

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт ИДО  
Специальность 140211.65 Электроснабжение  
Кафедра ЭПП

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
<b>«Электроснабжение промышленного предприятия ООО «ЗКПД ТДСК» с детальной проработкой арматурного цеха»</b>

УДК 621.314.075

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9382	Батюк Михаил Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. каф. ЭПП	Сайгаш А.С.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. каф. Менеджмент	Сергейчик С.И.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. каф. ЭБЖ	Романцов И.Г.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПП	Лукутин Б.В.	д.т.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт ИДО \_\_\_\_\_  
Специальность 140211.65 Электроснабжение \_\_\_\_\_  
Кафедра ЭПП \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломного проекта

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-9382	Батюк Михаил Игоревич

Тема работы:

«Электроснабжение промышленного предприятия ООО «ЗКПД ТДСК» с детальной проработкой арматурного цеха»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Промышленное предприятие ООО «Завод крупнопанельного домостроения томской домостроительной компании», являющееся крупнейшим в области по производству сборного железобетона. Производительность предприятия около 300 000 м<sup>3</sup> железобетона в год при работе в три смены. Предприятие по надёжности электроснабжения отнесено ко второй категории. Система электроснабжения предприятия должна отвечать требованиям надёжности, экономичности, рациональности и энергоэффективности.</i>

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Основной задачей проекта является проектирование системы электроснабжения с использованием комплексного подхода для обеспечения требуемого энергетического эффекта и минимизации капитальных вложений и эксплуатационных издержек. Проект также должен учитывать перспективу роста нагрузок предприятия, отвечать требованиям ресурсосбережения и качества электрической энергии. При выборе оборудования системы электроснабжения необходимо рассматривать энергоэффективную и функциональную продукцию современных производителей.</i></p> <p><i>В процессе выполнения работы выполнены поставленные требования, разработана рациональная и надёжная система электроснабжения с применением современного оборудования, выбран наиболее оптимальный тариф на оплату электрической энергии. Также уделено внимание вопросу энергосбережения посредством внедрения компенсации реактивной мощности и проведения технико-экономического обоснования применения данного мероприятия.</i></p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Графический материал, содержащий разработанные принципиальные схемы электроснабжения и схемы расположения, приводится в приложениях А-Д. Эскизные графические материалы к расчетам представлены в виде иллюстраций.</i></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Канд. техн. наук, доцент кафедры «Менеджмент» Сергейчик С.И</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент кафедры ЭБЖ Романцов И.Г.</p>
<td data-bbox="651 1491 1538 1545"> </td>	
<td data-bbox="651 1554 1538 1608"> </td>	
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПП	Сайгаш А.С.	канд. техн. наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9382	Батюк М.И		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 с., 13 рис., 26 табл., 12 источников, 5 прил.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ, ДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ, РАСЧЕТНЫЙ ТОК, ЗАПАС, ТАРИФ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ПУСКОВОЙ ТОК, СЕЧЕНИЕ.

Объектом исследования является Промышленное предприятие ООО «ЗКПД ТДСК»

Цель работы – Проектирование электроснабжения предприятия с детальной проработкой арматурного цеха

В процессе исследования проводились необходимые для проектирования электроснабжения расчеты, рассмотрение целесообразности компенсации реактивной мощности и технико-экономическое обоснование данного мероприятия.

В результате исследования Разработан проект электроснабжения предприятия и цеха, технически и экономически оправдано применение компенсации реактивной мощности.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Спроектированная система электроснабжения обладает достаточной надёжностью, гибкостью, отвечает современным требованиям.

Степень внедрения: Разработка и защита проекта

Область применения: Промышленное предприятие ООО «ЗКПД ТДСК»

Экономическая эффективность/значимость работы Проект разработан исходя из учета перспективы роста нагрузок. Внедрение рассматриваемых установок компенсации реактивной мощности обеспечит снижение капитальных затрат на сооружение линий электропередачи и снизит ежегодные эксплуатационные издержки, связанные с повышением тарифа на оплату электроэнергии и потерями активной мощности на передачу реактивной.

## Оглавление

1 Обзор литературы.....	8
2 Объект и методы исследования.....	11
3 Расчеты и аналитика.....	12
3.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха.....	12
3.2 Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.....	20
3.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок.....	24
3.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.....	25
3.5 Компенсация реактивной мощности.....	26
3.6 Схема внешнего электроснабжения.....	36
3.7 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ.....	37
3.8 Схема внутризаводской сети 10 кВ.....	40
3.9 Электроснабжение цеха.....	46
3.10 Проверка сечений проводников по допустимым отклонениям напряжения. Построение эпюры отклонения напряжения.....	60
3.11 Расчет токов КЗ в сети до 1 кВ.....	66
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	69
4.1 Расчет приведённых затрат для варианта без компенсации реактивной мощности.....	69
4.2 Расчет приведённых затрат для варианта с применением компенсации реактивной мощности.....	75
4.3 Выбор оптимального варианта.....	79
4.4 Выбор тарифа на оплату электроэнергии.....	83
5 Социальная ответственность.....	85
Введение.....	85
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	85
5.2 Техника безопасности.....	90
5.3 Производственная санитария.....	94
5.4 Пожарная безопасность.....	96
5.5 Охрана окружающей среды.....	97
5.6 Чрезвычайные ситуации.....	98
Заключение.....	100
Список использованных источников.....	101
Приложение А. Распределительная сеть 10 кВ и картограмма нагрузок завода.....	102
Приложение Б – Схема распределительной сети 10 кВ.....	103
Приложение В. Схема ЦРП завода.....	104
Приложение Г. Схема электроснабжения арматурного цеха.....	105
Приложение Д. Распределение силовой сети арматурного цеха на плане....	106

## **Введение**

Реализации надёжной и менее затратной системы электроснабжения предприятия предшествует правильный расчет, обоснованный выбор того или иного оборудования, рациональное распределение ресурсов, индивидуальный подход для каждого конкретного случая.

В данной работе выполнен расчет электроснабжения предприятия ООО «ЗКПД ТДСК», являющегося крупнейшим предприятием области по производству сборного железобетона. Подробно произведён расчет электроснабжения арматурного цеха.

Также немалое значение уделено такому актуальному вопросу, как компенсация реактивной мощности на предприятии, приведено технико-экономическое обоснование применения данного мероприятия.

Выбор оборудования и аппаратов осуществлён исходя из номенклатуры продукции как импортных, так и отечественных современных ведущих производителей.

Выбор каждого элемента был произведён обоснованно, исходя из технических и экономических соображений. В конкретных случаях приведены аргументы, обосновывающие принятое решение.

Также очень важную роль при вынесении решения играет его адекватность и практичность не только с точки зрения проектировщика, но и с точки зрения ИТР, которому предстоит эксплуатировать данную систему.

Динамично развивающаяся строительная отрасль Томской области, востребованность железобетонной продукции в большинстве отраслей промышленности, наличие незастроенных площадей на территории предприятия, - всё это указывает на неизбежный рост нагрузок предприятия в случае успешного его существования. Поэтому при выборе элементов схемы приоритетным критерием является обеспечение запаса по мощности.

## 1 Обзор литературы

Основой расчета электроснабжения объектов являются электрические нагрузки, для определения которых в настоящее время существует ряд научно обоснованных методов. Но наиболее предпочтительным по сей день остаётся предложенный в прошлом веке доктором технических наук, профессором Г.М. Каяловым метод упорядоченных диаграмм графиков нагрузки. Погрешность этого метода составляет  $\pm 10\%$ , что является вполне приемлемым и допустимым.

Большим продвижением и совершенствованием в области электроснабжения отличается собственно оборудование данной отрасли. Конкурентная борьба производителей электротехнического оборудования, различные достижения в области науки и техники, потребность в автоматизации систем электроснабжения, повышение внимания к качеству электрической энергии, - всё это способствует быстрому и динамичному росту различных электротехнических новшеств, совершенствованию и минимизации существующих устройств. В последнее время значительное внимание уделяется созданию и внедрению различных устройств, способствующих повышению энергоэффективности оборудования и качества электрической энергии. Наиболее актуальными из таких новинок являются энергосберегающие трансформаторы с пониженным уровнем потерь холостого хода и короткого замыкания, установки динамической компенсации реактивной мощности (в реальном времени), фильтрокомпенсирующие устройства (силовые фильтры высших гармоник). Наиболее функциональными становятся автоматические установки компенсации реактивной мощности, которые позволяют осуществлять регулирование ступеней конденсаторов при изменяющемся графике нагрузки автоматически, способствуют повышению пропускной способности элементов действующей системы электроснабжения, избавлению от надбавок к тарифу на электрическую энергию, снижению эксплуатационных издержек.

Но несмотря на доступность, понятность и простоту внедрения, далеко не все потребители снабжены устройствами компенсации реактивной мощности. Эта проблема вызвана прежде всего некомпетентностью, либо банальным нежеланием инженерно-технического персонала в осуществлении данного мероприятия. Перспектива избавления от переплаты за потребление реактивной мощности сверх предельно допустимых значений не стимулирует в должной мере руководителей и энергетиков предприятий к установке

компенсирующих устройств. А ведь при грамотном подходе к данному вопросу возможно достижение большого экономического эффекта. Практически в любых буклетах фирм-производителей и поставщиков компенсирующих устройств можно ознакомиться со всеми преимуществами данных устройств, что в большей степени является не маркетинговым ходом, а реальными фактами. Характерным примером является множество материалов, выложенных на сайте компании «Матик электро». Наиболее подробно и широко вопросы компенсации реактивной мощности освещены в учебном пособии А.В. Кабышева «Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий», рассматривающем данное направление начиная с физических его основ и заканчивая анализом его нормативно-правовой базы. Также следует отметить справочное издание М.В. Геворкяна «Современные компоненты компенсации реактивной мощности для низковольтных сетей», в котором подробно рассмотрены элементы установок динамической компенсации реактивной мощности. Данное является прежде всего рекламой продукции компании «Ercos», но всё носит достаточно обзорно-познавательный характер.

Помимо рассмотренной проблемы, электроснабжение охватывает множество других задач и вопросов, имеющих свои индивидуальные особенности и тонкости. Электроснабжение объектов является задачей, решаемой комплексным подходом. Проектирование электроснабжения предприятия должно осуществляться исходя не только из требований надёжности питания потребителя, но также должно рассматриваться через призму экономики, энергосбережения, производственной безопасности, технической новизны.

В настоящее время существует большое количество литературы, освещающей данные вопросы. Наиболее актуальным источником, раскрывающим основы технической стороны проекта, является учебное пособие «Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок» под авторством А.В. Кабышева и С.Г. Обухова. В данном пособии компактно и четко формулируются основные методы расчетов при проектировании, приводится большое количество справочного материала, что делает данное пособие вполне универсальным. С точки зрения актуальности и новизны справочного материала следует также отметить учебное пособие Г.Н. Ополевой «Схемы и подстанции электроснабжения», в котором приводится обзор и справочные материалы на современное отечественное и импортное коммутационное

оборудование, комплектные трансформаторные подстанции и устройства, кабельно-проводниковую продукцию.

С технико-экономической стороны данная область науки рассматривается в пособии Г.Н. Климовой и А.В. Кабышева «Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий, где представлены методы проведения технико-экономических обоснований при проектировании системы электроснабжения.

Вопросы энергосбережения и повышения энергетической эффективности наиболее широко представлены в учебном пособии Г.Н. Климовой «Энергосбережение на промышленных предприятиях». Данный источник широко рассматривает не только технические вопросы данного направления, но и юридическую его сторону.

Электроснабжение объектов является перспективным направлением, не теряющим своей актуальности и востребованности. Помимо рассмотренных основных вопросов электроснабжения, существует множество других, рассматривающих данное направление с определённой стороны, формируются новые дисциплины, углубляя и совершенствуя изучение данной области науки и техники.

## **2 Объект и методы исследования**

Основными исходными данными при проектировании электроснабжения промышленного предприятия ООО «ЗКПД ТДСК» являются материалы, полученные во время прохождения практик. Это прежде всего генплан предприятия, установленные мощности цехов, описание технологического процесса предприятия, подробный перечень электроприёмников арматурного цеха и план их размещения, график электрических нагрузок предприятия. Для анализа и сопоставления проектируемой системы с существующей использованы действующие схемы электроснабжения.

В данной работе необходимо произвести расчет и выбор схем внешнего электроснабжения предприятия и внутризаводской электрической сети, детально рассчитать электроснабжение арматурного цеха (пролёт №8), разобрать один специальный вопрос, способствующий повышению энергетических характеристик системы, обосновать его целесообразность и провести технико-экономическое обоснование. В качестве специального вопроса рассмотрена компенсация реактивной мощности на рассматриваемом предприятии. Также должны быть рассмотрены вопросы по охране труда на предприятии и основные экологические аспекты.

Основные расчеты производятся по общепринятым методикам, освещенных в пособиях по расчету и проектированию электроснабжения промышленных предприятий. При расчете нагрузки по предприятию в целом использован метод коэффициента спроса, а при детальной проработке электроснабжения арматурного цеха – метод упорядоченных диаграмм. При проведении технико-экономического обоснования использован метод приведённых затрат.

### 3 Расчеты и аналитика

#### 3.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха

Особенностью электрической нагрузки арматурного цеха является преобладание однофазных нагрузок, включенных на линейное напряжение, низкий коэффициент мощности электроприёмников, наличие пусковых токов от сварочных машин и двигательной нагрузки.

Исходя из условия необходимости распределения однофазных нагрузок по фазам с неравномерностью не более 15%, необходимо разместить их подобающим образом по цеху в целом. Это целесообразно из соображений по уменьшению условной трёхфазной нагрузки на цеховой трансформатор. Выгоднее будет увеличить сечение проводников, подходящим к тем распределительным пунктам, которые исходя из выше соблюденного условия, оказались неравномерно загруженными.

Список электроприёмников цеха, с указанием их паспортной мощности, коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , и коэффициента использования  $K_{и}$ , приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень электроприёмников цеха и их характеристики

Наименование электроприёмника	Тип	Паспортная мощность	$\cos\varphi$	$K_{и}$	ПВ, %
Станок для правки и резки арматуры	ГД 162	20 кВт	0,6	0,16	100
Станок для правки и резки арматуры	ГД 162	20 кВт	0,6	0,16	100
Станок для правки и резки арматуры	СМЖ 357	15 кВт	0,6	0,16	100
Станок для правки и резки арматуры	СМЖ 357.03	15кВт	0,6	0,16	100
Станок для правки и резки арматуры	СМЖ 357.03	15кВт	0,6	0,16	100
Станок для резки арматуры	СМЖ 172А	4кВт	0,6	0,16	100
Станок для резки арматуры	СМЖ 322Б	4кВт	0,6	0,16	100
Станок гибочный для прутков арматуры	СМЖ 173А	5.5 кВт	0,6	0,15	100
Станок гибочный для прутков арматуры	СМЖ 173А	5.5кВт	0,6	0,15	100
Станок для перемотки бухт		4кВт	0,5	0,12	100
Машина контактной сварки	МТМ 160	750 кВА	0,6	0,25	10
Станок гибочный для сеток	СМЖ 353	4 кВт	0,6	0,15	100
Машина контактной сварки	МКС-НТ-3500	16x125 кВА	0,6	0,25	10
Машина контактной сварки	МТ 2517	88 кВА	0,6	0,25	10

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприёмника	Тип	Паспортная мощность	Cos	Ки	ПВ, %
Машина контактной сварки	МТ 2827	167 кВА	0,6	0,25	10
Машина контактной сварки	МТ 1618	75 кВА	0,6	0,25	10
Машина контактной сварки	МС 2008	125 кВА	0,6	0,25	10
Установка для сварки каркасов	СМЖ 56А	5кВт	0,5	0,12	100
Машина подвесная сварочная	МТП 806	150 кВА	0,6	0,25	10
Машина сварочная	МТП 1110	75 кВА	0,6	0,25	10
Машина сварочная	МТ1818	75 кВА	0,6	0,25	10
Машина для высадки анкеров	СМЖ 128Б	150 кВА	0,6	0,2	40
Машина для высадки анкеров	СМЖ 128Б.03	150 кВА	0,6	0,2	40
Машина контактной сварки	МТ 2202	75 кВА	0,6	0,25	10
Телега самоходная	СМЖ 151	11 кВт	0,5	0,12	100
Машина контактной сварки	МТ 3001	160 кВА	0,6	0,25	10
Машина контактной сварки	МТ 2202	50 кВА	0,6	0,25	10
Машина для сварки арматурных сеток	МТМ 3072	225 кВА	0,6	0,25	10
Станок гибочный для арматуры	УТК	4 кВт	0,6	0,15	100
Приводы хода тележек мостовых кранов		2x3,5+1x2,2 кВт	0,5	0,15	40
Приводы подъёмных механизмов кранов		2x11+1x15 кВт	0,5	0,15	40
Приводы передвижения кранов		2x7+1x7,5 кВт	0,5	0,15	40
Станок для резки арматуры	СМЖ 332 А	4кВт	0,6	0,16	100
Станок для резки арматуры	СМЖ 172 А	4кВт	0,6	0,16	100
Станок сверлильный	2С132	5 кВт	0,5	0,12	100
Машина контактной сварки	МТ 2103-3	140 кВА	0,5	0,25	10
Выпрямитель сварочный	ВДУ 500	33 кВА	0,5	0,4	100
Вентилятор		5 кВт	0,9	0,8	100
Вентилятор		5 кВт	0,9	0,8	100
Вентилятор		5 кВт	0,9	0,8	100

Расчет нагрузок производится методом упорядоченных диаграмм (коэффициента максимума).

В процессе расчета результаты вычислений заносятся в таблицы, приводятся некоторые характерные или индивидуальные примеры.

Перед осуществлением расчетов необходимо все паспортные мощности электроприёмников привести к номинальным (ПВ=100%).

Приведение паспортной мощности (S,кВа) сварочной машины МТ2827 к номинальной (P<sub>ном</sub>)

$$P_{\text{ном}} = S_{\text{пасп}} \cdot \cos \varphi_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}_{\text{пасп}}} = 167 \cdot 0,6 \cdot 0,316 = 31,66 \text{ кВт},$$

где  $S_{\text{пасп}}$  – паспортная мощность сварочного трансформатора, кВа,  
 $\cos \varphi_{\text{пасп}}$  – паспортное значение коэффициента мощности  
сварочного трансформатора,  
 $PВ_{\text{пасп}}$  – паспортные данные относительной продолжительности  
включения, отн.ед.

Приведение паспортной мощности грузового привода  
грузоподъёмного крана к номинальной при  $P_{\text{пасп}}=15$  кВт

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{PВ_{\text{пасп}}} = 15 \cdot \sqrt{0,4} = 9,45 \text{ кВт.}$$

Остальные значения, полученные при пересчете паспортных  
мощностей к номинальным, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Номинальные мощности электроприёмников

Наименование ЭП	Номинальная мощность, приведённая к ПВ=100 %, кВт
Станок для правки и резки	20
Станок для правки и резки	20
Станок для правки и резки	15
Станок для правки и резки	15
Станок для правки и резки	15
Станок для правки и резки	4
Станок для правки и резки	4
Гибочный для прутков	5,5
Гибочный для прутков	5,5
Перемотка	4
Машина сварочная МТМ 160	142,2
Гибочный для сеток	4
Машина сварочная МКС НТ 3500	23,7 x 16
Машина сварочная МТ2517	16,68
Машина сварочная МТ2827	31,66
Машина сварочная МТ1618	14,22
Машина сварочная МС 2008	23,7
Установка для сварки	5
Машина сварочная МТП 806	14,22
Машина сварочная МТП 1110	14,22
Машина сварочная МТ1818	14,22
Маш. Для высадки анкеров	56,9
Маш. Для высадки анкеров	56,9
Машина сварочная МТ2202	14,22
Телега самоходная	11
Машина сварочная МТ 3001	30,34

Продолжение таблицы 2

Наименование ЭП	Номинальная мощность, приведённая к ПВ=100 %, кВт
Машина сварочная МТ 2202	9,48
Машина сварочная МТМ 3072	42,66
Гибочный для арматуры	4
Приводы хода тележек мостовых кранов	2x2,205+1x1,386
Приводы подъёмных механизмов кранов	2x6,93+1x9,45
Приводы передвижения кранов	2x4,41+1x4,725
Станок для резки арматуры	4
Станок для резки арматуры	4
Сверлильный станок	5
Машина сварочная МТ 2103-3	26,54
Выпрямитель ВДУ 500	12,78
Вентиляция	5
Вентиляция	5
Вентиляция	5

Перед проведением расчета все электроприёмники распределяются на две группы:

- Электроприёмники с переменным графиком нагрузки, у которых  $K_{и} < 0,6$  (группа А);
- Электроприёмники с практически постоянным графиком нагрузки, у которых  $K_{и} \geq 0,6$  (группа Б).

Для удобства и наглядности расчетов применяется специальная таблица, в которую заносятся значения номинальных мощностей подгрупп электроприёмников, значения их коэффициентов мощности и коэффициентов использования, эффективное число электроприёмников группы, расчетные значения максимальной активной и реактивной мощности, расчетного тока.

Как уже было сказано выше, относительно шин цеховой подстанции все однофазные электроприёмники распределены равномерно, поэтому при расчете они учитываются как трёхфазные той же мощности.

В каждой группе электроприёмники разбиваются на подгруппы, объединяющие электроприёмники с одинаковыми коэффициентами мощности и коэффициентами использования. Затем определяются среднесменные активные и реактивные нагрузки каждой подгруппы и суммируются. Далее определяется средневзвешенный коэффициент использования, в зависимости от которого, и от далее определённого эффективного числа электроприёмников, определяется коэффициент

максимума для данной группы. После определения коэффициента максимума определяется максимальная активная мощность.

