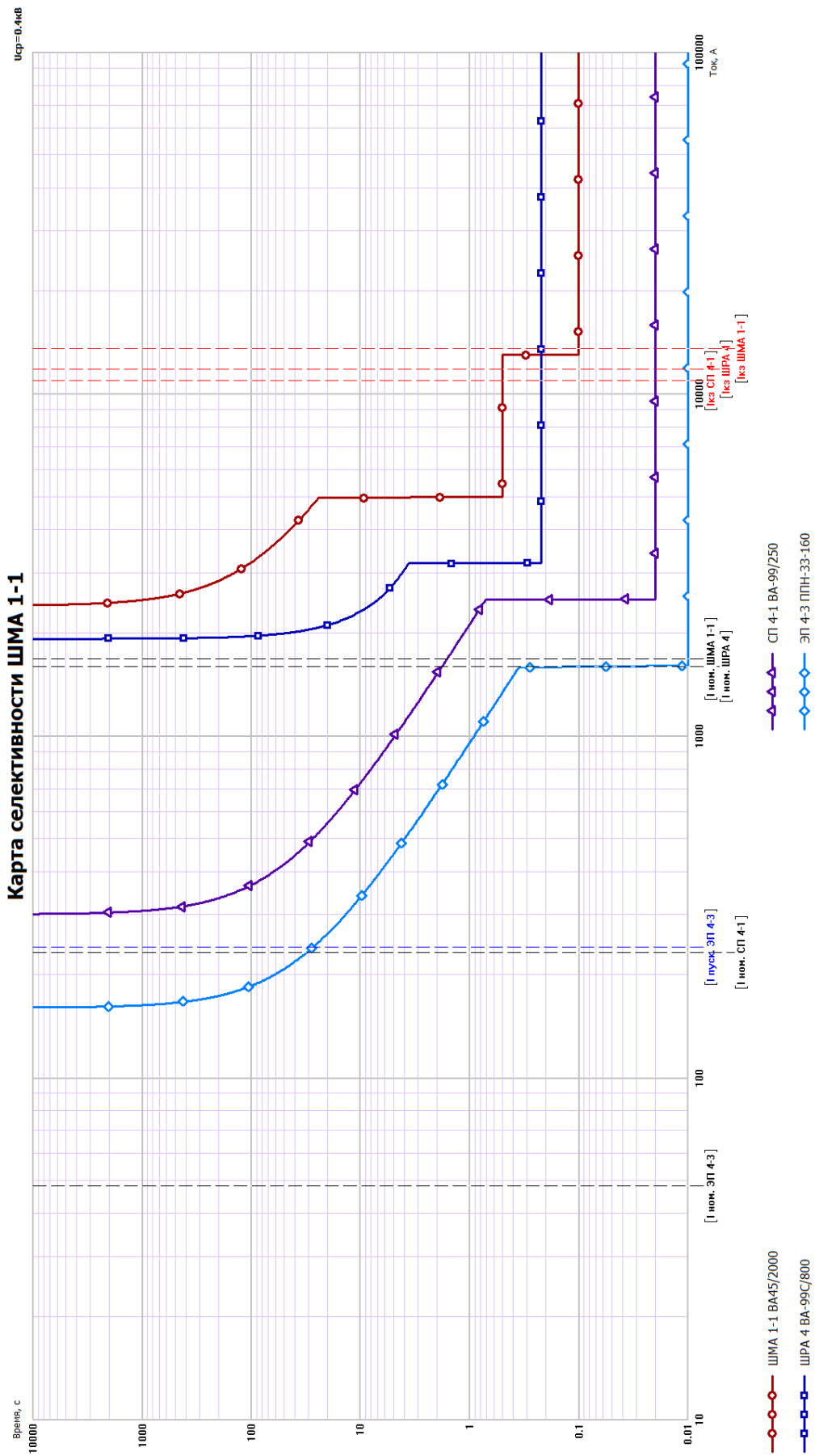


Рисунок В.1 – Карта селективности ШМА 1-1

Продолжение Приложения В