Для примера приводится расчет подгруппы станков для правки и резки арматуры следующих номинальных мощностей: 2 по 20 кВт, 3 по 15 кВт, 4 по 4 кВт.

Среднесменная активная мощность данной подгруппы

$$P_{\text{см}} = \sum P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{и}} = (2 \cdot 20 + 3 \cdot 15 + 4 \cdot 4) \cdot 0,16 = 16,16 \text{ кВт},$$

где  $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования данного типа станков.

Далее рассчитывается среднесменная реактивная мощность той же подгруппы электроприёмников

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \tan \varphi = 16,16 \cdot 1,33 = 21,54.$$

Аналогичным способом производится расчет для других подгрупп данного узла. Все полученные результаты расчетов заносятся в таблицу 3.

Далее определяется среднесменная нагрузка всей подгруппы А, которая является результатом суммирования всех полученных среднесменных нагрузок подгрупп. Она составляет

$$\sum P_{\text{см}} = 249,68 \text{ кВт}.$$

Среднесменная реактивная нагрузка также является результатом суммирования всех полученных среднесменных реактивных нагрузок подгрупп.

$$\sum Q_{\text{см}} = 338,69 \text{ кВар}.$$

Далее определяется эффективное число электроприёмников группы А

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{\text{ном}})^2}{\sum P_{\text{ном}}^2} = \frac{1184377}{44341} = 26,7 = 27,$$

где  $\sum P_{\text{ном}}$  – сумма номинальных мощностей всех электроприёмников цеха.

Средневзвешенный коэффициент использования электроприёмников, входящих в группу А

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{\text{ном}}} = \frac{249,68}{1087,86} = 0,23$$

В зависимости от найденных средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприёмников по [1] определяется коэффициент максимума  $K_{\text{м}}$ , который составляет 1,4.

Далее определяется расчетная максимальная активная мощность группы А

$$P_{\text{м}} = \sum P_{\text{см}} \cdot K_{\text{м}} = 249,68 \cdot 1,4 = 349,55 \text{ кВт}.$$

Согласно [1], если  $n_{\text{эф}} > 10$ , то  $Q_M = Q_{\text{см}}$ , следовательно  
$$Q_M = Q_{\text{см}} = 338,69 \text{ кВар.}$$

Полная расчетная мощность

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{349,55^2 + 338,69^2} = 486,73 \text{ кВа.}$$

Расчетный ток электроприёмников группы А составит

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 739,7 \text{ А.}$$

Далее определяется расчетная нагрузка электроприёмников группы Б. Расчет производится аналогично предыдущему, только при условии что  $P_M = P_{\text{см}}$ ,  $Q_M = Q_{\text{см}}$ .

Так как фактическое число электроприёмников группы равно трём, то согласно [1]  $P_M = \sum P_{\text{ном}}$ , а  $Q_{\text{см}} = 0,75 \cdot P_M$ .

Осуществив данные вычисления, полученные значения составят

$$\begin{aligned} P_M &= 15 \text{ кВт}; \\ Q_M &= 11,25 \text{ кВар}; \\ S_M &= \sqrt{15^2 + 11,25^2} = 18,75 \text{ кВа.} \end{aligned}$$

Далее определяется расчетная нагрузка осветительных приёмников цеха

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{но}} \cdot K_{\text{со}} = 12 \cdot 0,95 = 11,4 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{но}}$  – мощность установленных осветительных приборов, кВт,

$K_{\text{со}}$  – коэффициент спроса осветительных нагрузок, который согласно [1] для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролётов, равен 0,95.

Расчетная нагрузка на шинах цеховой подстанции определяется путём суммирования нагрузок группы А, группы Б и осветительной нагрузки. Согласно вышеизложенному

$$\begin{aligned} P_{\text{М цеха}} &= 375,95 \text{ кВт}, \\ Q_M &= 346,1 \text{ кВар}, \\ S_{\text{М цеха}} &= 511 \text{ кВа}, \\ I_{\text{М цеха}} &= 776,63 \text{ А.} \end{aligned}$$

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок цеха

Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество электроприемников, п	Установлен-ная мощность, приведённая к ПВ=100 %, кВт.		m	Коэффициент использования, ки	cosφ	tgφ	Средняя мощность за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников, пэф	Коэффициент максимума, kмакс	Максимальная расчетная мощность			Максимальный расчетный ток, I <sub>макс</sub> , А
		одного ЭП P <sub>ном</sub> , кВт	P <sub>ном</sub> общая, кВт					активная P <sub>см</sub> , кВт	реактивная Q <sub>см</sub> , кВАр			активная P <sub>макс</sub> , кВт	реактивная Q <sub>макс</sub> , кВАр	полная S <sub>макс</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Группа А</b>															
Станки для правки и резки арматуры	9	4-20	101	>3	0,16	0,6	1,33	16,16	21,55						
Сварочные машины (к ПВ=100 %)	29	9,6-379,2	773,56		0,25	0,6	1,33	193,4	257,85						
Гибочные станки	4	4-5,5	19		0,15	0,6	1,33	2,85	3,8						
Приводы подъёмных кранов (при ПВ=100 %)	9	1,4-9,5	42,72		0,15	0,5	1,73	6,408	11,1						
Машины для высадки анкеров (к ПВ=100 %)	2	56,9	113,8		0,2	0,6	1,33	22,76	30,34						
Выпрямитель сварочный ВДУ 500	1	12,78	12,78		0,4	0,5	1,73	5,112	8,85						
Установка для сварки каркасов	1	5	5		0,12	0,5	1,73	0,6	1,04						
Телега самоходная	1	11	11		0,12	0,5	1,73	1,32	2,29						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Станок сверлильный	1	5	5	>3	0,12	0,5	1,73	0,6	1,039						
Станок для перемотки бухт	1	4	4		0,12	0,5	1,73	0,48	0,831						
<b>Итого по группе А</b>	58		1087,86		0,23				249,68	338,7	27	1,4	349,55	338,7	486,73
<b>Группа Б</b>															
Вентиляторы	3	5	15		0,8	0,9	0,48	15	11,25		1	15	11,25	14,118	21,46
<b>Итого силовая нагрузка (А и Б)</b>	61	1,4-379,2	1102,86					264,68	349,9			364,55	349,95	504,48	768,2
Электрическое освещение			12		0,95			11,4				11,4			
<b>Итого по цеху</b>			1114,86					276,08	346,1			375,95	346,14	511,02	776,63

### 3.2 Определение расчетной нагрузки предприятия в целом

Расчетная мощность предприятия определяется совокупностью активных и реактивных нагрузок цехов с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и потерь в высоковольтных линиях.

Расчетная активная и реактивная нагрузка каждого из цехов определяется по соотношениям

$$P_p = K_c \cdot P_n, \quad (1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi, \quad (2)$$

где  $K_c$  и  $\tan \varphi$  – коэффициент спроса и соответствующий коэффициенту мощности тангенс угла  $\varphi$  для рассматриваемого типа цеха.

Электроприёмники напряжением выше 1000 В учитываются отдельно.

Расположение каждого из цехов на генплане приведено на рисунке 1, а установленные мощности каждого из них приведены в таблице 4.

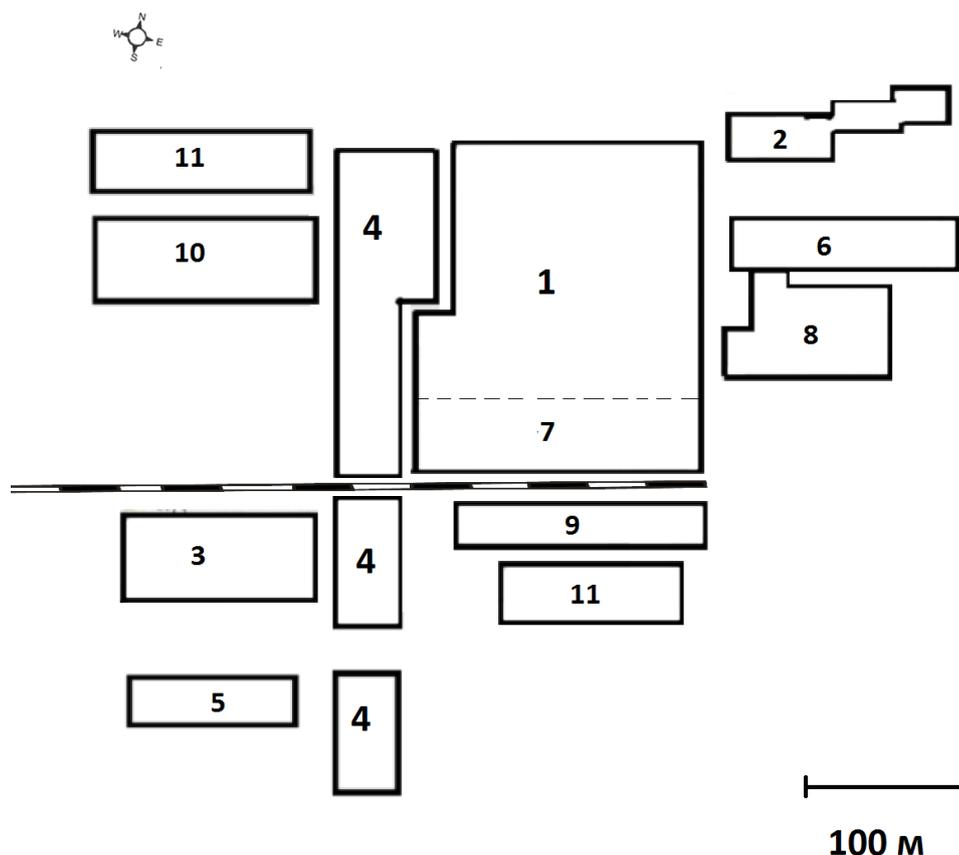


Рисунок 1 – Расположение цехов на генплане

Таблица 4 – Установленные мощности цехов предприятия

Номер по генплану	Наименование цеха	Установленная мощность
1	Формовочный	2700
2	АБК	210
3	Формовочный 3 участок	218
4	СГП	356
5	Формовочный 9 участок	180
6	Формовочный 6 участок	170
7	Арматурный 4 пролёт	1280
	Арматурный 8 пролёт	1115
8	БСУ	315
9	Электроцех	238
10	Механический цех	356
11	Металлооснастка	390
12	Компрессорная	<b>10 кВ</b> 600
		<b>0,38 кВ</b> 30

Для примера приведён расчет электрической нагрузки формовочного цеха, для которого по справочным данным [2]  $K_c = 0,4$  и  $\cos \varphi = 0,6$ .

$$P_p = K_c \cdot P_n = 2700 \cdot 0,4 = 1080 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1080 \cdot 1,33 = 1440 \text{ кВар};$$

Аналогично определяются расчетные нагрузки других цехов, результаты вычислений заносятся в таблицу 5.

Также необходимо определить расчетные осветительные нагрузки для каждого цеха и для уличного освещения. Определяются они следующим образом

$$P_{po} = P_{уд.o} \cdot F \cdot K_{co}, \quad (3)$$

где  $P_{уд.o}$ , Вт/м<sup>2</sup> – удельная плотность осветительной нагрузки,  
 $K_{co}$  – коэффициент спроса осветительных нагрузок, принимаемый по [2],  
 $F$  – площадь производственного помещения, м<sup>2</sup>.

Для примера приведён расчет осветительной нагрузки для того же цеха, что рассматривался предыдущих расчетах

$$P_{po} = P_{уд.o} \cdot F \cdot K_{co} = 12 \cdot 21000 \cdot 0,95 = 234,9 \text{ кВт}.$$

Далее определяется полная расчетная мощность цеха

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(1080 + 234,9)^2 + 1440^2} = 1953,05 \text{ кВа}.$$

Таблица 5 – Определение расчетных нагрузок 0,38 и 10 кВ по установленной мощности и коэффициенту спроса без учета освещения

Наименование потребителей	$P_n$ , кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар
<b>Потребители 0,38 кВ</b>						
Формовочный	2700	0,4	0,6	1,33	1080	1440
АБК	210	0,4	0,8	0,75	84	63
Формовочный 3 участок	218	0,4	0,7	1,02	87,2	88,9618
СГП	356	0,3	0,7	1,02	106,8	108,958
Формовочный 9 участок	180	0,4	0,7	1,02	72	73,4547
Формовочный 6 участок	170	0,4	0,7	1,02	68	69,3739
Арматурный цех (пролёт 8)					364,552	349,95
Арматурный цех (пролёт 4)	1280	0,35	0,6	1,33	448	597,333
БСУ	315	0,5	0,75	0,88	157,5	138,902
Электроцех	238	0,35	0,7	1,02	83,3	84,983
Механический цех	356	0,4	0,7	1,02	142,4	145,277
Металлооснастка	390	0,35	0,7	1,02	136,5	139,258
Компрессорная	30	0,5	0,7	1,02	15	15,3031
<b>Итого по 0,38 кВ</b>	6443				2845,252	3314,75
<b>Потребители 6-10 кВ</b>						
Компрессорная	600	0,5	1	0	300	
<b>Итого по 6-10 кВ</b>					300	

Таблица 6 – Определение расчетных осветительных нагрузок

Наименование потребителя	$F$ , м <sup>2</sup>	Руд.о, Вт/м <sup>2</sup>	$P_{н.о.}$ , кВт	$K_{со}$	$P_{р.о.}$ , кВт
Формовочный	21000	12	252	0,95	239,4
АБК	3042	16	48,672	0,9	43,8
Формовочный 3 участок	2000	14	28	0,85	23,8
СГП	24500	6	147	0,6	88,2
Формовочный 9 участок	1800	14	25,2	0,85	21,4
Формовочный 6 участок	2612	14	36,568	0,85	31
Арматурный 4 пролёт	2800	15	47,1	0,85	35,7
БСУ	4900	15	73,5	0,85	62,5
Электроцех	2980	15	44,7	0,85	38
Механический цех	2190	15	32,85	0,85	28
Металлооснастка	2101	15	31,515	0,85	26,7
Компрессорная	1929	10	19,29	0,85	16,4
Территория предприятия	170890	0,16	27,3424	1	27,3

Аналогично производится расчет для остальных цехов. Результаты расчетов представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 7 – Итоговая нагрузка предприятия по потребителям

Наименование потребителя	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	P <sub>po</sub> , кВт	S <sub>p</sub> ,кВа
<b>0,38 кВ</b>				
Формовочный	1080	1440	239,4	1953,05
АБК	84	63	43,8048	142,489
Формовочный 3 участок	87,2	88,962	23,8	142,25
СГП	106,8	108,96	88,2	223,376
Формовочный 9 участок	72	73,455	21,42	118,84
Формовочный 6 участок	68	69,374	31,0828	120,955
Арматурный цех	813	947,3	47,1	1279,51
БСУ	157,5	138,9	62,475	260,159
Электроцех	83,3	84,983	37,995	148,103
Механический цех	142,4	145,28	27,9225	223,864
Металлооснастка	136,5	139,26	26,7878	214,606
Компрессорная	15	15,303	16,3965	34,9274
Освещение территории			27,3424	27,3424
<b>Итого по 0,38 кВ</b>	2845,7	3314,8	693,727	4889,48
<b>10 кВ</b>				
Компрессорная	300	0		300

Так как трансформаторы цеховых подстанций и высоковольтная сеть ещё не выбраны, то потери мощности в них приближенно определяются следующим образом

$$\Delta P_T = 0,02 S_p^H = 0,02 \cdot 4889,48 = 97,79 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 4889,48 = 488,95 \text{ кВар},$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^P = 4889,48 \cdot 0,03 = 146,7 \text{ кВт}.$$

где  $S_p^H$  – расчетная мощность предприятия на шинах до 1000 В за максимально загруженную смену.

Суммарные расчетные мощности на шинах ЦРП

$$P_{p\Sigma} = (\sum P_p^H + \sum P_p^B) \cdot K_{pm} + P_{po} + \Delta P_T + \Delta P_L. \quad (4)$$

$$P_{p\Sigma} = (2845,7 + 300) \cdot 0,95 + 693,727 + 97,79 + 146,7 = 3927 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\Sigma} = (\sum Q_p^H + \sum Q_p^B) \cdot K_{pm} + \Delta Q_T. \quad (5)$$

$$Q_{p\Sigma} = (3315 + 0) \cdot 0,95 + 488,95 = 3638 \text{ кВар}.$$

Полная расчетная мощность предприятия на шинах ЦРП

$$S_{p \text{ црп}} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}; \quad (6)$$
$$S_{p \text{ црп}} = \sqrt{3927^2 + 3638^2} = 5353 \text{ кВа.}$$

### 3.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок представляет собой размещённые на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определённом масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяются из выражения

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (7)$$

где  $S_{pi}$  – расчетная мощность  $i$ -го цеха с учетом освещения, кВа;

$m$  – масштаб для определения площади круга, являющийся постоянным для всех цехов предприятия, кВа / мм<sup>2</sup>.

Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами. Принимается, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр круга совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех на плане.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора  $\alpha$  определяется следующим образом

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}}. \quad (8)$$

Радиус окружности для формовочного цеха при масштабе  $m=2$  кВа/мм<sup>2</sup> согласно (7)

$$r_1 = \sqrt{\frac{S_{p1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1953,05}{3,14 \cdot 2}} = 17,63 \text{ мм}^2.$$

Угол сектора круга согласно (8)

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{po1}}{S_{p1}} = \frac{360 \cdot 239,4}{1953,05} = 44^\circ.$$

Аналогично рассчитываются радиусы окружностей и углы секторов для остальных цехов, все полученные результаты заносятся в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

№ п/п	$S_{pi}, \text{кВа}$	$P_{p.o}, \text{кВт}$	$r, \text{мм}$	$\alpha, \text{град}$	$x_i, \text{м}$	$y_i, \text{м}$	$S_{pi} \cdot x_i, \text{кВа} \cdot \text{м}$	$S_{pi} \cdot y_i, \text{кВа} \cdot \text{м}$
Потребители 0,38 кВ								
1	1953	239,4	17,63	44,12	350	350	683567	683567
2	142,48	43,8	4,76	110,67	505	437	71957	62267
3	142,25	23,8	4,76	60,23	150	163	21338	23186
4	223,37	88,2	5,96	142,15	227	237	50706	52940
5	118,83	21,42	4,35	64,89	150	155	17826	18420
6	120,95	31	4,39	92,51	550	362	66525	43785
7	1280	47,1	14,28	13,41	375	237	480027	303377
8	260,15	62,47	6,44	86,45	520	308	135283	80129
9	148,1	37,99	4,86	92,35	335	188	49615	27843
10	223,86	27,92	5,97	44,9	120	365	26864	81710
11	214,6	26,78	5,85	44,94	362	152	77687	32620
12	34,927	16,39		169	135	422	4715,2	14739
Потребители 10 кВ								
1	300		8,26		165	422	50700	40500
Итого	5162,6						1736810	1465083

На генплан завода произвольно наносятся оси координат и определяются значения  $x_i$  и  $y_i$  каждого цеха.

Координаты центра электрических нагрузок составят

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{1736810}{5162,6} = 336 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{1465083}{5162,6} = 283 \text{ м}.$$

Построенная картограмма электрических нагрузок предприятия приведена в приложении А.

### 3.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанции

Номинальная мощность устанавливаемых цеховых трансформаторов определяется плотностью нагрузки и из соображений уменьшения номенклатуры складского резерва выбирается одинаковой для всей группы.

Плотность электрической нагрузки составляет

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{\text{цехов}}} = \frac{4655}{71854} = 0,06 \text{ кВа/м}^2.$$

Рекомендуемая мощность цеховых трансформаторов для данной плотности составляет 630 кВа. Минимально возможное число трансформаторов данной мощности составит

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H}{\beta_T \cdot S_H} = \frac{3545}{0,7 \cdot 630} = 8 \text{ шт.}$$

Учитывая перспективу роста нагрузок предприятия, следовало бы принять к рассмотрению установку трансформаторов мощностью 1000 кВа в том же количестве. Но решение в пользу конкретной мощности будет вынесено ниже при сопоставлении коэффициентов загрузки трансформаторов с учетом и без учета компенсации реактивной мощности на предприятии.

### **3.5 Компенсация реактивной мощности**

Значение расчетной полной мощности на шинах ЦРП было умышленно определено без учета компенсирующих устройств с целью отображения реального положения на рассматриваемом предприятии.

Вопрос установки компенсирующих устройств на данном предприятии является актуальным как относительно различных технических, так и экономических факторов. Например, скомпенсировав реактивную мощность, можно значительно увеличить пропускную способность элементов действующей схемы электроснабжения, либо удешевить проектируемую систему. Также следует иметь в виду, что передача реактивной мощности из системы по линиям потребителя сопровождается дополнительными потерями оплачиваемой активной мощности, которые также можно сократить с помощью компенсации. Другим немаловажным фактором является то, что потребление реактивной мощности сверх регламентированного значения приводит к дополнительным надбавкам к тарифу на электроэнергию, которые также можно избежать, и даже наоборот, получить скидку на оплату электроэнергии, внедрив на предприятии рассматриваемое мероприятие.

Также следует взять на заметку, что компенсация реактивной мощности (далее КРМ) является одним из наиболее эффективных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, внедрение которого не требует реконструкции действующих сетей и оборудования, имеет достаточно небольшой срок окупаемости. Поэтому внедрение компенсации реактивной мощности на данном этапе послужит большим плюсом при необходимости прохождения добровольного энергетического обследования с целью получения льгот на оплату топливно-энергетических ресурсов либо участия в различных конкурсах.

При современном и грамотном подходе к решению задачи КРМ, можно добиться значения коэффициента мощности близкого к единице.

На предприятии имеется два синхронных двигателя напряжением 10 кВ, мощность каждого из которых составляет 300 кВт, но исследования показывают, что использование высоковольтных синхронных двигателей мощностью ниже 1600 кВт для КРМ неэкономично [3]. Также зачастую является нецелесообразной загрузка трансформаторов посредством пропускания через них реактивной мощности на сторону низкого напряжения. Поэтому синхронные двигатели как источники реактивной мощности в данной работе рассматриваться не будут.

Наиболее свежим и эффективным решением поставленной задачи является установка автоматических конденсаторных установок на стороне низкого напряжения. Так как нагрузка предприятия является в основном резкопеременной (большое количество грузоподъемных кранов, сварочных аппаратов, машин контактной сварки и других электроприёмников, работающих в повторно-кратковременных режимах), то для воплощения данного мероприятия необходимо рассматривать тиристорные установки данного типа, с помощью которых осуществляется динамическая компенсация реактивной мощности в реальном времени. Данный способ регулирования обусловлен минимальным промежутком времени между подключением и отключением ступеней конденсаторов. Так например, минимальный интервал времени между двумя последовательными переключениями релейного контактора, составляет, как правило 60 секунд, что вызвано необходимостью обеспечения разряда конденсаторной батареи. Батареи конденсаторов с быстродействующим тиристорным управлением, спроектированы таким образом, что конденсаторы подключаются в момент равенства напряжения сети и напряжения на конденсаторе, обеспечивая безударное переключение за время одного периода.

Команда на подключение и отключение определённой ступени подаётся регулятором реактивной мощности, который производит точный автоматический подбор реактивной мощности установки, необходимой для компенсации реактивной мощности внешней сети в режиме реального времени. На ЖК-дисплее регулятора отображаются состояния различных параметров сети и установки. В общем случае это значения тока, напряжения, частоты, реактивной и активной мощности, заданного и текущего коэффициента мощности, различные аварийные сигналы, информация о состоянии установки (например, значение температуры внутри установки, информация о подключенных внешних устройствах и т. д.). Практически все современные регуляторы реактивной мощности снабжены

интерфейсами RS-232 и RS-485, что позволяет осуществлять их подключение к компьютеру для обработки данных и обеспечить удалённое управление работой установки.

Также основными элементами установки являются антирезонансные (фильтрующие) дроссели, которые предназначены для защиты фазных конденсаторов от высших гармоник тока, наличие которых в сети обусловлено использованием различных сварочных машин, статических преобразователей электрической энергии и других приборов и оборудования с нелинейными характеристиками.

Установки комплектуются современными компактными трёхфазными конденсаторами. Так, например, масса современного конденсатора в семь и более раз меньше по сравнению с отечественными устаревшими аналогами. Габариты современных косинусных конденсаторов также гораздо меньше устаревших аналогичной ёмкости. Использование твёрдой изоляции и вакуумной технологии при заливке корпуса исключает в корпусе конденсатора жидких или газообразных компонентов. Конденсаторы являются взрыво- и пожаробезопасными и не содержат в своём составе экологически опасных и токсичных включений. Помимо вышеперечисленных преимуществ, применяемые в современных установках конденсаторы, обладают свойством самовосстановления (способность восстанавливать свойства после местного пробоя диэлектрика) и имеют в своём составе устройство защиты от превышения давления, срабатывание которого сопровождается деформацией мембраны корпуса и дальнейшим перегоранием внутреннего предохранителя.

В настоящее время на рынке компенсирующих устройств России имеется достаточный выбор автоматических конденсаторных установок, наиболее известными поставщиками которых являются компании «Матик электро», «Хомов электро», «Брянский электротехнический завод», входящий в холдинг инжиниринговой компании «Руэлта».

Ниже представлен внешний вид тиристорных конденсаторных установок компании «Матик электро» (рисунок 2 а) и «Хомов электро» (рисунок 2 б). Установки имеют относительно компактные габариты, что позволяет довольно эргономично размещать их в помещении РУ 0,4 кВ.

При значении полной расчетной мощности, равной 5353 кВа, расчетный ток на шинах ЦРП составит

$$I_p = \frac{S_p}{U_{ном} \cdot \sqrt{3}} = \frac{5353}{10 \cdot \sqrt{3}} = 309 \text{ А.}$$

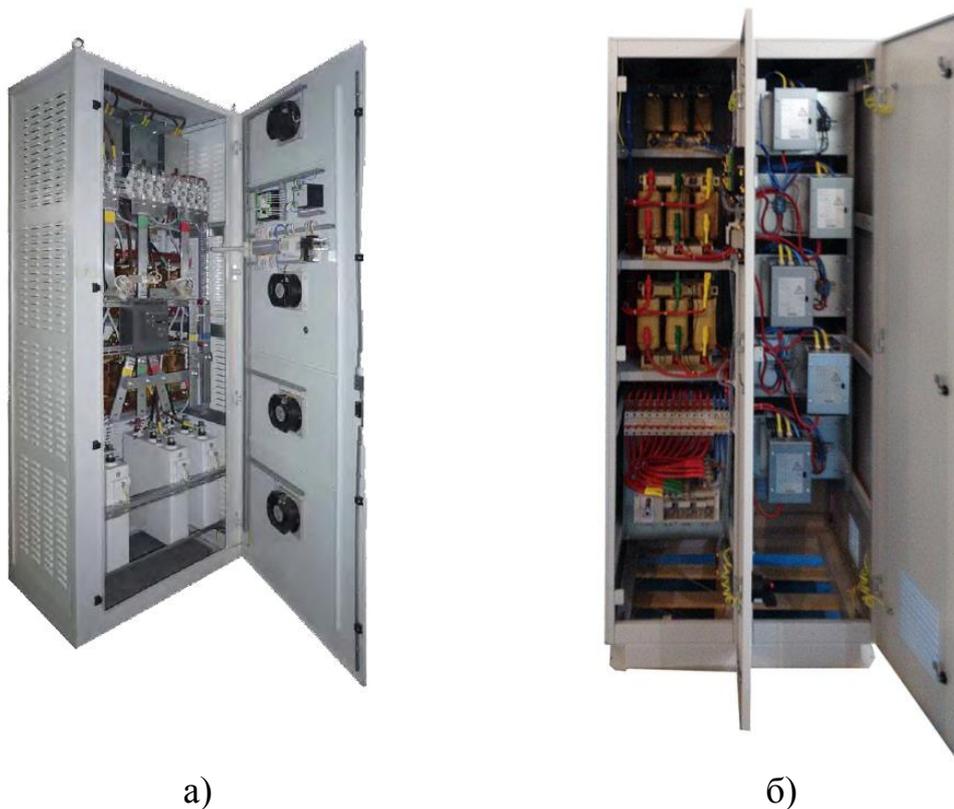


Рисунок 2 - Внешний вид тиристорных установок КРМ

При питании двумя линиями, ток каждой из них составит

$$I_{л} = \frac{I_p}{2} = \frac{309}{2} = 154,5 \text{ А.}$$

Необходимое сечение кабельной линии

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{л}}{j_{\text{ЭК}}} = \frac{154,5}{1,1} = 140 \text{ мм}^2,$$

где  $j_{\text{ЭК}}$  – экономическая плотность тока.

Ближайшее стандартное сечение составляет  $150 \text{ мм}^2$ . Допустимый длительный ток для алюминиевого трёхжильного кабеля с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 10 кВ составляет 275 А [2].

Данное сечение обеспечит 44 % запаса по току в нормальном режиме и 14% - в аварийном.

С учетом перспективы роста нагрузки предприятия необходимо произвести выбор ближайшего большего стандартного сечения.

Выбранное сечение кабеля  $3 \times 185 \text{ мм}^2$  с длительно допустимым током 310 А обеспечило 50 % запаса по мощности в нормальном режиме, и 23 % - аварийном.

Для определения расчетного тока на шинах ЦРП предприятия с учетом компенсирующих устройств, необходимо воспользоваться данными о реактивной нагрузке каждого из цехов и предварительно распределить нагрузку цехов между трансформаторными подстанциями. В таблице 9 приведен перечень потребителей, предварительно распределённых по конкретным трансформаторам, и реактивная нагрузка, приходящаяся на каждый из них. В последнем столбце приведена номинальная мощность конденсаторных установок для РУ 0,4 кВ каждого из трансформаторов.

Таблица 9 - Распределение нагрузки цехов по подстанциям

Номер подстанции	Трансформатор	Цех	Реактивная мощность, кВар	Номинальная мощность УКРМ, кВар
1	1	Арматурный 4 пр.	597	600
	2	БСУ	138	
		6 участок	69	
		АБК	63	
	Итого на трансф.	270	270	
2	1	Формовочный	480	500
	2	Формовочный	480	500
3	1	Арматурный 8пр.	346	350
	2	Металлооснастка	139	
		СГП	109	
		Электроцех	85	
		Итого на трансф.	333	350
4	1	9 участок	73	
		3 участок	89	
		Механический цех	145	
		Компрессорная	15	
		Итого на трансф.	322	350
	2	Формовочный	480	500

Применяя динамическую компенсацию реактивной мощности, не рекомендуется задавать коэффициент мощности равный единице. Приняв

оптимальный требуемый коэффициент мощности, равный 0,98 для каждой установки, будет получено следующее значение полной мощности на шинах 0,4 кВ

$$S_p^H = \frac{\sum P_{pm}^H}{0,97} = \frac{3539}{0,98} = 3611 \text{ кВа},$$

где  $\sum P_{pm}^H$  – расчетная мощность за максимально загруженную смену.

Тогда реактивная мощность, потребляемая на стороне НН после введения компенсирующих устройств, составит

$$Q_{HH} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{3611^2 - 3539^2} = 717 \text{ кВар}.$$

Потери в линиях и трансформаторах составят

$$\Delta P_T = 0,02 S_p^H = 0,02 \cdot 3611 = 72,22 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 3611 = 361,1 \text{ кВар};$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 3611 \cdot 0,03 = 108,33 \text{ кВт}.$$

Суммарные расчетные мощности на шинах ЦРП согласно (4) и (5)

$$P_{p\Sigma} = (2845,7 + 300) \cdot 0,95 + 693,727 + 72,22 + 108,33 = 3862,69 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\Sigma} = (717 + 0) \cdot 0,95 + 361,1 = 1042,25 \text{ кВар}.$$

Полная расчетная мощность предприятия на шинах ЦРП согласно (6)

$$S_{p \text{ црп}} = \sqrt{3862,69^2 + 1042,25^2} = 4000 \text{ кВа}.$$

В данном случае расчетный ток на шинах ЦРП составит

$$I_p = \frac{S_p}{U_{ном} \cdot \sqrt{3}} = \frac{4000}{10 \cdot \sqrt{3}} = 231 \text{ А}.$$

Ток, приходящийся на каждую из линий, составит

$$I_L = \frac{I_p}{2} = \frac{231}{2} = 115,5 \text{ А}.$$

Необходимое сечение кабельной линии

$$F_{ЭК} = \frac{I_L}{j_{ЭК}} = \frac{115,5}{1,1} = 105 \text{ мм}^2.$$

Сечение 120 мм<sup>2</sup> с длительно допустимым током 240 А обеспечит 52 % запаса по мощности в нормальном режиме и 26 % - в аварийном, что незначительно, но превосходит запас по мощности, который обеспечивало сечение 185 мм<sup>2</sup> при отсутствии компенсирующих устройств.

Пусть без применения компенсации реактивной мощности было принято решение об установке трансформаторов мощностью 1000 кВа. Очевидно, что с введением компенсации реактивной мощности снизится коэффициент загрузки трансформаторов. Поэтому целесообразно сопоставить коэффициенты загрузки трансформаторов мощностью 1000 кВа без применения и с применением компенсирующих устройств, и 630 кВа с учетом компенсации. В таблице 10 приводится данное сопоставление.

Таблица 10 – сопоставления коэффициентов загрузки трансформаторов с учетом и без учета компенсации реактивной мощности

Номер подстанции	Трансформатор	Наименование цеха	Нагрузка на трансформатор, Ква		Коэффициент загрузки трансформаторов		
			Без КРМ	с КРМ	Без КРМ S=1000 кВа	С КРМ S=630 кВа	С КРМ S=1000 кВа
1	1	Арматурный 4 пр.	768,59	493,57			
			768,59		0,768	0,783	0,493
	2	БСУ	260,16				
		6 участок	120,95				
		АБК	142,48				
		523,59	456	0,523	0,723	0,456	
2	1	Формовочный	651	448,77	0,651	0,712	0,448
	2	Формовочный	651	448,77	0,651	0,712	0,448
3	1	Арматурный 8пр.	511	383,62	0,511	0,608	0,383
	2	Металлооснастка	214,6				
		СГП	223,86				
		Электроцех	148,1				
		586,56	489,36	0,586	0,776	0,489	
4	1	9 участок	118,8				
		3 участок	142,25				
		Механический цех	223,86				
		Компрессорная	35				
			519,91	414,42	0,519	0,657	0,414
	2	Формовочный	651	448,77	0,651	0,712	0,448

Из таблицы 10 видно, что при установке компенсирующих устройств и снижении мощности трансформаторов наблюдается незначительное увеличение коэффициента загрузки. При данном коэффициенте загрузки каждый из трансформаторов в состоянии осуществлять работу в аварийном режиме, но не более того. То есть в данном случае отсутствует запас по мощности. При установке трансформаторов мощностью 1000 кВа обеспечивается значительный запас по мощности, однако низкий коэффициент загрузки будет сопровождаться дополнительными потерями электроэнергии. Если учесть тот факт, что установка нового оборудования обычно сопровождается демонтажем старого с меньшей энергоэффективностью, то существует большая вероятность того, что нагрузка останется неизменной, что естественно толкуется в пользу трансформаторов мощностью 630 кВа. Повышение энергоэффективности оборудования в процессе эксплуатации обусловит снижение нагрузки и обеспечение резерва для подключения дополнительного оборудования, а при внедрении дополнительных электроприёмников относительно большой мощности при расширении цеха, целесообразна установка дополнительного трансформатора. Такой подход является самым оптимальным, так как режим работы трансформаторов в данном случае является эффективным с точки зрения энергосбережения, а при перспективе присоединения дополнительных мощностей появляется стимул повысить энергоэффективность действующего оборудования, тем самым обеспечив проведение мероприятия по энергосбережению и снижению удельных расходов на выпуск продукции. В виду выше изложенного, к установке принимаются трансформаторы мощностью 630 кВа.

Как уже было сказано выше, при отсутствии компенсации реактивной мощности, трансформаторы мощностью 1000 кВа будут работать практически с таким же коэффициентом загрузки. Следовательно, применение компенсации реактивной мощности также способствует снижению капитальных затрат на сооружение подстанций.

Применение компенсации реактивной мощности наряду со снижением мощности трансформатора чревато неприятными последствиями в случае выхода компенсирующих устройств из строя. Этого можно избежать, обеспечив в таких случаях параллельную работу трансформаторов на подстанции. Вероятность того, что один из трансформаторов и компенсирующее устройство выйдут из строя одновременно, очень мала. Поэтому при аварийном отключении конденсаторной установки, либо при выводе её в ремонт, включение трансформаторов на параллельную работу снизит нагрузку на находящийся под угрозой перегрузки трансформатор.

Наиболее наглядно описать вышеописанный процесс можно воспользовавшись рисунком 3 и таблицей 10. Пусть на данном рисунке приведена схема подстанции номер 1, где трансформаторы работают с наибольшей загрузкой. При отключении установки компенсации реактивной мощности УКРМ1, нагрузка на трансформатор возрастёт с 493 до 768 кВар, соответственно вызвав изменение коэффициента загрузки с 0,783 до 1,22. Включив секционный выключатель QF3, трансформаторы выйдут на параллельную работу. Коэффициент загрузки каждого из трансформаторов составит

$$k_3 = \frac{S'_{\text{тр1}} + S_{\text{тр2}}}{2 \cdot S_{\text{ном тр}}} = \frac{768,59 + 456}{2 \cdot 630} = 0,97,$$

где  $S'_{\text{тр1}}$  – мощность, приходящаяся на первый трансформатор при выходе из строя компенсирующего устройства;

$S_{\text{тр2}}$  – мощность, приходящаяся на второй трансформатор, при нормально функционирующем компенсирующем устройстве.

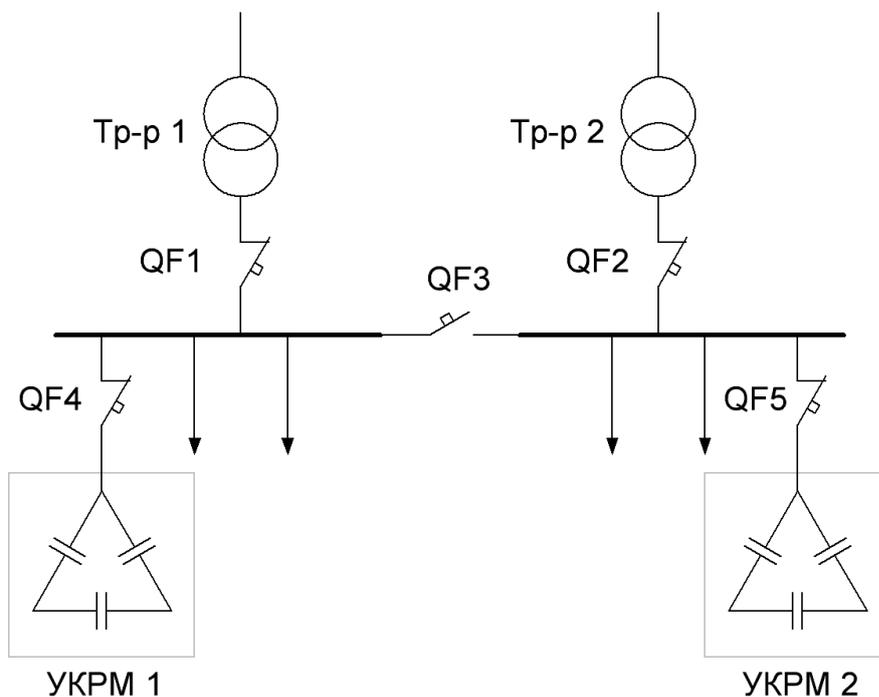


Рисунок 3 – Схема подстанции и подключения установок КРМ

Следует отметить, что равенство коэффициентов загрузки справедливо при тождественности групп соединения обмоток, равенстве напряжений КЗ и коэффициентов трансформации. Обеспечить данное условие легче при

установке однотипных трансформаторов на подстанциях, что также приводит к уменьшению номенклатуры складского резерва предприятия.

Технико-экономическое обоснование применения компенсации реактивной мощности на предприятии представлено в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

При проведении технико-экономического обоснования будет использован прайс-лист компании «Хомов электро». Для достоверности расчетов к установке приняты устройства КРМТФ данного производителя. В данных установках использованы итальянские цифровые микропроцессорные регуляторы типа DCRK компании «Lovato Electric». Помимо преимуществ, которые были перечислены выше в процессе общего обзора регуляторов, рассматриваемые осуществляют расчет среднего еженедельного коэффициента мощности, имеют в комплекте программное обеспечение для полного использования всех функций, оснащены дополнительными выходными реле, программируемыми как «Тревога» или «Вытяжной вентилятор».

Установки КРМТФ различаются количеством и номиналом ступеней регулирования. Для обеспечения более плавной и точной регулировки к установке приняты в основном установки с большим количеством ступеней при меньшем номинале из ряда типичных. В таблице 11 приведен перечень выбранных установок.

Таблица 11 - Выбор установок компенсации реактивной мощности

Номер подстанции	Трансформатор	Реактивная нагрузка, кВар	Установка компенсации реактивной мощности	Ступени
1	1	597,3	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-600-25	2x25,11x50
	2	270,37	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-270-10	10,10,20,30,50,50,50,50
2	1	480	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	2x25,9x50
	2	480	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	2x25,9x50
3	1	346	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-350-25	2x25,6x50
	2	333	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-333-33,3	10x33,3
4	1	322	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-325-25	3x25,5x50
	2	480	КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	2x25,9x50

### 3.6 Схема внешнего электроснабжения

Завод расположен вблизи тепловой электростанции ГРЭС2, вследствие чего принято решение осуществить его электроснабжение от шин главного распределительного устройства (далее ГРУ) данной электростанции, что является огромным преимуществом. При получении питания с шин генераторного напряжения ТЭЦ, электроэнергия сразу распределяется по цеховым подстанциям и высоковольтным электроприёмникам, то есть отсутствует потребность в передачи электроэнергии на более высоких напряжениях и установки трансформаторов на ГПП. Это значительная экономия на внешнем электроснабжении предприятия.

Электроснабжение предприятия осуществляется от шин генераторного напряжения ГРЭС 2 (10 кВ) двумя кабельными линиями. ЦРП максимально приближена к центру электрических нагрузок. Расположить её в самом центре не представляется возможным, так как по направлению от ввода кабельных линий на территорию предприятия до центра электрических нагрузок располагаются различные производственные участки с невозможностью переноса выездных ворот в другую сторону, автодороги, подъездные пути. Также целесообразность установки ЦРП в данном месте оправдана перспективой роста нагрузок в юго-восточном направлении от него, обусловленной наличием незастроенных площадей в данной части, что несомненно приведёт к смещению центра электрических нагрузок к выбранной точке.

Выбор сечения питающих линий производится по нагреву расчетным током. Расчетный ток, приходящийся на одну из двух радиальных линий, рассчитывается следующим образом

Ранее с учетом перспективы роста нагрузок было принято сечение кабеля, равное 120 мм<sup>2</sup>.