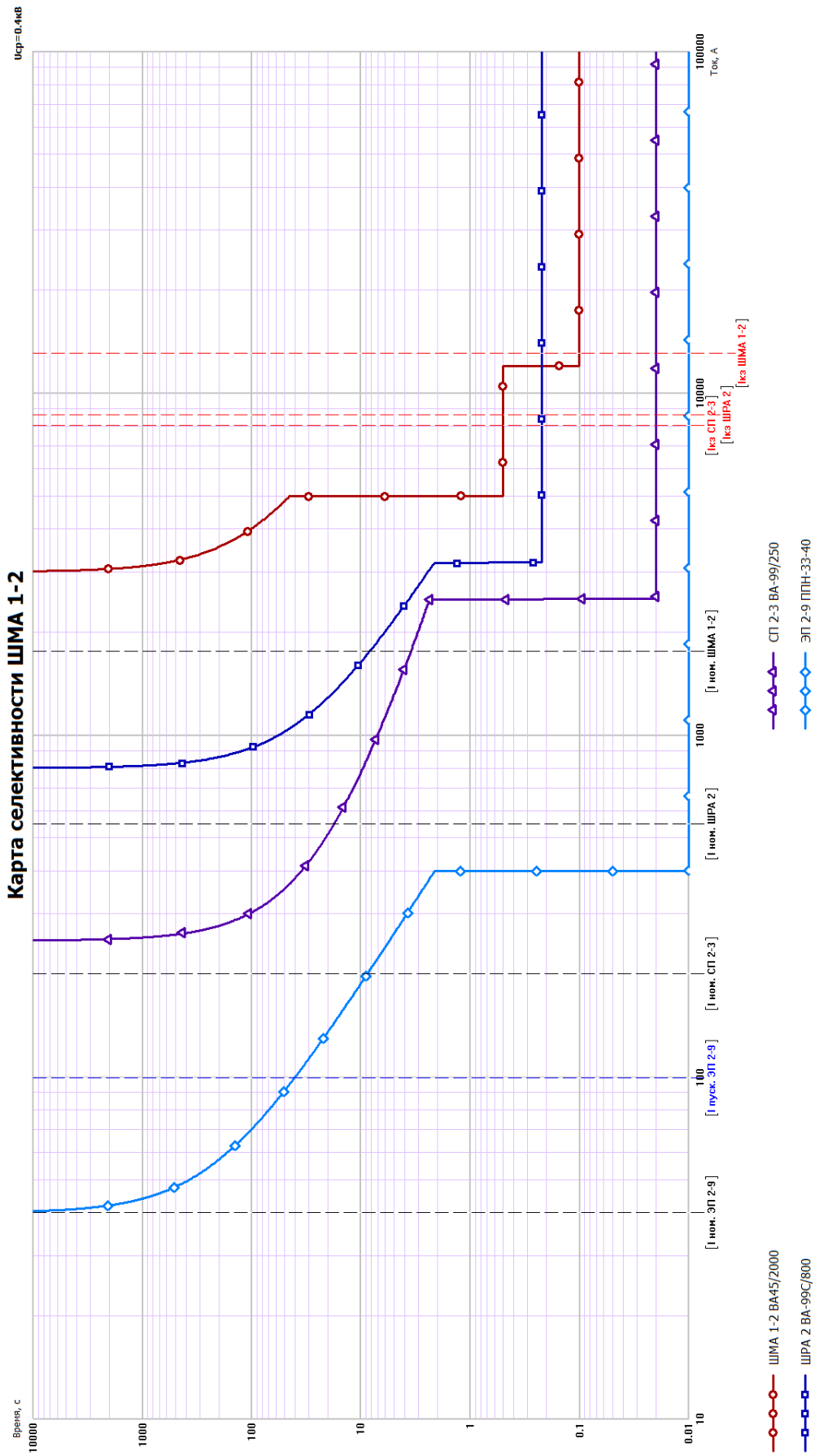


Рисунок В.2 – Карта селективности ШМА 1-2

Продолжение Приложения В

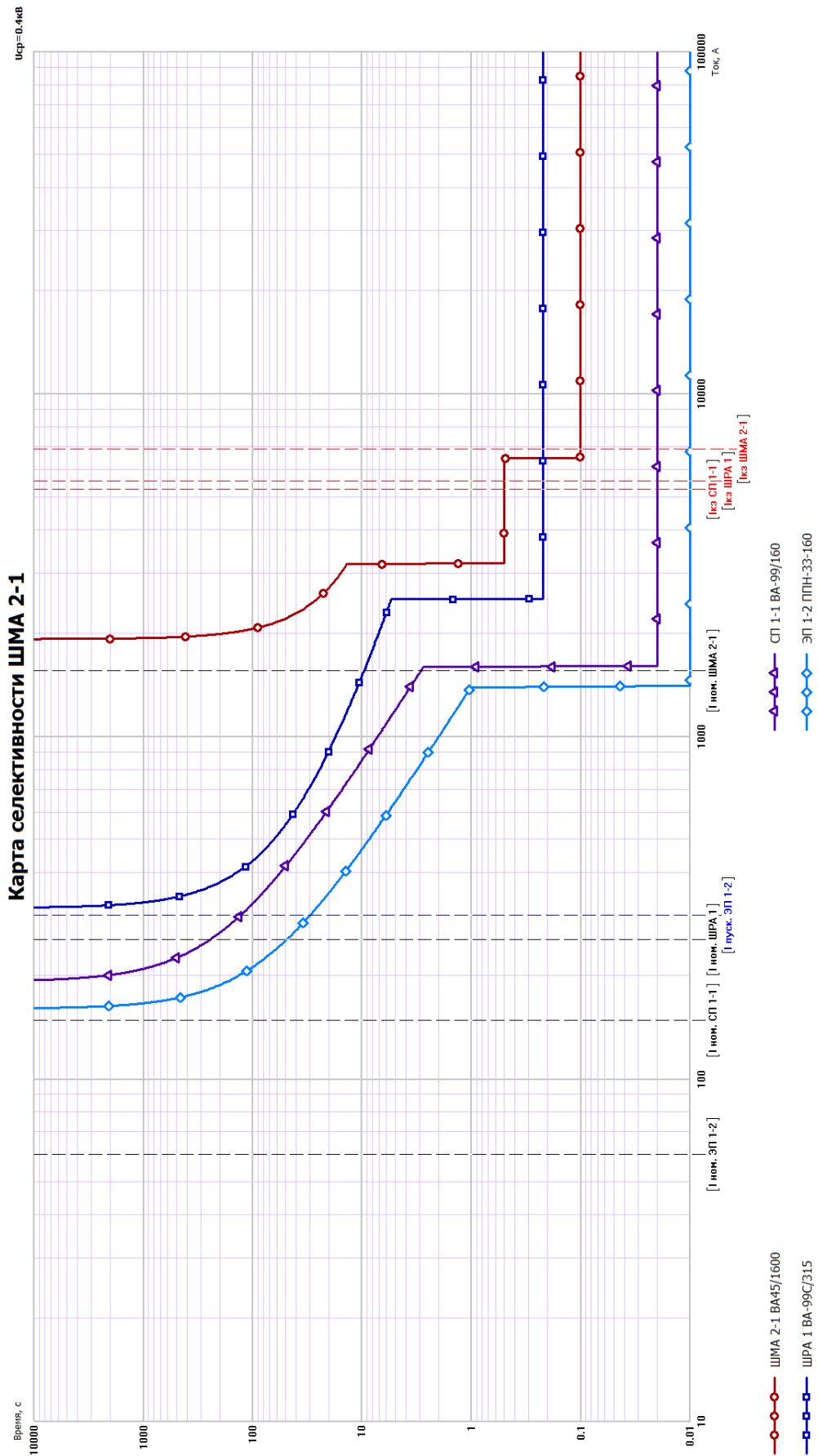


Рисунок В.3 – Карта селективности ШМА 2-1