Необходимо произвести проверку выбранного кабеля по допустимой потере напряжения, вычислив допустимую длину линии выбранного сечения для выполнения данного условия

$$l_{\text{доп}} = l_{\Delta u 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3. \quad (9)$$

где  $l_{\Delta u 1\%}$  – длина кабеля на 1% потери напряжения, км [2],

$\Delta U_{\text{доп}\%}$  – допустимая потеря напряжения, %,

$k_3$  – коэффициент, характеризующий загрузку линии, определяемый следующим образом

$$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p} = \frac{240}{115,5} = 2,07.$$

Согласно (9) допустимая по потере напряжения длина составляет

$$l_{\text{доп}} = 0,93 \cdot 5 \cdot 2,07 = 9,6 \text{ км},$$

Выбранное сечение успешно проходит по условию допустимой потери напряжения, так как соблюдается условие

$$l_{\text{доп}} = 9,6 \text{ км} > l_{\text{факт.}} = 2 \text{ км}.$$

На местности завод расположен в низине близ реки Ушайки, возле завода проходят электрифицированные железнодорожные пути. Исходя из из данных условий, к прокладке в траншее принимается кабель марки ААБ2л, пригодный для использования в грунтах с высокой коррозионной активностью и наличием блуждающих токов.

Упрощённая схема внешнего электроснабжения приведена на рисунке 4.

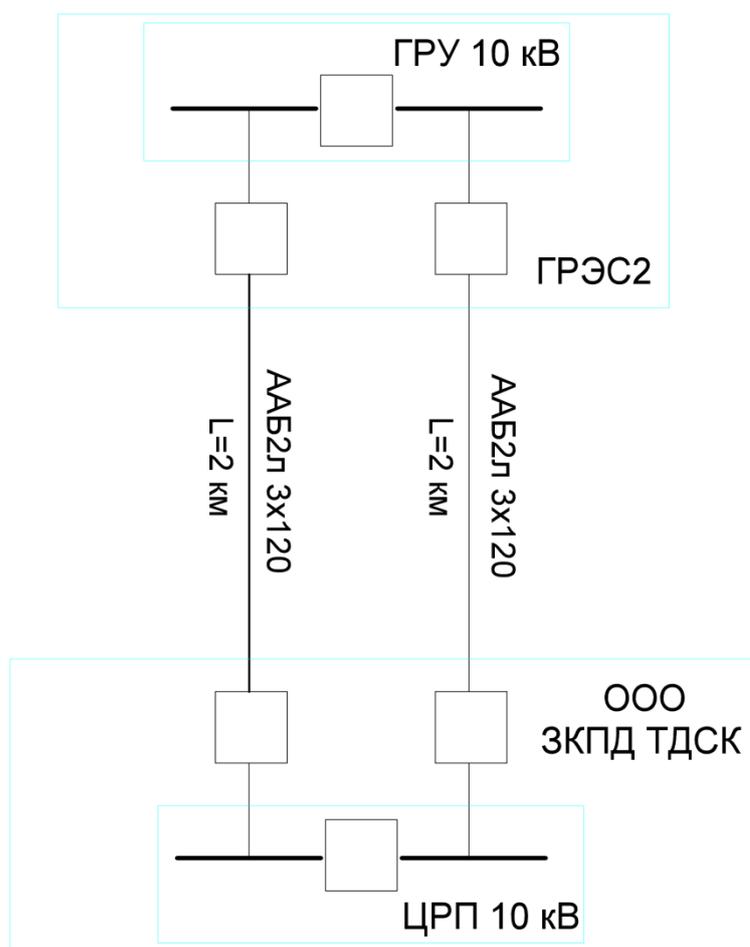


Рисунок 4 –Схема внешнего электроснабжения предприятия

### 3.7 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Для правильного выбора аппаратов и проводников высоковольтной сети необходимо владеть информацией о значениях токов короткого замыкания на предприятии. Например, в следующей главе будет

производиться проверка кабельных линий по условиям термической стойкости при возникновении короткого замыкания в начале линии. Исходя из этого, необходимо произвести расчет тока короткого замыкания на шинах ЦРП предприятия.

На рисунке 5 приведена упрощенная расчетная схема и схема её замещения, с определения сопротивлений элементов которой необходимо начать расчет.

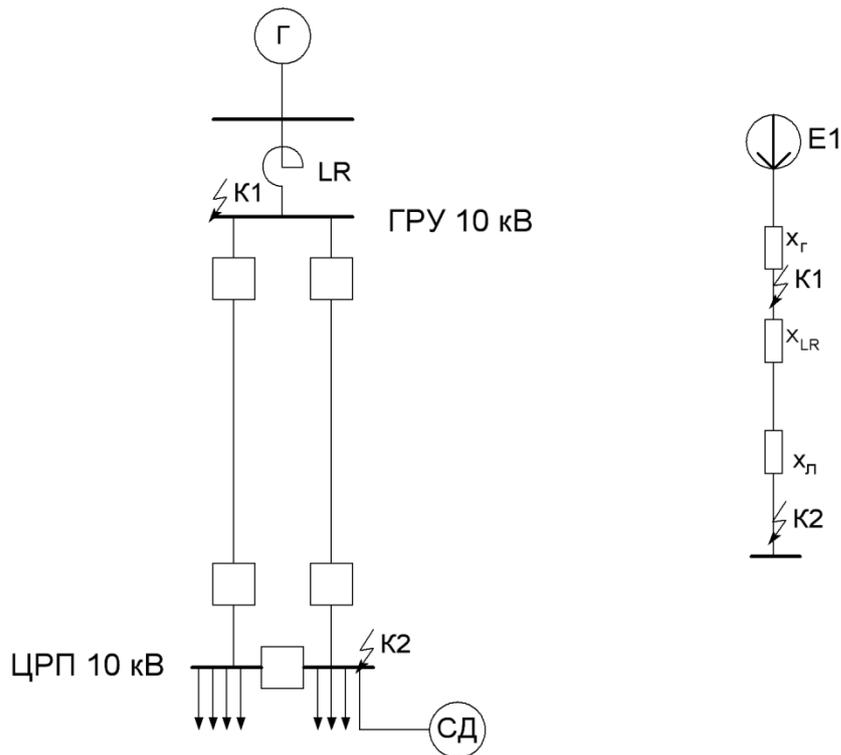


Рисунок 5 – Расчетная схема и схема замещения

Так как нет точной информации об оборудовании ГРУ, необходимо воспользоваться информацией о типовых схемах ТЭЦ.

Согласно [4] на ТЭЦ, обычно от генераторов 63 МВт, потребители 6-10 кВ получают питание реактированными отпайками.

Пусть на ГРЭС2 установлен турбогенератор типа ТВФ-63, имеющий следующие каталожные данные

$$x''d_* = 0,203 \text{ отн. ед}, \quad S_{\text{НОМ}} = 78,75 \text{ МВА.}$$

Его сопротивление в относительных единицах составит

$$x_{*Г} = x''d_* = \frac{S_б}{S_{\text{НОМ}}} = 0,203 \cdot \frac{1000}{78,75} = 2,57 \text{ отн. ед},$$

где  $S_б$  – базисная мощность, принятая за 1000 МВА.

Определив значение тока короткого замыкания на шинах ГРУ, можно будет приблизительно определить номинальное сопротивление установленного на ГРЭС реактора.

Базисный ток для рассматриваемого случая равен

$$I_{бк} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{ср}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА};$$

А ток короткого замыкания

$$I_{по1} = \frac{E''_*}{x_{резК1}} \cdot I_{бк} = \frac{1,08}{2,57} \cdot 55 = 23,1 \text{ кА},$$

где  $E''_*$  – Значение ЭДС турбогенератора до 1000 МВт [4].

Допустимый максимальный ток линии составляет 240 А . Пусть на отходящую линию установлен маломасляный выключатель ВММ-10-630 с номинальным током 630 А и с номинальной отключающей способностью 10 кА.

Результирующее сопротивление цепи КЗ при отсутствии реактора составило

$$x_{рез} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} \cdot I_{по1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 23,1} = 0,26 \text{ Ом}.$$

Требуемое сопротивление цепи КЗ из условия обеспечения номинальной отключающей способности выключателя

$$x_{рез}^{треб} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} \cdot I_{откл}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,6 \text{ Ом}.$$

Отсюда требуемое сопротивление реактора

$$x_p^{треб} = 0,6 - 0,26 = 0,34 \text{ Ом}.$$

Для выполнения данного условия подходит реактор РБ-10-630 с номинальным сопротивлением  $x = 0,4 \text{ Ом}$ .

Сопротивления реактора в относительных единицах равно

$$x_{p*} = x_p \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2} = 0,4 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 6,63 \text{ отн. ед.}$$

Сопротивление кабельной линии до шин ЦРП

$$z_{*л} = \sqrt{x_{уд}^2 + r_{уд}^2} \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2} = \sqrt{0,24^2 + 0,08^2} \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 4,54 \text{ отн. ед.},$$

где  $x_{уд}$  – удельное реактивное сопротивление линии.

Следует отметить, что в расчете участвует лишь одна линия. Это обусловлено тем, что с целью уменьшения токов короткого замыкания на ЦРП предприятия произведено секционирование шин.

Влиянием синхронных двигателей можно пренебречь, так как их мощность не столь значительна, и они удалены от места короткого замыкания.

Результирующее сопротивление в точке К2 составит

$$x_{\text{рез.К2}} = x_{*\Gamma} + x_{p*} + x_{*Л} = 2,57 + 6,63 + 4,54 = 13,74 \text{ отн. ед.}$$

Ток короткого замыкания на шинах ЦРП

$$I_{\text{по2}} = \frac{E''_*}{x_{\text{резК2}}} \cdot I_{\text{бк}} = \frac{1,08}{13,74} \cdot 55 = 4,32 \text{ кА.}$$

### 3.8 Схема внутриводской сети 10 кВ

Распределительная сеть 10 кВ по территории предприятия выполняется кабельными линиями, проложенными в лотковых железобетонных каналах типа ЛК. Выбор данного вида прокладки обусловлен удобством в эксплуатации и практичностью, которые заключаются в отсутствии необходимости организации земляных работ при отыскании места повреждения, возможности производить осмотры кабельных линий, заменять действующие или добавлять новые кабели.

Цеховые подстанции выполняются двухтрансформаторными. Два трансформатора получают питание от разных секций ЦРП по отдельным линиям.

В приложении А на плане с картограммой нагрузок изображено размещение подстанций и кабельных линий на территории предприятия. Данное распределение подстанций является наиболее рациональным, так как соблюдается равномерность распределения нагрузки между ними и максимально возможная их приближённость к наибольшим нагрузкам, питающимся от них.

Схема является смешанной, но в большей мере радиальной. Радиальная схема способствует повышению надёжности электроснабжения по сравнению с магистральной, и ввиду своей простоты практически исключает опасные последствия в случае ошибочных действий оперативного персонала при производстве переключений.

Расчетный ток линий внутриводских сетей, питающих цеховые подстанции принят равным номинальному току трансформатора. То есть для нормального режима радиально приходящих от ЦРП линий

$$I_p = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,37 \text{ А,}$$

и для аварийного режима

$$I_{p.\text{макс}} = \frac{S_{\text{ном.тр}} \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{630 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 72,74 \text{ А.}$$

Как видно из приложения А, данные значения расчетных токов справедливы для линий, питающих подстанции ТП1, ТП2 и ТП3. Питание подстанции ТП4 осуществляется от РУ1, осуществляющего также питание высоковольтной нагрузки компрессорной станции. Поэтому расчетный ток одной цепи линии ЦРП-РУ1 определится как сумма номинального тока трансформатора и высоковольтной нагрузки

$$I_p = \frac{S_p^B}{\sqrt{3} \cdot U} + \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 10} + \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 53,7 \text{ А,}$$

а в аварийном режиме как сумма номинальных токов двух трансформаторов и высоковольтной нагрузки

$$I_{p.\text{макс}} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 10} + \frac{630 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 90 \text{ А.}$$

Расчетный ток одной цепи двухцепной линии, питающей высоковольтную нагрузку компрессорной

Требуемое сечение определяется по экономической плотности тока и проходит проверки по работоспособности в аварийном режиме и по термической стойкости.

Для примера произведен выбор сечения кабельной линии ЦРП-ТП4. Согласно ранее полученным значениям расчетных токов в нормальном и аварийном режимах

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{53,7}{1,1} = 48,81 \text{ мм}^2.$$

Близкое стандартное сечение  $50 \text{ мм}^2$ . Под условия прокладки, окружающей среды и наличия необходимого типоразмера подходит кабель ААБвГ 50х3. Длительно допустимый ток для данного кабеля  $I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}$ .

Соблюдаются условия

$$I_p = 57,73 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 140 \text{ А}; \quad I_{p.\text{макс}} = 90 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 140 \cdot 1,3 = 182 \text{ А.}$$

Минимально возможное термически стойкое сечение определяется по формуле

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C_{\text{т}}}, \quad (10)$$

где  $B_{\text{к}}$  – тепловой импульс тока КЗ,  $\text{А}^2\text{с}$ ,

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника. Согласно [4] для кабеля с алюминиевыми сплошными жилами и бумажной изоляцией при напряжении 10 кВ  $C_T = 94$ .

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) = 4320^2 \cdot (2 + 0,01) = 37511424 \text{ A}^2\text{c},$$

где  $t_{отк}$  – принятое среднее время отключения тока КЗ, с.

$T_a$  – постоянная затухания периодической составляющей тока КЗ, принятая по [4] для распределительных сетей 10 кВ  $T_a = 0,01$  с.

Согласно (10) минимально допустимое сечение

$$F_{min} = \frac{\sqrt{37511424}}{94} = 65,15 \text{ мм}^2.$$

Как видно из данного выражения, ранее принятое сечение  $50 \text{ мм}^2$  не проходит по условиям термической стойкости. Следовательно, окончательно необходимо принять кабель ААБвГ 3х70.

При выборе сечения линий, отходящих в высоковольтной нагрузке, необходимо также соблюсти устойчивость по термической стойкости, так как место ответвления к ней от ТП4 находится не столь далеко от ЦРП. Следовательно, для данного ответвления должно быть принято сечение  $70 \text{ мм}^2$ . Также принятое сечение сможет обеспечить возможность присоединения дополнительных электроприёмников или трансформаторной подстанции в случае расширения механического цеха или установки дополнительных компрессоров на компрессорной станции.

Проверка остальных принятых сечений выполняется аналогично. Информация о расчетных токах линий в нормальных и аварийных режимах, принятых сечениях и их допустимых токах приведена в таблице 12.

Схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников приведена в приложении Б.

ЦРП предприятия выполняется в модульном исполнении. Модульные конструкции имеют большие преимущества в виду упрощения монтажа и сокращения времени на сооружение подстанции. В зависимости от габаритов распределительного пункта он будет разделён на модули, которые по своим размерам поддаются транспортировке автомобильным или железнодорожным транспортом. Транспортировка стандартных блоков БКТП не требует использования спецтехники, разрешения перевозки и сопровождения негабаритного груза. Распределительные устройства высокого напряжения поставляются в полной заводской готовности. На месте монтажа заранее сооружается фундамент либо устанавливается на железобетонную монолитную плиту поставляемый в комплекте с конструкцией кабельный полуэтаж.

Таблица 12 – Распределительная сеть 10 кВ

Номер линии	Количество линий	Назначение	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии, <b>L</b> , км	Способ прокладки	Марка и сечение кабеля	Допустимая нагрузка на кабель	
			В нормальном режиме, <b>I<sub>p</sub></b> , А	В аварийном режиме, <b>I<sub>м</sub></b> , А				В нормальном режиме, <b>I<sub>доп</sub></b> , А	В аварийном режиме, <b>1,3I<sub>доп</sub></b> , А
Л-1	2	ЦРП-ТП1	36,37	72,74	0,348	Лоток ЛК	ААБВГ 3х70	165	215
Л-2	2	ЦРП-ТП2	36,37	72,74	0,355	Лоток ЛК	ААБВГ 3х70	165	215
Л-3	2	ЦРП-ТП3	36,37	72,74	0,165	Лоток ЛК	ААБВГ 3х70	165	215
Л-4	2	ЦРП-ТП4	53,7	90	0,17	Лоток ЛК	ААБВГ 3х70	165	215
Л-5	2	ТП4-РУ2	17,32	17,32	0,25	Лоток ЛК	ААБВГ 3х70	165	215

К установке на ЦРП приняты комплектные устройства выкатного исполнения внутренней установки типа К-63, комплектуемые вакуумными выключателями ВБТЭ [5].

Во всех ячейках распределительного устройства приняты к установке выключатели ВБТЭ-М1-10-20/630 У2.

Проверка выбранного аппарата по напряжению

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

где  $U_{уст}$  – напряжение электроустановки,

$U_{ном}$  – номинальное напряжение выключателя.

Проверка на симметричный ток отключения

$$I_{по} = 4,32 < I_{отк.ном} = 20 \text{ кА},$$

где  $I_{отк.ном}$  – номинальный ток отключения выключателя.

Возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ определяется из условия

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном}, \quad (11)$$

где  $i_{a,\tau}$  – апериодическая составляющая тока КЗ в момент расхождения контактов,

$i_{a,ном}$  – номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе.

Согласно [5] апериодическая составляющая тока КЗ в момент расхождения контактов составит

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (12)$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания для ветвей, защищенных реактором, с номинальным током 630 А и ниже, определяемая по [4], с.

$\tau$  – наименьшее время от начала КЗ до момента расхождения дугогасительных контактов.

Для выключателя ВБТЭ-М1-10-20/630, согласно паспортным данным собственное время отключения  $t_{св}$  составляет 0,09 с. Следовательно

$$\tau = \tau_{з,мин} + t_{св} = 0,01 + 0,09 = 0,1 \text{ с},$$

где  $\tau_{з,мин}$  – минимальное время срабатывания релейной защиты.

Согласно (12)

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 4,32 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,1}} = 2,248 \text{ кА}.$$

Номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе определяется как

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{отк.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,11 \cdot 20 = 3,11 \text{ кА},$$

где  $\beta_n$  – нормированное значение содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе, отн.ед.

Условие (11) соблюдается, так как

$$2,28 < 3,11 \text{ кА}.$$

Проверка на электродинамическую стойкость производится по соответствию условию

$$i_y \leq i_{дин}, \quad (13)$$

где  $i_y$  – ударный ток КЗ, кА,

$i_{дин}$  – ток электродинамической стойкости выключателя, кА.

Ударный ток составит

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,32 \cdot 1,904 = 11,632 \text{ кА},$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент для ветвей, защищенных реактором, с номинальным током 630 А и ниже, определяемый по [4], с.

Выбранный аппарат проходит проверку на электродинамическую стойкость, так как согласно (13)

$$i_y = 11,632 \leq i_{дин} = 51 \text{ кА}.$$

Проверка по термической стойкости осуществляется выполнением условия

$$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \quad (14)$$

где  $B_k$  – ранее определённый импульс тока КЗ,  $A^2c$ ,

$I_{тер}$  – ток термической стойкости выключателя по каталогу, А,

$t_{тер}$  – длительность протекания тока термической стойкости по каталогу, с.

$$B_k = 37511424 < 20000^2 \cdot 3 = 1200000000,$$

Следовательно, выбранный выключатель проходит по термической стойкости. Все проверки пройдены успешно.

Согласно [5] КРУ К-63 комплектуются трансформаторами тока типа ТЛК-10, трансформаторами напряжения ЗНОЛ.06. Из данных типов измерительных трансформаторов к установке принят трансформатор тока ТЛК-10 630/5 и трансформатор напряжения ЗНОЛ 06-10.

Схема ЦРП предприятия приведена в приложении В.

### 3.9 Электроснабжение цеха

План цеха с расположением электроприёмников представлен на рисунке 6.

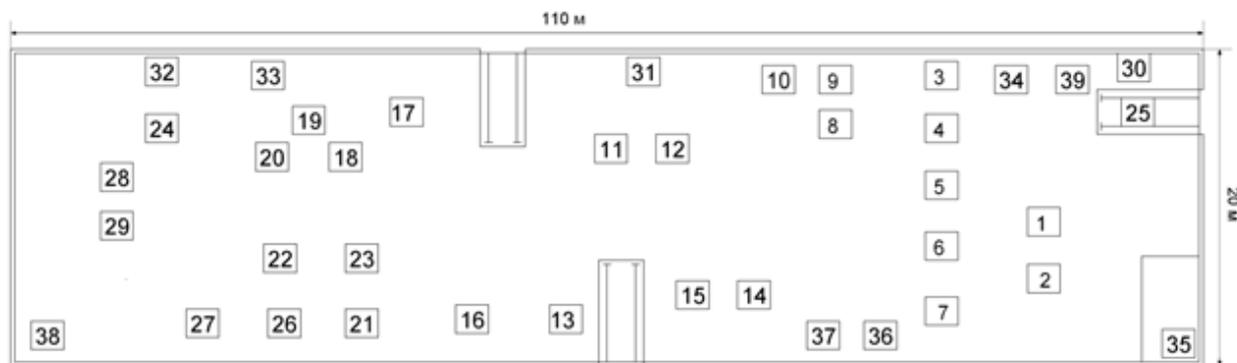


Рисунок 6 – План цеха с расположением электроприёмников

Так как цех имеет достаточную протяжённость, то будет целесообразным определить центр электрических нагрузок цеха. Определяется он аналогично способу, рассмотренному в главе 3.

Расчетные данные для вычисления центра электрических нагрузок сведены в таблицу 13. Номера электроприёмников на плане соответствуют их номерам в таблице.

Таблица 13 – Расчетные данные для определения центра электрических нагрузок цеха

№	Наименование	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	X	Y	$P \cdot x$	$P \cdot y$
1	Станок для правки и резки	20	15	12	300	240
2	Станок для правки и резки	20	5	10	100	200
3	Станок для правки и резки	15	17	22	255	330
4	Станок для правки и резки	15	14	22	210	330
5	Станок для правки и резки	15	10	22	150	330
6	Станок для правки и резки	4	7	22	28	88
7	Станок для правки и резки	4	2	22	8	88
8	Гибочный для прутков	5,5	15	28	82,5	154
9	Гибочный для прутков	5,5	17	28	93,5	154
10	Перемотка	4	17	32	68	128
11	Машина сварочная МТМ 160	142,2	15	50	2133	7110

Продолжение таблицы 13

№	Наименование	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	X	Y	$P \cdot x$	$P \cdot y$
12	Гибочный для сеток	4	15	46	60	184
13	Машина сварочная МКС НТ 3500	23,7	2	58	47,4	1374,6
14	Машина сварочная МТ2517	16,68	2	36	33,36	600,48
15	Машина сварочная МТ2827	31,66	2	43	63,32	1361,38
16	Машина сварочная МТ1618	14,22	2	67	28,44	952,74
17	Машина сварочная МС 2008	23,7	15	71	355,5	1682,7
18	Установка для сварки	5	14	74	70	370
19	Машина сварочная МТП 806	14,22	15	83	213,3	1180,26
20	Машина сварочная МТП 1110	14,22	14	86	199,08	1222,92
21	Машина сварочная МТ1818	14,22	3	73	42,66	1038,06
22	Маш. Для высадки анкеров	56,9	6	86	341,4	4893,4
23	Маш. Для высадки анкеров	56,9	6	74	341,4	4210,6
24	Машина сварочная МТ2202	14,22	15	97	213,3	1379,34
25	Телега	11	5	5	55	55
26	Машина сварочная МТ 3001	30,84	3	86	92,52	2652,24
27	Машина сварочная МТ 2202	9,48	5	92	47,4	872,16
28	Машина сварочная МТМ 3072	42,66	14	100	597,24	4266
29	Гибочный для арматуры	4	9	100	36	400
30-32	Краны	42,651	19	45	810,369	1919,295
33	Станок для резки арматуры	4	9	88	36	352
34	Станок для резки арматуры	4	19	17	76	68
35	Сверлильный станок	5	2	2	10	10
36	Машина сварочная МТ 2103-3	26,54	2	27	53,08	716,58
37	Выпрямитель ВДУ 500	12,78	2	30	25,56	383,4
38	Вентиляция	5	2	108	10	540
39	Вентиляция	5	19	12	95	60
40	Вентиляция	5	2	55	10	275
	Итого	747,791			7391,329	42172,16

Координаты центра электрических нагрузок цеха

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{7391,33}{747,79} = 9,88 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{42172,16}{747,79} = 56,39 \text{ м}.$$

Установить подстанцию в этом месте не представляется возможным, так как точка, описанная данными координатами, практически является фактическим центром пролёта и от данной подстанции питаются также электроприёмники других цехов. Поэтому подстанцию следует сдвинуть к стене. По возможности следует рассматривать возможность выноса помещения подстанции за пределы пролёта.

Схема распределения электрической энергии по цеху должна отвечать требованиям надёжности и в тоже время отличаться достаточной простотой и экономичностью. Помимо простоты и надёжности схема должна обладать гибкостью, универсальностью, достаточным резервом для подключения новых электроприёмников.

Для приёма и распределения электрической энергии по цеху в РУ НН устанавливаются панели ЩО-90.

Питание самого мощного электроприёмника – сварочной машины МТМ 160, осуществляется от шин распределительного устройства 0,38 кВ подстанции. К этим же шинам подключаются отходящие линии, питающие распределительные пункты типа ПР11 и распределительные шинопроводы типа ШРА. Шинопроводы располагаются вдоль стены на противоположной стороне от месторасположения подстанции, поэтому питание их осуществляется не непосредственно, а проводами, приходящими от шин распределительного устройства 0,38 кВ. Прокладка проводов осуществляется в полу в металлических заземлённых лотках, закрываемых железобетонными крышками, что является существенным преимуществом в процессе эксплуатации, так как появляется возможность в любое время открыть лоток и найти повреждение, произвести ревизию, проложить дополнительный провод. А предпочтение проводов кабелям обусловлено более низкой стоимостью и возможностью отслеживания линии пофазно.

Намеченная электрическая схема электроснабжения приёмников цеха приведена в приложении Г. Распределение электроприёмников цеха по распределительным пунктам представлено в таблице 14. Следует отметить что распределительные пункты ПР1 и ПР4 имеют резерв более 50% для подключения новых электроприёмников. Это обусловлено наличием свободной площади в зоне расположения данных шкафов, что может повлечь, при необходимости, установку новых электроприёмников.

Выбору сечения проводников и аппаратов защиты предшествует расчет электрических нагрузок, который осуществляется аналогично расчету, произведённому в разделе 1. Небольшим отличием является лишь тот факт, что в данной главе необходимо произвести расчет относительно каждого узла нагрузки.

Таблица 14 – Распределение электроприёмников по пунктам приёма электроэнергии

Наименование электроприёмника, распределительного пункта	Номер на плане	Номинальная мощность, кВт	Наименование электроприёмника, распределительного пункта	Номер на плане	Номинальная мощность
<b>ПР1</b>			<b>ПР4</b>		
Станок гибочный для сеток СМЖ 353	12	4	Машина сварочная МТ2202	24	14,22
Приводы хода тележек мостовых кранов	30,31, 32	2x2,205+1x1,386	Машина сварочная МТМ 3072	28	42,66
Приводы подъёмных механизмов кранов		2x6,93+1x9,45	Гибочный для арматуры	29	4
Приводы передвижения кранов		2x4,41+1x4,725	<b>ШРА1</b>		
ПР2			Машина сварочная МКС НТ 3500	13	23,7 x 16
<b>ПР2</b>			Машина сварочная МТ1618	16	14,22
Станок для правки и резки арматуры ГД 162	1	20	Машина сварочная МТ1818	21	14,22
Станок для правки и резки арматуры СМЖ 357	3	15	Маш. Для высадки анкеров	22	56,9
Станок для правки и резки арматуры СМЖ 357.03	4	15	Маш. Для высадки анкеров	23	56,9
Станок для правки и резки арматуры СМЖ 357.03	5	15	Машина сварочная МТ 3001	26	30,34
Станок гибочный для прутков арматуры СМЖ 173 А	8	5,5	Машина сварочная МТ 2202	27	9,48
Станок гибочный для прутков арматуры СМЖ 173 А	9	5,5	Вентилятор	38	5
Станок для перемотки бухт	10	4	Вентилятор	40	5
Телега самоходная СМЖ 151	25	11	<b>ШРА2</b>		
Станок для резки арматуры СМЖ 172 А	34	4	Станок для правки и резки	2	20
Вентилятор	39	5	Станок для правки и резки	6	4
<b>ПР3</b>			Станок для правки и резки	7	4
Машина сварочная МС 2008	17	23,7	Машина сварочная МТ2517	14	16,68
Установка для сварки	18	5	Машина сварочная МТ2827	15	31,66
Машина сварочная МТП 806	19	14,22	Сверлильный станок	35	5
Машина сварочная МТП 1110	20	14,22	Машина сварочная МТ 2103-3	36	26,54
Станок для резки арматуры	33	4	Выпрямитель ВДУ 500	37	12,78
ПР4					

Как уже приводилось в разделе 1, все однофазные приёмники цеха, включенные на линейные напряжения, относительно шин распределительного устройства подстанции распределены по фазам равномерно. Но это не исключает факт того, что относительно некоторых узлов будет присутствовать неравномерность нагрузок по фазам. Для таких узлов все однофазные электроприёмники будут приведены к условной трёхфазной мощности. В узлах, где неравномерность не превышает 15 %, однофазные приёмники будут учтены как трёхфазные той же мощности. Перечень однофазных электроприёмников с распределением их по фазам приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Распределение трансформаторов технологического оборудования по фазам

Междуфазные напряжения					
АВ		ВС		СА	
Номер ЭП на плане, которому принадлежит включенный между соответствующими фазами трансформатор	Номинальная мощность трансформатора, кВт	Номер ЭП на плане, которому принадлежит включенный между соответствующими фазами трансформатор	Номинальная мощность трансформатора, кВт	Номер ЭП на плане, которому принадлежит включенный между соответствующими фазами трансформатор	Номинальная мощность трансформатора, кВт
13	23,7	13	23,7	13	23,7
13	23,7	13	23,7	13	23,7
13	23,7	13	23,7	13	23,7
13	23,7	13	23,7	13	23,7
13	23,7	13	23,7	13	23,7
13	23,7			11	14,22
11	14,22	11	14,22	11	14,22
11	14,22	11	14,22	11	14,22
11	14,22	11	14,22	11	14,22
19	14,22	20	14,22	17	23,7
16	14,22	14	16,68	36	26,54
22	56,9	23	56,9	26	30,84
21	14,22	28	42,66	15	31,66
27	9,48			24	14,22

Для примера произведён расчет нагрузки для узла ПР2. В таблице 14 приведён перечень электроприёмников, подключённых к данному узлу, и их номинальная мощность, приведённая к ПВ=100 %.

Электроприёмники узла разделены на группы А и Б. В данном случае к группе относится лишь вентилятор. К группе Б относятся все остальные электроприёмники.

Средняя активная нагрузка для группы А за наиболее загруженную смену

$$P_{\text{см}} = \sum (P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{и}}). \quad (15)$$

В результате сложения значений полученных среднесменных активных нагрузок каждой из подгрупп с одинаковым коэффициентом использования и коэффициентом мощности, получено

$$P_{\text{см}} = 14,49 \text{ кВт.}$$

Аналогично, путём суммирования средних реактивных нагрузок подгрупп, определяется среднесменная реактивная нагрузка

$$Q_{\text{см}} = \sum (P_{\text{см}} \cdot tg\varphi). \quad (16)$$

Полученное в результате вычислений значение составит

$$Q_{\text{см}} = 20,04 \text{ кВАр.}$$

Средневзвешенный коэффициент использования для группы А определяется следующим образом

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{14,49}{95} = 0,15.$$

Далее производится расчет эффективного числа электроприёмников группы А

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\sum_1^n P_{\text{ном}})^2}{\sum_1^n P_{\text{ном}}^2} = \frac{(15 + 15 + 15 + 20 + 5,5 + 5,5 + 4 + 4 + 11)^2}{15^2 + 15^2 + 15^2 + 20^2 + 5,5^2 + 5,5^2 + 4^2 + 4^2 + 11^2} = 7$$

Затем, из таблицы коэффициентов максимума для различных коэффициентов использования в зависимости от эффективного числа электроприёмников [1], определен коэффициент максимума, соответствующий значениям  $K_{\text{и}} = 0,15$  и  $n_{\text{эф}} = 7$ . Имеем  $K_{\text{м}} = 2,48$ .

Расчетная активная нагрузка от электроприёмников группы А

$$P_{\text{МА}} = P_{\text{см}} \cdot K_{\text{и}} = 2,48 \cdot 14,49 = 35,93 \text{ кВт.}$$

Согласно [1], максимальная расчетная реактивная мощность для группы с числом электроприёмников  $n_{\text{эф}} < 10$  равна  $Q_{\text{м}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см}}$

$$Q_{\text{МА}} = 1,1 \cdot 20,04 = 22,04 \text{ кВАр.}$$

Далее определяется расчетная электрическая нагрузка от электроприёмника группы Б. Так как фактическое число электроприёмников

группы  $n \leq 3$ , то расчетная нагрузка определится как номинальная нагрузка приемника [1].

$$P_{\text{МБ}} = P_{\text{НОМ}} = 5 \text{ кВт};$$
$$Q_{\text{МБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg} \varphi = 5 \cdot 0,62 = 3,1 \text{ кВАр.}$$

Значения расчетной активной и реактивной нагрузки по узлу в целом определяется как сумма нагрузок групп А и Б

$$P_{\text{М}} = P_{\text{МА}} + P_{\text{МБ}} = 35,93 + 5 = 40,93 \text{ кВт};$$
$$Q_{\text{М}} = Q_{\text{МА}} + Q_{\text{МБ}} = 22,04 + 3,1 = 25,14 \text{ кВАр.}$$

Оперируя полученными в результате расчета данными, определена полная расчетная мощность узла

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{М}}^2 + Q_{\text{М}}^2} = \sqrt{40,93^2 + 25,14^2} = 48,03 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток составляет

$$I_{\text{М}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{48,03}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 73 \text{ А.}$$

Нагрузки остальных узлов определены аналогично. Все результаты расчета занесены в таблицу 16. Расчет нагрузки относительно шин распределительного устройства 0,38 кВ подстанции был произведён в главе 1, и все значения, полученные в результате расчета, занесены в таблицу 3.

Далее, когда уже определены все нагрузки по узлам схемы, необходимо выбрать аппараты защиты линий и сечения линий, отходящих к расчетным узлам.

Так как при выборе сечения линии необходимо руководствоваться не только данными о расчетных токах линии, но и информацией о выбранных аппаратах защиты, то следует начать с них.

К рассмотрению принимаются только автоматические выключатели, так как при согласовании принимаемого сечения с номинальным током предохранителя зачастую приходится принимать завышенные сечения. Также при повреждении фазы сгорает только один предохранитель, и в работе остаются две другие фазы, что может оказать неблагоприятное влияние на защищаемое оборудование.

Для примера произведён выбор автоматического выключателя, защищающего линию ТП-ШРА2.

Таблица 16 – Расчет электрических нагрузок цеха

Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество электроприемников, п	Установлен-ная мощность, приведённая к ПВ=100 %, кВт.		m	Коэффициент использования, ки	cosφ	tgφ	Средняя мощность за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников, пэф	Коэффициент максимума, макс	Максимальная расчетная мощность			Максимальный расчетный ток, I <sub>макс</sub> , А	
		одного ЭП Р <sub>ном</sub> , кВт	Р <sub>ном</sub> общая, кВт					активная Р <sub>см</sub> , кВт	реактивная Q <sub>см</sub> , кВАр			активная Р <sub>макс</sub> , кВт	реактивная Q <sub>макс</sub> , кВАр	полная S <sub>макс</sub> , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
ШРА 2																
Группа А																
Сварочные машины	3	28,9-54,8*	130	>3	0,25	0,6	1,33	32,5	43,33	5						
Станки для правки и резки	3	4-20	28		0,16	0,6	1,33	4,48	5,97							
Сверлильный станок	1	5	5		0,12	0,5	1,73	0,6	1,04							
Выпрямитель ВДУ 500	1	12,78	12,78		0,4	0,5	1,73	5,11	8,85							
Итого по ШРА 2	8	4-31,66	175,78		0,24			42,69	59,2		2,3	98,19	65,12	117,82	179	
ПР2																
Группа А																
Станки для правки и резки	5	4-20	69	>3	0,16	0,6	1,33	11,04	14,72							
Гибочные станки	2	5,5	11		0,15	0,6	1,33	1,65	2,2							
Электроприёмники разные	2	4-11	15		0,12	0,5	1,73	1,8	3,12							
Итого по группе А	9	4-20	95		0,15			14,49	20,04	7	2,5	35,94	22	42,16	64	

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Группа В																
Вентилятор	1	5	5		1	0,8	0,75	5	3,75		1	5	3,75	6,25	9,5	
Итого по ПР2	10	4-20	100					18,49	23,14			40,94	25,14	48	73	
ПР1																
Группа А																
Станки для правки и резки	5	4-20	69	>3	0,16	0,6	1,33	11,04	14,72	12						
Гибочные станки	3	4-5,5	15		0,15	0,6	1,33	2,25	3							
Приводы подъёмных кранов	9	1,4-9,5	42,7		0,15	0,5	1,73	6,4	11,1							
Электроприёмники разные	2	4-11	15		0,12	0,5	1,73	1,8	3,18							
Итого по группе А			141,7		0,15			21,5	31,93		2	42,13	31,93	52,8	80	
Группа Б																
Вентилятор	1	5	5		1	0,8	0,75	5	3,75		1	5	3,75	6,25	9,5	
Итого по ПР1	20		146,7					26,5	35,03			47,13	35,68	58,72	89,5	
ШРА1																
Группа А																
Сварочные машины	20	9,5-30,34	447,96		0,25	0,6	1,33	112	149,32							
Машины для высадки анкеров	2	56,9	113,8	>3	0,2	0,6	1,33	22,76	30,35	19						
Итого по группе А	22	9,48-56,9	561,76		0,24			134,8	179,67		1,4	194,04	179,67	264	401	
Группа Б																
Вентиляторы	2	5	10		1	0,8	0,75	10	7,5		1	10	7,5	12,5	19	
Итого по ШРА1	24	5-56,9	561,76					144,8	185,86			204,04	185,86	276	420	

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ПР4															
Сварочные машины	2	24,6-73,9*	98,5	Не опр.		0,6	1,33			Не опр.		Р <sub>М</sub> =Σ Р <sub>НОМ</sub>	Р <sub>М</sub> ·0,87		
Гибочный станок	1	4	4			0,6	1,33								
Итого по ПР4	3	4-73,9	102,5									102,5	89,17	136	206
ПР3															
Сварочные машины	5	24,62- 73,88*	188,8	>3	0,2 5	0,6	1,33	47,2	62,933	5					
Разные электроприёмники	3	4-5	13		0,1 2	0,5	1,73	1,56	2,6988						
Итого по ПР3	8	4-73,88	201,8		0,2 4			48,76	65,632		2,3	112,1	123,36	167	253

\*- Неравномерно распределённые по фазам однофазные электроприёмники, приведённые к условной трёхфазной мощности

Расчетный ток линии  $I_p$  составляет 179 А. Первым требованием при выборе автоматического выключателя является соблюдение условия

$$I_{\text{расц}} \geq I_p, \quad (17)$$

где  $I_{\text{расц}}$  – ток расцепителя.

К выбору намечен автоматический выключатель ВА88. Из каталога автоматических выключателей ВА88 компании IEK произведён выбор автоматического выключателя ВА88-35 на номинальный ток 200А. Тем самым выполняется первое требование.

В данном автоматическом выключателе  $I_{\text{расц}} = I_{\text{ном}} = 200$  А, что обуславливает выполнение требования (17)

$$I_{\text{ном.расц}} = 200 > I_p = 179 \text{ А.}$$

Уставка на ток мгновенного срабатывания выбранного автоматического выключателя  $I_{\text{уст}} = 10 \cdot I_n$ . Относительно данной характеристики должно соблюдаться условие

$$I_{\text{уст}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (18)$$

где  $I_{\text{пик}}$  – пиковый ток рассматриваемого узла.

Коэффициент 1,2 учитывает разброс срабатываний автомата ВА88 по току.

Чтобы произвести данную проверку, необходимо определить пиковый ток узла ШРА2

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{пм}} + (I_m - K_{\text{и}} \cdot i_{\text{нм}}), \quad (19)$$

где  $i_{\text{пм}}$  – пусковой ток наиболее мощного электроприёмника,

$I_m$  – расчетный ток рассматриваемого узла,  $i_{\text{нм}}$  – номинальный ток наиболее мощного электроприёмника и коэффициент его использования  $K_{\text{и}}$  [6].

Наиболее мощным электроприёмником узла является сварочная машина МТ2827 номинальной мощностью 31,66 кВт (приведённая к ПВ=100%). Согласно [6] при отсутствии паспортных данных о пусковом токе машины контактной сварки, он принимается равным трёхкратному. Исходя из этого

$$I_{\text{пик}} = 107 \cdot 3 + (179 - 0,25 \cdot 107) = 473,25 \text{ А.}$$

Выбранный автоматический выключатель успешно проходит проверку по условию (18), так как

$$i_{\text{уст}} = 2000 \text{ А} > I_{\text{пик}} \cdot 1,2 = 473,25 \cdot 1,2 = 567,9 \text{ А.}$$

Все проверки проведены. Выбран автоматический выключатель ВА88-35, рассчитанный на номинальный ток 200 А, с номинальным током расцепителя 200 А, с уставкой по срабатыванию электромагнитного расцепителя 2000 А.

Данный тип автоматического выключателя выбран исходя из доступности, относительно недорогой цены, сравнительно меньшего габарита по сравнению с отечественными аналогами, эргономичности и эстетичности распределительного устройства. Также данная серия выключателей выделяется наличием большого количества дополнительных приспособлений, с помощью которых возможна частичная автоматизация работы РУ. Также из аксессуаров можно выделить втычные и выдвижные панели, смонтировав выключатели на которых, появляется возможность осуществлять их быструю замену или создавать видимый разрыв, что несомненно является большим преимуществом.

Все остальные аппараты защиты выбираются аналогично. Информация о выбранном аппарате для определённого участка, с указанием его наименования, номинального тока и тока уставки, приведена в таблице 17.

Следующим этапом проектирования является выбор сечений проводников отходящих линий. Для примера произведён выбор сечения линии ТП-ШРА2, защитный аппарат которой был выбран выше.

Расчетный ток линии составляет 179 А. Выбранное сечение должно удовлетворять условию

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (20)$$

где  $I_{\text{доп}}$  — длительно допустимый для выбранного проводника ток [2].

Из ряда стандартных сечений намечен провод АПВ с сечением жилы 70 мм<sup>2</sup> с длительно допустимым током 210 А при открытой прокладке [2].

Также сечение проводника должно быть согласованно с аппаратом защиты по условию

$$I_{\text{доп}} \geq k_3 \cdot \frac{I_3}{k_{\text{прокл}}}, \quad (21)$$

где  $k_{\text{прокл}} = 1$  — коэффициент прокладки,

$I_3 = I_{\text{ном.расц}}$ ,  $k_3 = 1$  для автоматических выключателей с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой [1].