Продолжение Приложения В

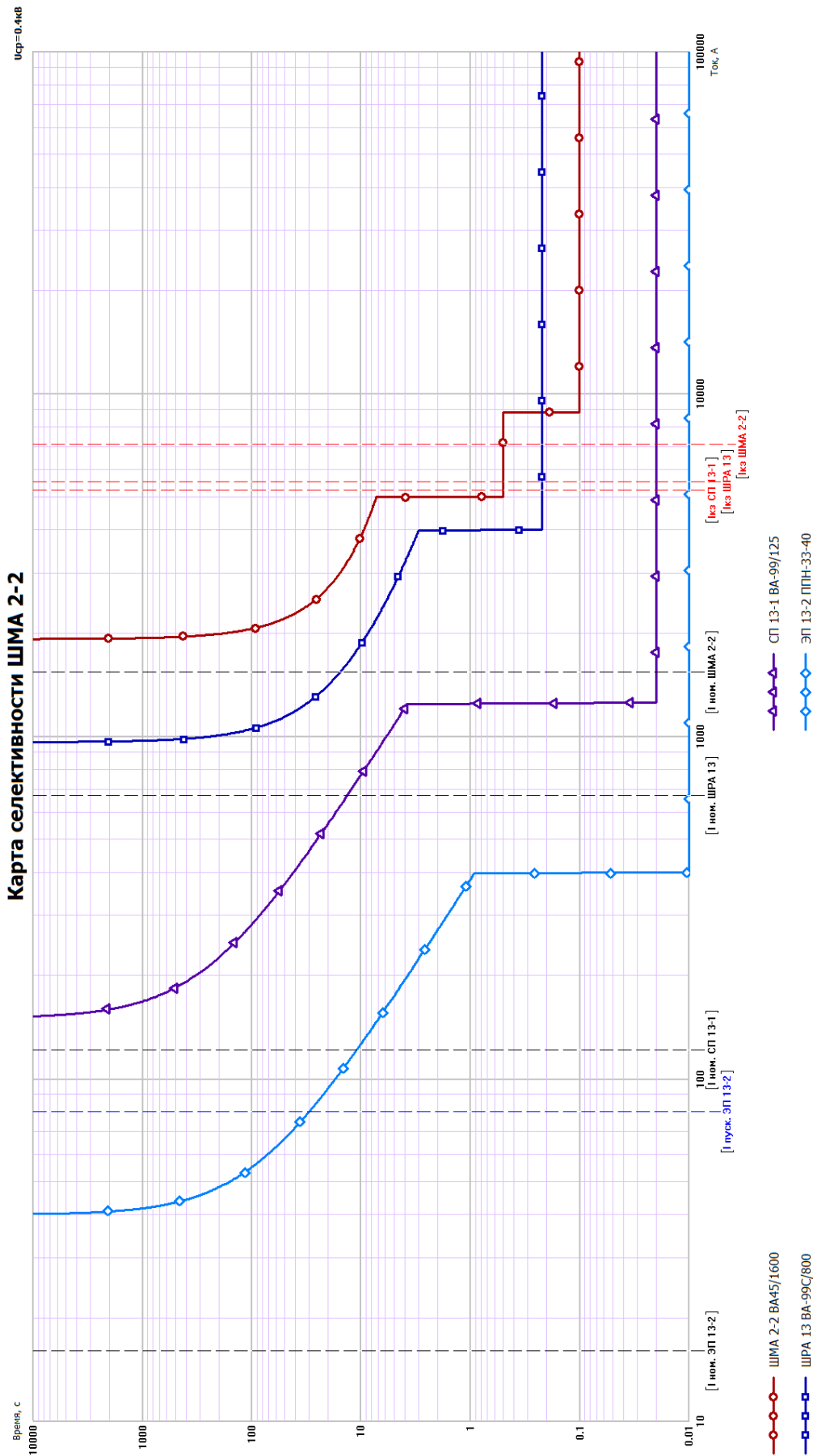


Рисунок В.4 – Карта селективности ШМА 2-2