Выбранное сечение успешно проходит проверки, обусловленные (20) и (21), так как

$$I_{\text{доп}} = 210 \text{ А} > I_p = 179 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = 210 \text{ А} > 1 \cdot \frac{200}{1} = 200 \text{ А}.$$

Следовательно, окончательно принят провод АПВ 3х70. Также необходимо проложить дополнительный PEN-проводник с проводимостью не менее 50% от фазных проводников. Принят четвёртый провод АПВ с сечением 35 мм<sup>2</sup>.

Таблица 17 – Линии питающей сети цеха и аппараты защиты

Наименование	Назначение	Расчетная нагрузка, Sp, кВт	Расчетный Ток, Iр, А	Аппарат защиты	Уставка по току срабатывания, А	Длина линии l, м	Способ прокладки	Коэффициент прокладки, К	Марка проводника	Сечение, выбранное из условия допустимого нагрева, Sn, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток, Iдоп, А
Л1	ТП-ШРА2	118	179	ВА88-32 125А	1250	25	ЖБ канал в полу	1	АПВ	3x70+ 1x35	210
Л2	ШРА2	118	179	-	-	33	По стене	1	ШРА 73	-	250
Л3	ТП-ПР1	59	89	ВА88-32 100А	1000	14	Металлический лоток	1	АПВ	3x25+ 1x16	105
Л4	ТП- ШРА1	276	420	ВА88-40 500А	5000	35	ЖБ канал в полу	1	АПР	3x240+1x120	465
Л5	ПР1-ПР2	48	73	ВА88-32 80А	800	22	Металлический лоток	1	АПВ	3x25+1x16	105
Л6	ПР3-ПР4	136	206	ВА57-35 250 А	1000	14	Металлический лоток	1	АПВ	3x95 + 1x50	255
Л7	ТП-ПР3	167	253	ВА88-37 315 А	3150	83	Металлический лоток	1	АПВ	3x95 + 1x50	255
Л8	ШРА1	276	419	-	-	50	По стене	1	ШРА 73	-	630
-	Ввод РУ 0,38 кВ	511	776	ВА88-40 800 А	6400	-	-	-	-	-	-

Выбор остальных проводников отходящих от ТП линий выполняется аналогично. Данные о выбранных проводниках также заносятся в таблицу 17, а распределение их по цеху приведено в приложении Д.

При выборе сечений проводников ответвлений к электроприёмникам от распределительных шкафов, применяется тот же алгоритм. Только в отличие от предыдущего расчета,  $I_p$  меняется на  $I_{номЭП}$ .

Выбор автоматического выключателя также выполняется аналогично, только роль  $I_{пик}$  играет пусковой ток электроприёмника.

Для примера произведён выбор автоматического выключателя, защищающего линию, отходящую к станку для правки и резки арматуры ГД162 со следующими данными:  $P=20$  кВт;  $\cos\varphi=0,6$ ;  $КПД=0,85$  о.е.

Станок состоит из одного двигателя, пускаемого в холостую. Пусковой ток принят равным четырёхкратному рабочему.

Номинальный ток двигателя равен

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot КПД} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,85} = 59,58 \text{ А.}$$

Отсюда пусковой ток равен

$$I_{пуск} = I_{ном} \cdot 4 = 238,32 \text{ А.}$$

К установке рассмотрен автоматический выключатель ВА13-29-32,  $I_{ноmA} = I_{расц} = 63 \text{ А}$ ,  $I_{уст} = 12 \cdot I_n$ .

Необходимо произвести проверки, аналогичные проведённым в предыдущих расчетах

$$\begin{aligned} I_{ноmA} = 63 \text{ А} &> I_{номЭП} = 59,58 \text{ А}; \\ I_{уст} = 756 \text{ А} &> 1,25 \cdot I_{пуск} = 298 \text{ А}. \end{aligned}$$

Все условия соблюдены. Выбор автоматического выключателя произведён правильно.

Далее необходимо произвести выбор проводника, питающего данный электроприёмник. Намечен провод АПВ с сечением жилы  $S=10 \text{ мм}^2$  длительно допустимый ток которого составляет 60 А.

$$\begin{aligned} I_{доп} = 60 \text{ А} &> I_{номЭП} = 59,58 \text{ А}; \\ I_{доп} = 60 \text{ А} &< I_{ном.расц} = 63 \text{ А}; \end{aligned}$$

Как видно, второе условие не соблюдается. Но согласно допущению, приведённому в [1], в тех случаях, когда требуемая длительная токовая нагрузка проводника, определённая по второму условию, не совпадает с данными таблиц допустимых токов [2], допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения, но не меньше, чем это требуется по первому

условию. Следовательно, намеченное сечение проходит проверки, и окончательно принят проводник АПВ 3x10+ 1x5.

Выбор защитных аппаратов и сечений проводников для ответвлений к остальным электроприёмникам цеха производится аналогично. Информация о выбранном аппарате защиты и марке проводника, о их параметрах, назначениях, способах прокладки, заносится в таблицу 18.

Для комплектации распределительных пунктов были приняты в основном автоматические выключатели серий ВА13 и ВА57 отечественного производителя «Курский электроаппаратный завод». Выбор данной серии основан на наличии в ней выключателей двухполюсного исполнения и меньшей стоимости продукции. Так же следует отметить, что серия ВА57-35 обладает набором уставок, что существенно влияет на обеспечение селективности защиты при выборе аппарата.

Вопреки современной тенденции избегать прокладки проводников в трубах, при рассмотрении вопросов о подведении электроэнергии к приёмникам, использован преимущественно данный метод. Это обусловлено расположением электроприёмников в рабочей зоне грузоподъёмных кранов, что исключает возможность применения шинпровода или металлического лотка в рассматриваемом случае. Вероятность того, что подходящий шинпровод или лоток будет зацеплен грузозахватными устройствами, либо механически повреждён перемещаемым грузом, гораздо выше, чем вероятность выхода из строя проводника, проложенного в трубе. Минимизировать эксплуатационные недостатки данного способа прокладки можно применив полимерные трубы большего диаметра.

### **3.10 Проверка сечений проводников по допустимым отклонениям напряжения. Построение эпюры отклонения напряжения**

Расчет питающей и распределительной сети по условию допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения выполняется для цепочки линий от шин ЦРП до зажимов одного наиболее удалённого от цеховой ТП или наиболее мощного электроприёмника для режима максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузки.

Наиболее мощный электроприёмник – машина контактной сварки МТМ 160, максимально приближен к цеховой подстанции, поэтому нет смысла его рассматривать. Второй по мощности и удалённости электроприёмник – это машина для высадки анкеров СМЖ 128 Б.

Таблица 18 – Выбор проводников и аппаратов защиты линий, отходящих к электроприёмникам

Наименование электроприёмника	Тип	Номинальная мощность, кВт	cosφ	КПД	Номинальный ток, Ia	Аппарат защиты		Проводник			Допустимый длительный ток, А
						Тип, номинальный ток, Ia	Ток уставки, Ia	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Станок для правки и резки арматуры	ГД 162	20	0,6	0,85	59,59	ВА13-29-32 63 А	12	АПВ 3х25	В трубе	17,5	80
Станок для правки и резки арматуры	ГД 162	20	0,6	0,85	59,59	ВА13-29-32 63 А	12	АПВ 3х25	В трубе	5	80
Станок для правки и резки арматуры	СМЖ 357	15	0,6	0,85	44,69	ВА13-29-32 50 А	12	АПВ 3х16	В трубе	8	60
Станок для правки и резки арматуры	СМЖ 357.03	15	0,6	0,85	44,69	ВА13-29-32 50 А	12	АПВ 3х16	В трубе	12	60
Станок для правки и резки арматуры	СМЖ 357.03	15	0,6	0,85	44,69	ВА13-29-32 50 А	12	АПВ 3х16	В трубе	15,5	60
Станок для резки арматуры	СМЖ 172А	4	0,6	0,85	11,91	ВА13-29-32 12,5 А	12	АПВ 3х4*	В трубе	6	18
Станок для резки арматуры	СМЖ 322Б	4	0,6	0,85	11,91	ВА13-29-32 12,5 А	12	АПВ 3х4*	В трубе	3	18
Станок гибочный для прутков арматуры	СМЖ 173А	5,5	0,6	0,85	16,38	ВА13-29-32 20 А	12	АПВ 3х4*	В трубе	7,5	22
Станок гибочный для прутков арматуры	СМЖ 173А	5,5	0,6	0,85	16,38	ВА13-29-32 20 А	12	АПВ 3х4*	В трубе	4	22
Станок для перемотки бухт	Самодельн.	4	0,5	0,85	14,3	ВА13-29-32 16 А	12	АПВ 3х4*	В трубе	7,5	18
Машина контактной сварки	МТМ 160	142,2	0,6	0,9	400,2	ВА88-37 400 А	10	АПР 3х240	Металлич. лоток	3	465
Станок гибочный для сеток	СМЖ 353	4	0,6	0,9	11,25	ВА13-29-32 12,5 А	12	АПВ 3х4*	В трубе	5	18
Машина контактной сварки	МКС-НТ-3500	23,7	0,6	0,93	100	ВА88-32 100А	10	АПВ 3х50	В трубе	4	130
Машина контактной сварки	МТ 2517	16,68	0,6	0,9	56,33	ВА13-29-22 63 А	12	АПВ 2х16	В трубе	4	60
Машина контактной сварки	МТ 2827	31,66	0,6	0,9	106,92	ВА57-35-8 125 А	4	АПВ 3х50	В трубе	4	130
Машина контактной сварки	МТ 1618	14,22	0,6	0,9	48	ВА13-29-22 50 А	12	АПВ 2х10	В трубе	3	50
Машина контактной сварки	МС 2008	23,7	0,6	0,9	80	ВА57-31-8 100 А	5	АПВ 2х35	В трубе	15	100

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	12						
Установка для сварки вертикальных каркасов	СМЖ 56А	5	0,5	0,85	17,87	ВА13-29-32 20 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	8,5	22						
Машина подвесная сварочная	МТП 806	14,22	0,6	0,9	48	ВА13-29-22 50 А	12	АПВ 2x10	В трубе	6	50						
Машина подвесная сварочная	МТП 1110	14,22	0,6	0,9	48	ВА13-29-22 50 А	12	АПВ 2x10	В трубе	15	50						
Машина контактной сварки	МТ 1818	14,22	0,6	0,9	48	ВА13-29-22 50 А	12	АПВ 2x10	В трубе	3	50						
Машина для высадки анкеров	СМЖ 128Б	56,9	0,6	0,9	192,16	ВА57-35-8 200 А	5	АПВ 2x95	В трубе	7	215						
Машина для высадки анкеров	СМЖ 128Б.03	56,9	0,6	0,9	192,16	ВА57-35-8 200 А	5	АПВ 2x95	В трубе	6	215						
Машина контактной сварки	МТ 2202	14,22	0,6	0,9	48	ВА13-29-22 50 А	12	АПВ 2x10	В трубе	10	50						
Телега самоходная	СМЖ 151	11	0,5	0,85	39,33	ВА13-29-32 40 А	12	АПВ 3x8	В трубе	24	40						
Машина контактной сварки	МТ 3001	30,84	0,6	0,9	86,79	ВА57-31-8 100 А	5	АПВ 2x35	В трубе	3	100						
Машина контактной сварки	МТ 2202	9,48	0,6	0,9	32	ВА13-29-22 40 А	12	АПВ 2x8	В трубе	3	43						
Машина для точечной сварки арматурных сеток	МТМ 3072	42,66	0,6	0,9	144	ВА57-35-8 160 А	3,125	АПВ 2x70	В трубе	15	175						
Станок гибочный для арматуры	УТК	4	0,6	0,85	11	ВА13-29-22 12,5 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	18	18						
Кран мостовой	15,87		0,5	0,78	61,84	ВА13-29-32 63 А	12	АПВ 3x16	Металлич. лоток								
Кран мостовой			0,5	0,78	61,84												
Кран-балка																	
Станок для резки арматуры	СМЖ 332 А	4	0,6	0,85	11,91	ВА13-29-32 12,5 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	8	18						
Станок для резки арматуры	СМЖ 172 А	4	0,6	0,85	11,91	ВА13-29-32 12,5 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	12,5	18						
Станок сверлильный	2С132	5	0,5	0,78	19,48	ВА13-29-32 20 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	8	19						
Машина контактной сварки	МТ 2103-3	26,54	0,6	0,9	74,69	ВА57-31-8 80 А	5	АПВ 2x25	В трубе	3	85						
Выпрямитель сварочный	ВДУ 500	12,78	0,5	0,8	48,55	ВА13-29-32 50А	3	АПВ 3x16	Металлич. Лоток	3	60						
Вентилятор		5	0,85	0,85	10,51	ВА13-29-22 12,5 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	3	18						
Вентилятор		5	0,85	0,85	10,51	ВА13-29-22 12,5 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	17,5	18						
Вентилятор		5	0,85	0,85	10,51	ВА13-29-22 12,5 А	12	АПВ 3x4*	В трубе	2	18						

\* –Сечение, принятое по техническим условиям[2].

Целесообразно рассмотреть цепочку именно до этого электроприёмника, к тому же в цехе имеются две такие машины.

Цепочка для расчета отклонений напряжения начинается с шин ЦРП предприятия. Первым шагом является расчет отклонения напряжения в линии от ЦРП до цеховой ТП.

Для линий потери напряжения определяются следующим образом

$$\Delta U_{л} \% = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{10 \cdot U_1^2}, \quad (22)$$

где  $P$  и  $Q$  – значения активной и реактивной мощности для рассматриваемого режима с учетом компенсирующих устройств,

$r$ ,  $x$  – активное и индуктивное сопротивление данного участка сети,

$U_1$  – напряжение на данном участке.

Для примера произведён расчет потери напряжения в линии от ЦРП до цеховой ТП в максимальном режиме.

$$\Delta U_{л} \% = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{10 \cdot U_1^2} = \frac{375,95 \cdot 0,0693 + 76,31 \cdot 0,0132}{10 \cdot 10,5^2} = 0,0245 \%$$

Аналогичным образом выполняется расчет для остальных участков сети во всех режимах.

Следующим участком после только линии ЦРП-ТП является собственно цеховой трансформатор, потери напряжения в котором рассчитываются по формуле

$$\Delta U_{т}, \% = \beta_{т} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_{т}^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi), \quad (23)$$

где  $\beta_{т}$  – коэффициент загрузки трансформатора,

$\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки трансформатора и соответствующий ему  $\sin \varphi$ ,

$U_a$  и  $U_p$  – активная и реактивная составляющие напряжения КЗ  $U_k$ , которые определяются следующим образом

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.т}} \cdot 100, \quad (24)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}. \quad (25)$$

Расчет потери напряжения в цеховом трансформаторе ТМ 630/10, в каталожных данных которого  $\Delta P_{кз} = 7,6$  кВт,  $u_k = 5,5$  %

$$\beta_{т} = \frac{S_{расч}}{S_{ном.тр}} = \frac{383,62}{630} = 0,608,$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.т}} \cdot 100 = \frac{7,62}{630} \cdot 100 = 1,2 \%$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,36 \%,$$

$$\Delta U_T, \% = 0,608 \cdot (1,2 \cdot 0,98 + 5,36 \cdot 0,2) + \frac{0,608^2}{200} \cdot (1,2 \cdot 0,98 - 5,36 \cdot 0,2);$$

$$\Delta U_T, \% = 2,547 \%.$$

Все полученные значения потерь напряжения в элементах схемы электроснабжения заносятся в таблицу 19, затем определяются отклонения напряжения на различных участках на пути к электроприёмнику. Отклонение

напряжения в какой-либо точке определяется как сумма отклонений напряжения на рассматриваемом участке и на предыдущем.

По полученным результатам расчета также строятся эпюры отклонений напряжения для трёх рассматриваемых режимов (рисунок 7).

Как видно из рисунка 7, отклонение напряжения на вводе в электроприёмник не выходит за рамки допустимых отклонений, и соответственно является допустимым во всех режимах. Из этого следует вывод, что принятые ранее сечения проходят по допустимой потере напряжения, и никаких мер для изменения отклонений на данном этапе не требуется.

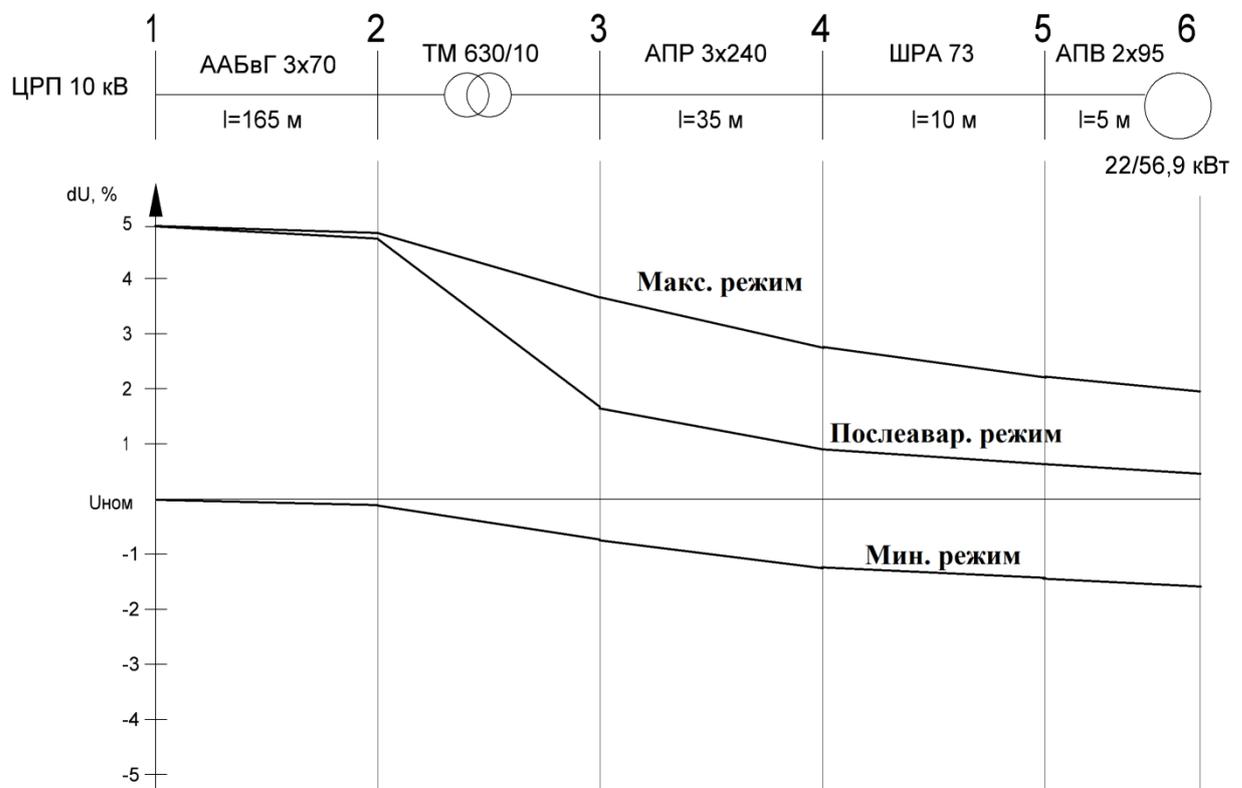


Рисунок 7 – Эпюры отклонения напряжения

Таблица 19 – Расчет отклонений напряжения в различных точках сети

Обозначение участка	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Марка проводника	ААБвГ 3х70	ТМ 630/10 S=630 кВа,	АПР 3*240+ 1*120	ШРА-73 630А	АПВ 2*95
Активное сопротивление	0,0693	$\Delta P_{кз}=7,6$ кВт	0,0045	0,00085	0,00155
Реактивное сопротивление	0,0132	$u_k=5,5$ %	0,0028	0,00075	0,000381
<b>Нагрузки в максимальном режиме</b>					
Активная	375,95	375,95	204	204	56,9
Реактивная	76,31	76,31	185	185	75,677
<b>Нагрузки в минимальном режиме</b>					
Активная	190	190	100	100	56,9
Реактивная	40	40	90	90	75,677
<b>Нагрузки в послеаварийном режиме</b>					
Активная	854,95	854,95	204	204	56,9
Реактивная	173,59	173,59	185	185	75,677
<b>Потери напряжения, %</b>					
В максимальном режиме	0,0245	1,3576	0,9945	0,21617036	0,081
В минимальном режиме	0,014	0,69	0,4861	0,105609418	0,081
В послеаварийном режиме	0,0537	3,0816	0,8313	0,214993075	0,081
<b>Отклонение напряжения</b>					
В максимальном режиме	4,9755	3,6179	2,6235	2,4073	2,3263
В минимальном режиме	-0,014	-0,704	-1,1902	-1,2958	-1,3768
В послеаварийном режиме	4,9463	1,8647	1,0334	0,8184	0,7373

### 3.11 Расчет токов КЗ в сети до 1 кВ

Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В производится с целью построения карты селективности защиты. Ведётся он в именованных единицах, все значения сопротивлений элементов указаны в миллиомах.

Цепочка защит выстраивается до того же электроприёмника, что был рассмотрен выше, указываются точки, для которых необходимо произвести расчет токов КЗ.