Продолжение Приложения В

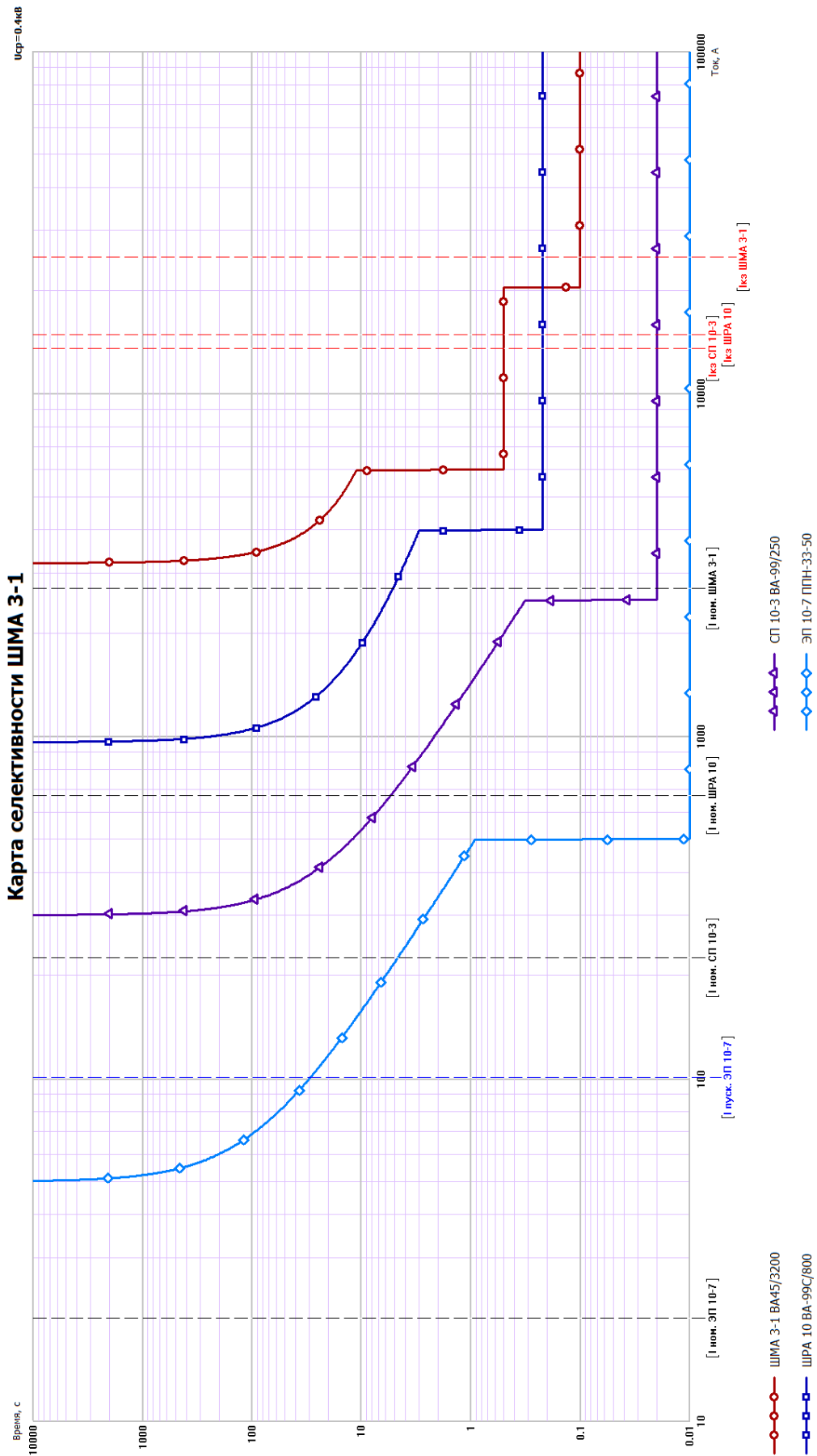


Рисунок В.5 – Карта селективности ШМА 3-1