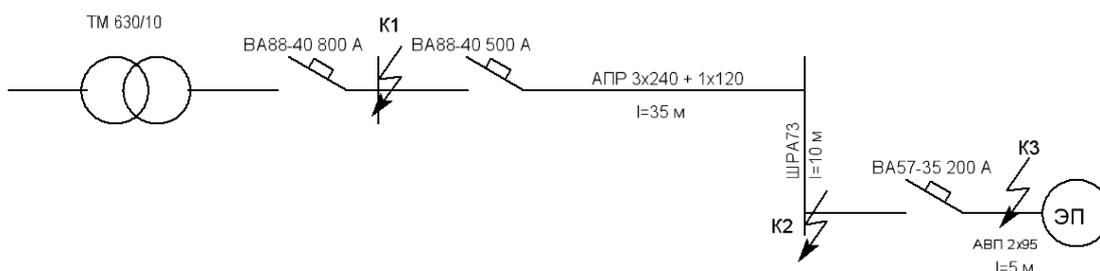


Рисунок 8 – Цепочка защит для построения карты селективности

Результирующее сопротивление до какой-либо точки КЗ складывается из полных сопротивлений проводников, силового трансформатора, первичных обмоток трансформаторов тока, катушек электромагнитных расцепителей выключателей, активных переходных сопротивлений контактов аппаратов.

Полное сопротивление силового трансформатора ТМ 630/10

$$z_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{кз}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ.ТР}}} = \frac{5,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 630} = 13,96 \text{ мОм.}$$

Результирующее сопротивление для точки К1

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{(r_{\text{ш}} + r_{\text{к}} + r_{\text{а}} + r_{\text{тт}})^2 + (x_{\text{ш}} + x_{\text{а}} + x_{\text{тт}})^2} + z_{\text{тр}}. \quad (25)$$

Согласно (25 )

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{(0,5 + 0,3 + 0,11 + 0,02)^2 + (2,25 + 0,12 + 0,02)^2} + 13,96;$$

$$Z_{\text{рез1}} = 16,52 \text{ мОм,}$$

где  $r_{\text{ш}}$ ,  $x_{\text{ш}}$  – активное и реактивное сопротивления шин от трансформатора к автоматическому выключателю,

$r_{\text{а}}$ ,  $x_{\text{а}}$  – активное и индуктивное сопротивления катушки электромагнитного расцепителя автомата,

$r_{\text{к}}$ - активное переходное сопротивление его контактов.

Действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ определится следующим образом

$$I_{\text{по1}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16,52} = 13,97 \text{ кА.}$$

Для точки К2 результирующее сопротивление рассчитывается следующим образом

$$Z_{\text{рез2}} = Z_{\text{рез1}} + \sqrt{(r_a + r_k + r_{\text{АПР}} + r_{\text{шпра}})^2 + (x_a + x_{\text{АПР}} + x_{\text{шпра}})^2}, \quad (26)$$

где  $r_{\text{АПР}} = r_0 \cdot l$  – активное сопротивление провода АПР

$x_{\text{АПР}} = x_0 \cdot l$  – индуктивное сопротивление провода АПР.

$r_{\text{шпра}}$  и  $x_{\text{шпра}}$  – соответственно активное и индуктивное сопротивления шинпровода, определяющиеся аналогичным способом.

$$r_{\text{АПР}} = 0,13 \cdot 35 = 4,55 \text{ мОм,}$$

$$x_{\text{АПР}} = 0,08 \cdot 35 = 2,8 \text{ мОм,}$$

$$r_{\text{шпра}} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мОм,}$$

$$x_{\text{шпра}} = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ мОм.}$$

Согласно (26)

$$Z_{\text{рез2}} = 16,52 + \sqrt{0,14 + 0,3 + 4,55 + 1)^2 + (0,15 + 2,8 + 2)^2};$$

$$Z_{\text{рез2}} = 24,29 \text{ мОм.}$$

Действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ

$$I_{\text{по2}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез2}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 24,29} = 9,5 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление для точки К3 определится следующим образом

$$Z_{\text{рез3}} = Z_{\text{рез2}} + \sqrt{(r_a + r_k + r_{\text{АПВ}})^2 + (x_a + x_{\text{АПВ}})^2}, \quad (27)$$

где  $r_{\text{АПВ}} = 0,329 \cdot 5 = 1,645 \text{ мОм;}$

$x_{\text{АПВ}} = 0,236 \cdot 5 = 1,18 \text{ мОм.}$

Согласно (27) результирующее сопротивление для точки К3

$$Z_{\text{рез3}} = 24,29 + \sqrt{0,4 + 0,6 + 1,645)^2 + (0,5 + 1,18)^2} = 27,42 \text{ мОм.}$$

Действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания для точки К3 составит

$$I_{\text{по3}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез3}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 27,42} = 8,4 \text{ кА.}$$

Токи короткого замыкания определены. Последним этапом является построение карты селективности защиты. В логарифмическом масштабе по оси абсцисс откладываются расчетные, пусковые, пиковые и токи КЗ; по оси ординат – времена действия пусковых, пиковых токов и времена

срабатывания защит по время-токовым характеристикам. Выбранные аппараты защиты должны обеспечить своевременное отключение повреждённого участка, исключая срабатывание аппарата высшей ступени.

Карта селективности защиты от РУ 0,38 кВ до рассматриваемого электроприёмника приведена на рисунке 9. Для установки на вводе РУ 0,38 кВ принимается автоматический выключатель ВА88-40. Так как в следующем звене установлен выключатель такого же типа и имеющий аналогичную время-токовую характеристику, то при возникновении КЗ на участке ТП-ШРА1 может отключиться вводной автомат РУ. Для этого для установки на вводе в РУ 0,38 кВ принят выключатель того же типа, но только с электронным расцепителем. Это даёт возможность получить другую время-токовую характеристику и избавиться от приведённого недостатка.

Согласно построенной карте, для данной цепочки полностью обеспечивается селективность защиты. Также выполняется резервирование защиты. Это означает, что если в случае выхода из строя не сработает автомат, защищающий электроприёмник, то это сделает выключатель, установленный на предыдущей ступени. Если же и он не сработает, то произойдёт отключение выключателя на вводе в РУ 0,38 кВ.

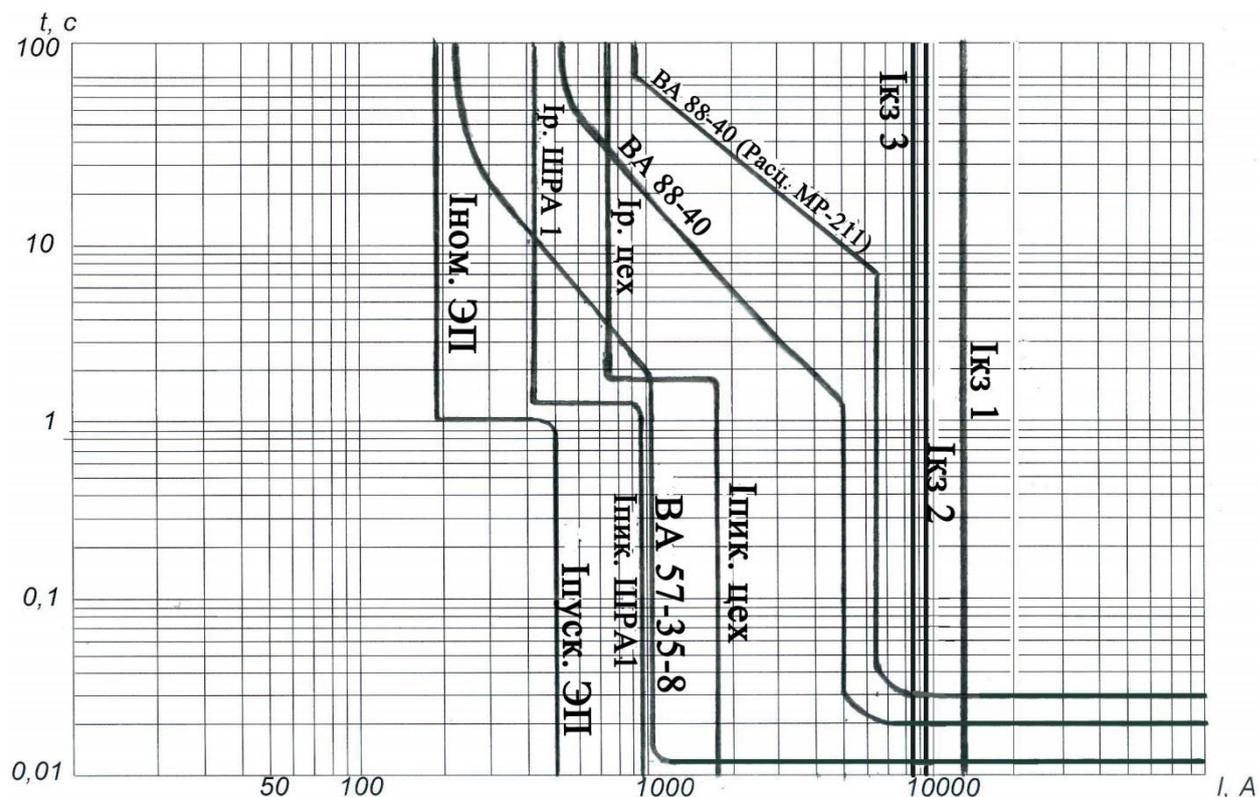


Рисунок 9 – Карта селективности действия защиты

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Расчет приведённых затрат для варианта без компенсации реактивной мощности

Ранее приведённые расчеты и анализы показали, что применение компенсации реактивной мощности обеспечило уменьшение требуемого сечения линий внешнего электроснабжения и мощности цеховых трансформаторов. Немаловажным фактором при технико-экономическом обосновании является тариф на электроэнергию, который может изменяться в зависимости от коэффициента мощности на границе балансовой принадлежности предприятия и энергоснабжающей организации.

Очевидно, что в случае применения компенсирующих устройств, коэффициент мощности  $\cos \varphi$  будет выше, что повлечет за собой избавление от надбавок к тарифу на оплату электроэнергии. Поэтому целесообразно рассчитать эту самую разницу, которую предприятие будет ежегодно переплачивать при отсутствии компенсации реактивной мощности. Для этого необходимо воспользоваться реальным графиком нагрузок предприятия, полученного по данным АСКУЭ, приборы контроля и учёта которой установлены на отдельных секционированных шинах ЦРП предприятия в ячейках №6 и №7 комплектного распределительного устройства. Отчеты о потреблении электроэнергии в период с 27.12.13 00:00 по 28.12.13. 00:00 для первой и второй секций приведены в таблицах 20-21.

Данный график нагрузок является справедливым и для летних суток, так как отопление на предприятии газовое, что не вызывает особых изменений в зимний период. Предприятие работает круглый год без выходных, останавливая производство лишь с 01.01 по 01.05. То есть при расчете потреблённой за год электроэнергии должно быть принято количество дней равное 360.

$$W_{\text{год}} = (W_{\text{сут яч6}} + W_{\text{сут яч7}}) \cdot 360; \quad (28)$$
$$W_{\text{год}} = (32361 + 26592) \cdot 360 = 21223080 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $W_{\text{сут яч6}}$ ,  $W_{\text{сут яч7}}$  – потреблённая за сутки электроэнергия по показаниям приборов учета ячейки 6 и ячейки 7 соответственно.

Для обеспечения удобства и простоты расчетов оплата электроэнергии считается по одноставочному тарифу. Стоимость 1 киловатт часа принята из приложения 2 к приказу Федеральной службы по тарифам №233 э/2 [7]. Она составляет 2,12096 рубля.

Таблица 20 – Отчет о потреблении электроэнергии с прибора учета, установленного в ячейке 6 ЦРП

<u>Объект учета: яч.№6</u>								
Интервал		Активная энергия			Реактивная энергия			Cos(φ)
Дата	Зона	За полчаса,	НИ,	Мощность,	За полчаса,	НИ,	Мощность,	
		кВт*ч	кВт*ч	кВт	кВар*ч	кВар*ч	кВар	
27.12.13 01:00	-	1117,20	1117,20	1117,20	1046,40	1046,40	1046,40	0,73
27.12.13 02:00	-	1178,40	2295,60	1178,40	1116,00	2162,40	1116,00	0,726
27.12.13 03:00	-	1260,00	3555,60	1260,00	1146,00	3308,40	1146,00	0,74
27.12.13 04:00	-	1272,00	4827,60	1272,00	1132,80	4441,20	1132,80	0,747
27.12.13 05:00	-	1246,80	6074,40	1246,80	1140,00	5581,20	1140,00	0,738
27.12.13 06:00	-	1178,40	7252,80	1178,40	1053,60	6634,80	1053,60	0,745
27.12.13 07:00	-	1212,00	8464,80	1212,00	954,00	7588,80	954,00	0,786
27.12.13 08:00	-	1725,60	10190,40	1725,60	1555,20	9144,00	1555,20	0,743
27.12.13 09:00	-	1765,20	11955,60	1765,20	1629,60	10773,60	1629,60	0,735
27.12.13 10:00	-	1772,40	13728,00	1772,40	1662,00	12435,60	1662,00	0,729
27.12.13 11:00	-	1600,80	15328,80	1600,80	1352,40	13788,00	1352,40	0,764
27.12.13 12:00	-	1279,20	16608,00	1279,20	1020,00	14808,00	1020,00	0,782
27.12.13 13:00	-	1686,00	18294,00	1686,00	1628,40	16436,40	1628,40	0,719
27.12.13 14:00	-	1647,60	19941,60	1647,60	1540,80	17977,20	1540,80	0,73
27.12.13 15:00	-	1591,20	21532,80	1591,20	1428,00	19405,20	1428,00	0,744
27.12.13 16:00	-	1402,80	22935,60	1402,80	1215,60	20620,80	1215,60	0,756
27.12.13 17:00	-	1323,60	24259,20	1323,60	1249,20	21870,00	1249,20	0,727
27.12.13 18:00	-	1243,20	25502,40	1243,20	1201,20	23071,20	1201,20	0,719
27.12.13 19:00	-	1053,60	26556,00	1053,60	949,20	24020,40	949,20	0,743
27.12.13 20:00	-	1186,80	27742,80	1186,80	1122,00	25142,40	1122,00	0,727
27.12.13 21:00	-	1222,80	28965,60	1222,80	1178,40	26320,80	1178,40	0,72
27.12.13 22:00	-	1264,80	30230,40	1264,80	1186,80	27507,60	1186,80	0,729
27.12.13 23:00	-	1130,40	31360,80	1130,40	1003,20	28510,80	1003,20	0,748
28.12.13 00:00	-	1000,80	32361,60	1000,80	926,40	29437,20	926,40	0,734
<b>Итого за период:</b>		<b>32361.60</b>		<b>1348.40</b>	<b>29437.20</b>		<b>1226.55</b>	

Таблица 21 – Отчет о потреблении электроэнергии с прибора учета, установленного в ячейке 7 ЦРП

Объект учета: яч.№7								
Интервал		Активная энергия			Реактивная энергия			Cos(φ)
Дата	Зона	За полчаса,	НИ,	Мощность,	За полчаса,	НИ,	Мощность,	
		кВт*ч	кВт*ч	кВт	кВар*ч	кВар*ч	кВар	
27.12.13 01:00	-	1011,60	1011,60	1011,60	1040,40	1040,40	1040,40	0,697
27.12.13 02:00	-	1090,80	2102,40	1090,80	1094,40	2134,80	1094,40	0,706
27.12.13 03:00	-	1177,20	3279,60	1177,20	1105,20	3240,00	1105,20	0,729
27.12.13 04:00	-	1125,60	4405,20	1125,60	1126,80	4366,80	1126,80	0,707
27.12.13 05:00	-	1035,60	5440,80	1035,60	1015,20	5382,00	1015,20	0,714
27.12.13 06:00	-	980,40	6421,20	980,40	949,20	6331,20	949,20	0,718
27.12.13 07:00	-	871,20	7292,40	871,20	846,00	7177,20	846,00	0,717
27.12.13 08:00	-	1240,80	8533,20	1240,80	1388,40	8565,60	1388,40	0,666
27.12.13 09:00	-	1263,60	9796,80	1263,60	1447,20	10012,80	1447,20	0,658
27.12.13 10:00	-	1460,40	11257,20	1460,40	1598,40	11611,20	1598,40	0,675
27.12.13 11:00	-	1286,40	12543,60	1286,40	1334,40	12945,60	1334,40	0,694
27.12.13 12:00	-	973,20	13516,80	973,20	963,60	13909,20	963,60	0,711
27.12.13 13:00	-	1399,20	14916,00	1399,20	1590,00	15499,20	1590,00	0,661
27.12.13 14:00	-	1418,40	16334,40	1418,40	1557,60	17056,80	1557,60	0,673
27.12.13 15:00	-	1363,20	17697,60	1363,20	1500,00	18556,80	1500,00	0,673
27.12.13 16:00	-	1161,60	18859,20	1161,60	1255,20	19812,00	1255,20	0,679
27.12.13 17:00	-	1120,80	19980,00	1120,80	1194,00	21006,00	1194,00	0,684
27.12.13 18:00	-	1056,00	21036,00	1056,00	1069,20	22075,20	1069,20	0,703
27.12.13 19:00	-	882,00	21918,00	882,00	912,00	22987,20	912,00	0,695
27.12.13 20:00	-	988,80	22906,80	988,80	1051,20	24038,40	1051,20	0,685
27.12.13 21:00	-	993,60	23900,40	993,60	1040,40	25078,80	1040,40	0,691
27.12.13 22:00	-	1014,00	24914,40	1014,00	1038,00	26116,80	1038,00	0,699
27.12.13 23:00	-	897,60	25812,00	897,60	885,60	27002,40	885,60	0,712
28.12.13 00:00	-	780,00	26592,00	780,00	717,60	27720,00	717,60	0,736
<b>Итого за период:</b>		<b>26592,00</b>		<b>1108,00</b>	<b>27720,00</b>		<b>1155,00</b>	

Расчет повышающих и понижающих коэффициентов к тарифам в зависимости от коэффициента мощности ведется согласно методике, изложенной в приложении к приказу Федеральной службы по тарифам №219- э/6 от 31.08.2010 г. [8].

В рассматриваемом случае повышающий коэффициент к тарифу при отсутствии компенсации реактивной мощности рассчитывается по формуле

$$K = 1 + \Pi, \quad (29)$$

где  $\Pi$  – составляющая тарифа за потребление реактивной мощности сверх установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности.

$$\Pi = 0,2 \cdot (tg\varphi_{\phi i} - tg\varphi_i) \cdot d_{pi}, \quad (30)$$

где  $tg\varphi_{\phi i}$  – фактическое значение соотношения потребления активной и реактивной мощностей в расчетном периоде (месяц),

$tg\varphi_i$  – предельное значение коэффициента реактивной мощности,

$d_{pi}$  – отношение электрической энергии, потребленной в часы больших суточных нагрузок к общему объёму потреблённой за расчетный период электроэнергии.

Фактическое соотношение потребления активной и реактивной мощности принято из расчетных данных

$$tg\varphi_{\phi i} = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{3638}{3927} = 0,93.$$

Предельные значения  $tg\varphi_i$  регламентированы приказом Минпромэнерго №49 от 22.02.2007 г. [9]. Для потребителей, получающих питание на напряжении 6-20 кВ  $tg\varphi_i = 0,4$ .

Часами больших нагрузок считается период с 7 ч. 00 мин. до 23 ч. 00 мин., если иное не определено договором [9].

При допущении, что график нагрузки является неизменным в течение месяца, соотношение  $d_{pi}$  определится следующим образом

$$d_{pi} = \frac{W_{B_{\text{яч}6}} + W_{B_{\text{яч}7}}}{W_{\text{сут}_{\text{яч}6}} + W_{\text{сут}_{\text{яч}7}}} = \frac{18519 + 22896}{32361 + 26592} = 0,703,$$

где  $W_{B_{\text{яч}6}}$ ,  $W_{B_{\text{яч}7}}$  – электрическая энергия, потреблённая в период с 7 ч. 00 мин. до 23 ч. 00 мин. по показаниям приборов учета ячейки 6 и ячейки 7 соответственно.

Составляющая тарифа за потребление реактивной мощности сверх установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности согласно (30) составит

$$\Pi = 0,2 \cdot (0,93 - 0,4) \cdot 0,703 = 0,075.$$

Повышающий коэффициент к тарифу в данном случае составит

$$K = 1 + 0,075 = 1,075.$$

Годовая оплата электрической энергии при отсутствии компенсации реактивной мощности составит

$$C_{\text{э год}} = W_{\text{год}} \cdot T \cdot K = 21223080 \cdot 2,12096 \cdot 1,075 = 48389301 \text{ руб.},$$

где  $T$  – стоимость одного киловатт часа, руб.

Применение компенсации реактивной мощности снизило значение соотношения активной и реактивной мощностей

$$tg\varphi'_i = \frac{Q'_p}{P'_p} = \frac{1042}{3862} = 0,27,$$

где  $Q'_p, P'_p$  – значение расчетной активной и реактивной мощности при наличии компенсирующих устройств.

Так как  $tg\varphi'_{fi} - tg\varphi_i < 0$ , составляющая  $\Pi$  будет равна нулю [8]. Следовательно, годовая оплата электрической энергии составит

$$C'_{\text{э год}} = W_{\text{год}} \cdot T \cdot K = 21223080 \cdot 2,12096 = 45013303 \text{ руб.}$$

Ежегодная переплата за электроэнергию составит

$$\Delta C_{\text{э}} = C_{\text{э год}} - C'_{\text{э год}} = 48389301 - 45013303 = 3375998 \text{ руб/год.}$$

Капитальные затраты на прокладку кабельной линии для варианта без компенсации реактивной мощности составят

$$K_{\text{лэп}} = n \cdot a \cdot L = 2 \cdot 680\,000 \cdot 2 = 2720000 \text{ руб}$$

где  $n$  – количество цепей ЛЭП;

$a$  – стоимость 1 км кабеля ААБ2Л-10 3х185 ож,

$L$  – фактическая длина кабельной линии.

Стоимость амортизационных отчислений составит

$$C_{\text{ам}} = E_{\text{ам}} \cdot K_{\text{лэп}} = 0,028 \cdot 2720000 = 76160 \text{ руб/год,}$$

где  $E_{\text{ам}}$  – коэффициент амортизационных отчислений.