Продолжение Приложения В

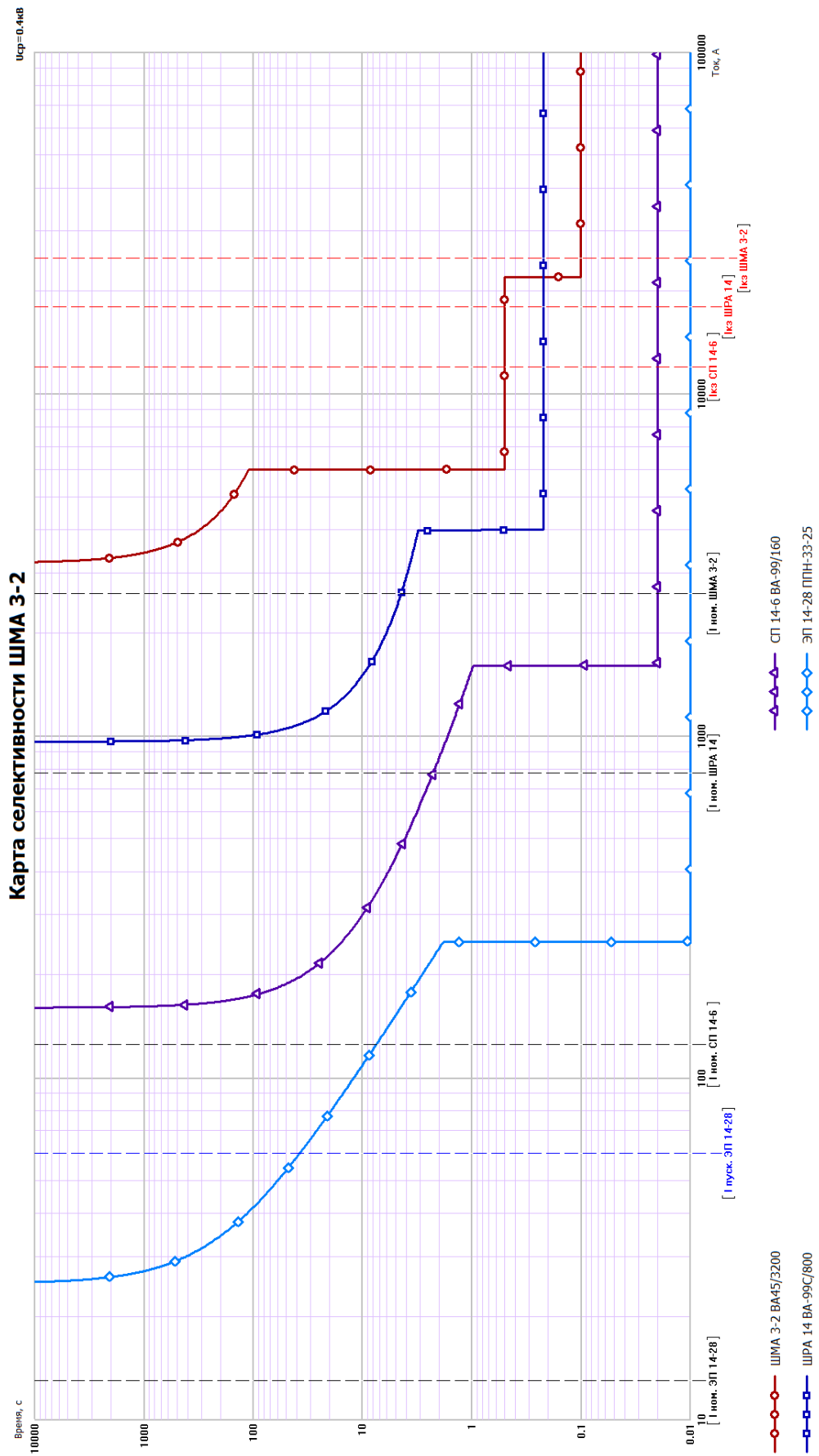


Рисунок В.6 – Карта селективности ШМА 3-2