Отчисления на обслуживание линии составят

$$C_{\text{обсл}} = E_{\text{обсл}} \cdot K_{\text{лэп}} = 0,023 \cdot 2720000 = 62560 \text{ руб/год,}$$

где  $E_{\text{обсл}}$  – коэффициент, характеризующий ежегодные издержки на обслуживание и ремонт кабельных линий с напряжением 10 кВ, проложенных в земле.

Потери активной мощности на передачу реактивной по линиям электропередачи определяются следующим образом

$$\Delta P_Q = \frac{Q^2 \cdot r}{U^2}, \quad (31)$$

где  $r$  – сопротивление линии электропередачи,

$Q$  – значение передаваемой реактивной мощности.

Согласно графику нагрузки по данным приборов, установленных в ячейке 6, в период с 00 ч. 00 мин до 1 ч. 00 минут среднее значение потребляемой реактивной мощности составило 1046,4 кВар. Так как сопротивление одного километра алюминиевого кабеля 3x185 мм<sup>2</sup> составляет 0,16 Ом, то потери активной энергии за этот час составят

$$\Delta P_Q = \frac{1046,4^2 \cdot 2 \cdot 0,16 \cdot 10^{-3}}{10^2} = 3,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Аналогичным способом рассчитаны потери электроэнергии за каждый час для каждой ячейки и сведены в таблицу 22, согласно которой суточные потери активной энергии на передачу реактивной составили

$$\Delta W_{\text{сут}} = \Delta W_{\text{яч6}} + \Delta W_{\text{яч7}} = 119,5 + 107 = 226,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость годовых потерь, исходя из ранее принятых условий, составит

$$C_{\Delta W.г} = \Delta W_{\text{сут}} \cdot 360 \cdot T \cdot K = 226,5 \cdot 360 \cdot 2,12096 \cdot 1,075 = 185913 \text{ руб/год}.$$

Приведённые затраты на прокладку кабельной линии определяются по формуле

$$Z_{\text{лэп}} = E_{\text{н}}^{\text{лэп}} \cdot K_{\text{лэп}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{обсл}} + C_{\Delta W.г}, \quad (32)$$

где  $E_{\text{н}}^{\text{лэп}}$  – коэффициент эффективности капитальных вложений для кабельных линий, равный 0,152 [10].

$$Z_{\text{лэп}} = 0,152 \cdot 2720000 + 76160 + 62560 + 185913 = 738073 \text{ руб/год}.$$

Приведённые суммарные затраты для варианта без применения компенсации реактивной мощности составят

$$Z = Z_{\text{лэп}} + C_{\Delta W.г} + \Delta C_{\text{э}} = 738073 + 3375998 = 4114071 \text{ руб/год}.$$

Таблица 22 - Расчет потерь активной мощности в питающих линиях без компенсации реактивной мощности

Интервал времени	Ячейка 6		Ячейка 7	
	Реактивная мощность, кВар	Потери ΔP	Реактивная мощность, кВар	Потери ΔP
1:00	1046,40	3,5038495	1040,40	3,463782912
2:00	1116,00	3,9854592	1094,40	3,832676352
3:00	1146,00	4,2026112	1105,20	3,908694528
4:00	1132,80	4,1063547	1126,80	4,062970368
5:00	1140,00	4,15872	1015,20	3,298019328
6:00	1053,60	3,5522335	949,20	2,883138048
7:00	954,00	2,9123712	846,00	2,2902912
8:00	1555,20	7,7396705	1388,40	6,168494592
9:00	1629,60	8,4979077	1447,20	6,702041088
10:00	1662,00	8,8391808	1598,40	8,175624192
11:00	1352,40	5,8527544	1334,40	5,697994752
12:00	1020,00	3,32928	963,60	2,971279872
13:00	1628,40	8,485397	1590,00	8,08992
14:00	1540,80	7,5970068	1557,60	7,763576832
15:00	1428,00	6,5253888	1500,00	7,2
16:00	1215,60	4,7285868	1255,20	5,041686528
17:00	1249,20	4,993602	1194,00	4,5620352
18:00	1201,20	4,6172206	1069,20	3,658203648
19:00	949,20	2,883138	912,00	2,6615808
20:00	1122,00	4,0284288	1051,20	3,536068608
21:00	1178,40	4,443605	1040,40	3,463782912
22:00	1186,80	4,5071816	1038,00	3,4478208
23:00	1003,20	3,2205128	885,60	2,509719552
0:00	926,40	2,7462943	717,60	1,647839232
Итого за сутки		119,45676		107,0372413

#### 4.2 Расчет приведённых затрат для варианта с применением компенсации реактивной мощности

В расчет приведённых затрат для варианта с применением компенсации реактивной мощности включается стоимость автоматических конденсаторных установок, но исключается переплата за электроэнергию, вызванная повышенным потреблением реактивной мощности.

Штрих у обозначения величины в формулах означает что данное значение относится к варианту с применением компенсации реактивной мощности.

Капитальные затраты на прокладку кабельной линии составят

$$K'_{\text{лэп}} = n \cdot a \cdot L = 2 \cdot 525000 \cdot 2 = 2100000 \text{ руб,}$$

где  $a$  – стоимость 1 км кабеля ААБ2л-10 3х120 ож.

Стоимость амортизационных отчислений составит

$$C'_{\text{ам}} = E_{\text{ам}} \cdot K'_{\text{лэп}} = 0,028 \cdot 2100000 = 58800 \text{ руб/год,}$$

Отчисления на обслуживание линии составят

$$C'_{\text{обсл}} = E_{\text{обсл}} \cdot K'_{\text{лэп}} = 0,023 \cdot 2100000 = 48300 \text{ руб/год,}$$

Потери активной мощности на передачу реактивной по линиям электропередачи с учетом компенсации можно с достаточной для расчетов точностью определить зависив коэффициент мощности  $\cos\varphi$  для каждого часа пропорционально изменению среднего его значения

$$\Delta \cos \varphi = \frac{\cos \varphi'_p}{\cos \varphi_p} = \frac{0,96}{0,73} = 1,3,$$

где  $\cos \varphi'_p$  и  $\cos \varphi_p$  – значения среднего коэффициента мощности с применением и без применения компенсации реактивной мощности соответственно.

Данное соотношение показывает во сколько в среднем вырос коэффициент мощности благодаря применению компенсирующих устройств.

Согласно графику нагрузки по данным приборов, установленных в ячейке 6, в период с 00 ч. 00 мин до 1 ч. 00 минут среднее значение коэффициента мощности составило 0,73 кВар. С введением компенсации реактивной мощности он возрастёт в среднем в 1,3 раза, то есть

$$\cos \varphi' = \cos \varphi \cdot \Delta \cos \varphi = 0,73 \cdot 1,3 = 0,949.$$

Тогда средняя реактивная мощность за данный период составит

$$Q' = P \cdot tg(\arccos \varphi') = 1117,2 \cdot 0,33 = 371,15 \text{ кВар,}$$

где  $P$  – средняя за период реактивная мощность.

Потери активной энергии и на передачу реактивной мощности по линии электропередачи за данный период согласно (31) составят

$$\Delta P_Q = \frac{Q'^2 \cdot r}{U^2} = \frac{371,15^2 \cdot 2 \cdot 0,24 \cdot 10^{-3}}{10^2} = 0,66 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Аналогичным способом рассчитаны потери электроэнергии за каждый час для каждой ячейки и сведены в таблицу 23, согласно которой суточные потери активной энергии на передачу реактивной составили

$$\Delta W'_{\text{сут}} = \Delta W_{\text{яч6}} + \Delta W_{\text{яч7}} = 18,54 + 35,67 = 54,21 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость годовых потерь, исходя из ранее принятых условий, составит

$$C'_{\Delta W.r} = \Delta W_{\text{сут}} \cdot 360 \cdot T = 54,21 \cdot 360 \cdot 2,12096 = 41391 \text{ руб/год}.$$

Приведённые затраты на прокладку кабельной линии согласно (32)

$$Z'_{\text{лэп}} = 0,152 \cdot 2100000 + 58800 + 48300 + 41391 = 467961 \text{ руб/год}.$$

Капитальные вложения на установку автоматических конденсаторных установок складываются из их стоимости и затрат на установку и настройку. Последние составляют примерно 10 % от стоимости оборудования. В таблице 24 приведены стоимости выбранных установок согласно прайс-листу компании «Хомов электро».

Суммарная стоимость установок составляет 3256000 руб. Следовательно, капитальные затраты на их установку с учетом монтажа и настройки составят

$$K_{\text{крм}} = 3256000 \cdot 1,1 = 3581600 \text{ руб}.$$

Стоимость амортизационных отчислений составит

$$C_{\text{ам крм}} = E_{\text{ам}} \cdot K_{\text{крм}} = 0,028 \cdot 3581600 = 100284 \text{ руб/год},$$

где  $E_{\text{ам}}$  – коэффициент амортизационных отчислений [10].

Отчисления на обслуживание и ремонт установок

$$C_{\text{обсл крм}} = E_{\text{обсл}} \cdot K_{\text{лэп}} = 0,015 \cdot 3581600 = 57724 \text{ руб/год}.$$

Приведённые затраты на установку компенсирующих устройств

$$Z_{\text{крм}} = E_{\text{н}}^{\text{об}} \cdot K_{\text{крм}} + C_{\text{ам крм}} + C_{\text{обсл крм}}$$

где  $E_{\text{н}}^{\text{лэп}}$  – коэффициент эффективности капитальных вложений для силового оборудования, равный 0,193 [10].

$$Z_{\text{крм}} = 0,193 \cdot 3581600 + 100284 + 57724 = 849256 \text{ руб/год}.$$

Суммарные приведённые затраты для варианта с применением компенсации реактивной мощности

$$Z' = Z'_{\text{лэп}} + Z_{\text{крм}} = 467961 + 849256 = 1317217 \text{ руб/год}.$$

Таблица 23 - Расчет потерь активной мощности в питающих линиях с учетом компенсации реактивной мощности

Интервал времени	Ячейка 6					Ячейка 7				
	Активная мощность, кВт	cosφ	cosφ'	Реактивная мощность, Квар	Потери при cosφ'	Активная мощность, кВт	cosφ	cosφ'	Реактивная мощность, Квар	Потери при cosφ'
1:00	1117,20	0,73	0,949	371,1553476	0,661230202	1011,60	0,697	0,9061	472,3221656	1,070823495
2:00	1178,40	0,726	0,9438	412,6736199	0,817437679	1090,80	0,706	0,9178	471,8833369	1,068834641
3:00	1260,00	0,74	0,962	357,6323306	0,613924243	1177,20	0,729	0,9477	396,4525808	0,754438314
4:00	1272,00	0,747	0,9711	312,6269456	0,469130914	1125,60	0,707	0,9191	482,552291	1,117712225
5:00	1246,80	0,738	0,9594	366,5402301	0,644888353	1035,60	0,714	0,9282	415,1344158	0,827215599
6:00	1178,40	0,745	0,9685	302,9814888	0,440629356	980,40	0,718	0,9334	376,9063703	0,681880377
7:00	1212,00	0,786	1	1	0	871,20	0,717	0,9321	338,5361463	0,550112267
8:00	1725,60	0,743	0,9659	462,5576489	1,027005977	1240,80	0,666	0,8658	717,1219332	2,468466562
9:00	1765,20	0,735	0,9555	544,9694322	1,425560074	1263,60	0,658	0,8554	765,144206	2,810139149
10:00	1772,40	0,729	0,9477	596,9015921	1,710199251	1460,40	0,675	0,8775	798,1466889	3,057783058
11:00	1600,80	0,764	0,9932	187,6420895	0,169005858	1286,40	0,694	0,9022	614,9937819	1,815443288
12:00	1279,20	0,782	1	1	0	973,20	0,711	0,9243	401,8587943	0,775154355
13:00	1686,00	0,719	0,9347	641,13389	1,973052792	1399,20	0,661	0,8593	832,8307809	3,329314126
14:00	1647,60	0,73	0,949	547,3644385	1,438117577	1418,40	0,673	0,8749	785,1597272	2,959083827
15:00	1591,20	0,744	0,9672	417,8973931	0,83826351	1363,20	0,673	0,8749	754,6035957	2,733247616
16:00	1402,80	0,756	0,9828	263,5932519	0,333510732	1161,60	0,679	0,8827	618,4193132	1,835723745
17:00	1323,60	0,727	0,9451	457,6528113	1,005341259	1120,80	0,684	0,8892	576,6834884	1,59630646
18:00	1243,20	0,719	0,9347	472,7506833	1,072767401	1056,00	0,703	0,9139	469,0578816	1,056073422
19:00	1053,60	0,743	0,9659	282,423933	0,382863734	882,00	0,695	0,9035	418,3892578	0,840237941
20:00	1186,80	0,727	0,9451	410,3523394	0,808267404	988,80	0,685	0,8905	505,2076689	1,225126986
21:00	1222,80	0,72	0,936	459,8564103	1,015046007	993,60	0,691	0,8983	485,9964349	1,133724167
22:00	1264,80	0,729	0,9477	425,954149	0,870897298	1014,00	0,699	0,9087	465,8237771	1,041560598
23:00	1130,40	0,748	0,9724	271,2309447	0,353117882	897,60	0,712	0,9256	367,0531913	0,646694617
0:00	1000,80	0,734	0,9542	313,7799055	0,47259758	780,00	0,736	0,9568	237,0219295	0,269661096

Таблица 24 - Стоимость установок КРМТ(Ф) по прайс-листу

Установка компенсации реактивной мощности	Стоимость, тыс. руб.
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-600-25	580
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-270-10	298
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	480
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	480
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-350-25	308
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-333-33,3	320
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-325-25	310
КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	480

### 4.3 Выбор оптимального варианта

Критерием выбора оптимально варианта является минимум приведённых затрат. Наиболее выгодным является вариант с применением автоматических конденсаторных установок, суммарные приведённые затраты на который оказались более чем в три раза ниже по сравнению с противоположным вариантом (таблица 25). Определяющую роль в данном сопоставлении сыграла надбавка к тарифу за повышенное потребление реактивной энергии, которую удалось избежать благодаря применению компенсирующих устройств, что свидетельствует о целесообразности внедрения данного мероприятия на рассматриваемом действующем предприятии.

Согласно выше проведённому анализу, достигаемая экономия затрат за счет избавления от надбавки к тарифу составила

$$\Delta C_э = 3375998 \text{ руб/год.}$$

Экономия, сопутствующая снижению расхода электроэнергии в виде сокращения потерь активной мощности, составила

$$\Delta D_{\text{соп}} = C_{\Delta W.г} - C'_{\Delta W.г} = 185913 - 41391 = 144522 \text{ руб/год.}$$

Экономический эффект при внедрении на действующем предприятии компенсации реактивной мощности

$$\Delta D_{\Sigma} = \Delta C_э + \Delta D_{\text{соп}} - C_{\text{ам крм}} - C_{\text{обсл крм}};$$

$$\Delta D_{\Sigma} = 3375998 + 144522 - 100284 - 57724 = 3362512 \text{ руб/год.}$$

Таблица 25 - Результаты технико-экономического сравнения вариантов

Наименование затрат	Вариант с применением компенсирующих устройств	Вариант без применения компенсирующих устройств
<b>Капитальные затраты, руб.</b>		
Линии электропередачи	2100000	2720000
Компенсирующие устройства	3581600	-
<b>Итого</b>	5681600	2720000
<b>Эксплуатационные издержки, руб/год</b>		
Затраты на обслуживание и ремонт	106024	62560
Амортизационные отчисления	159084	76160
Переплата за электрическую энергию	-	3375998
Оплата потерь в линиях	41391	185913
<b>Итого</b>	306499	3700631
<b>Приведённые затраты, руб/год</b>		
Линии электропередачи	738073	467961
Компенсирующие устройства	-	849256
<b>Суммарные приведённые затраты, руб/год</b>		
	4114071	1317217

Срок окупаемости установок компенсации реактивной мощности при внедрении их на данном этапе составит

$$\tau_{ок} = \frac{K_{крм}}{\Delta D_{\Sigma}} = \frac{3581600}{3362512} \approx 1 \text{ год.}$$

Расчет показал, что применение компенсации реактивной мощности является эффективным способом увеличения пропускной способности элементов электроснабжения, экономии на оплате электроэнергии, повышения энергоэффективности производства.

Одним из наиболее значимых преимуществ компенсации реактивной мощности является возможность внедрения её на любом этапе, то есть отсутствие потребности в реконструкции сети. Применение комплектных конденсаторных установок не требует больших затрат на их монтаж и ввод в эксплуатацию. Сметная стоимость монтажа установки КРМТ(Ф) (АФКУТ) - 0,4-500-25 приведена в таблице 26.

Таблица 26 - Сметная стоимость монтажа установки КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25 в РУ 0,4 кВ

Наименование	Единица измерения	Количество	Стоим. единицы, руб.	Общая стоим., руб.
1	2	3	4	5
<b>Монтажные работы</b>				
Стоимость установки КРМТ(Ф) (АФКУТ)- 0,4-500-25	шт.	1	480000	480000
Кабель ВВнг 1x185	м.	60	611,44	36686,4
Прокладка кабеля ВВнг 1x185 по прямку РУ	м/п	60	40	2400
Маркировка жилы кабеля сечением 185мм	шт.	12	100	1200
Наконечник под опрессовку кабеля с медной жилой сечение 185 мм медный ТМЛ 185-16-21	шт.	12	120,76	1449,12
Опрессовка жилы кабеля сечением 185 мм	шт.	12	100	1200
Подключение кабеля сечением 185 мм к установке	шт.	6	20	120
Подключение заземляющего проводника установки к контуру заземления	шт.	1	50	50
Сверление отверстий диаметром 10 мм в бетонном полу	шт.	4	80	320
Закрепление установки анкерными болтами 10x100	шт.	4	20	80
Автоматический выключатель ВА 5241/1000 А стационарный с ручным приводом	шт.	1	20483	20483
Установка трёхполюсного автоматического выключателя в панель ЩО-70 с подключением	шт.	1	1200	1200
Трансформатор тока ТТИ-60 1000/5 А 10 ВА 0,5	шт.	1	600	600
Подключение трансформатора тока 1000/5	шт.	1	100	100
Провод ПуГВ 1x2,5	м.	20	10	200

Продолжение таблицы 26

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Металлорукав 6 мм	м.	10	10	100
Прокладка провода сечением 2,5 мм в металлорукаве	м/п	20	10	200
<b>Пусконаладочные работы</b>				
Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	1 измерение	1	100	100
Замер ёмкости конденсатора	1 измерение	11	50	550
Замер сопротивления изоляции	1 измерение	1	500	500
Настройка и программирование регулятора КРМ	1 настройка	1	500	500
<b>Итоги по смете</b>				
Стоимость оборудования и материалов				539518,52
Стоимость монтажных работ				6870
Стоимость пусконаладочных работ				1650
<b>Всего по смете</b>				<b>548038,52</b>

#### 4.4 Выбор тарифа на оплату электроэнергии

Выбор наиболее оптимального тарифа осуществляется посредством анализа графика нагрузки и производственного процесса предприятия. Применение дифференцированного тарифа является заведомо нецелесообразным, что обусловлено значительным снижением нагрузки в часы ночного минимума. Это вызвано тем, что в ночные часы в работе остаётся только основное производство. Введение ночных смен для вспомогательных цехов нецелесообразно, так как это вызовет значительные затраты на повышение оплаты труда за работу в ночное время, повлечет за собой потребность в расширении штата.

Наиболее актуальным в конкретном случае является сопоставление между собой одноставочного и двухставочного тарифов. Как видно из отчетов о потреблении электрической энергии по данным приборов АСКУЭ, максимум нагрузки приходится на 10 часов 00 минут, который составляет 3232 кВт или 3,232 МВт. Согласно ранее принятым допущениям, потреблённая за месяц электроэнергия составит

$$W_{\text{мес}} = (W_{\text{сут яч6}} + W_{\text{сут яч7}}) \cdot K_{\text{д}} = (32361 + 26592) \cdot 31 = 1827543 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $K_{\text{д}}$  – количество дней в месяце ( график нагрузки для декабрьских суток).

Согласно ценам, принимаемым по [7], оплата электроэнергии за рассматриваемый месяц по двухставочному тарифу составит

$$C_{\Sigma} = P_{\text{max}} \cdot T^{(M)} + W_{\text{мес}} \cdot T^{(2)};$$

$$C_{\Sigma} = 3,232 \cdot 944980,87 + 1827,543 \cdot 297,04 = 3597031,54 \text{ руб},$$

где  $P_{\text{max}}$  – максимум нагрузки в текущем месяце, кВт,

$T^{(M)}$  – плата за заявленный максимум нагрузки, руб/МВт,

$T^{(2)}$  – плата за электроэнергию по двухставочному тарифу, руб/МВт·ч.

При применении одноставочного тарифа оплата за электроэнергию составит

$$C = W_{\text{мес}} \cdot T^{(1)} = 1827543 \cdot 2,12096 = 3876145,6 \text{ руб},$$

где  $T^{(1)}$  – плата за электроэнергию по одноставочному тарифу, руб/кВт·ч.

Переплата за электроэнергию при применении одноставочного тарифа по сравнению с двухставочным составила 279114 руб. Очевидно, что двухставочный тариф наиболее приемлем и выгоден для предприятия. Кроме того, вполне реально осуществить снижение пика нагрузки, тем самым снизить плату за заявленный максимум, что ещё значительно снизит затраты на оплату электроэнергии. Выравнивание графика нагрузки в дневную смену возможно при корректировке производственного процесса со смещением времени перерыва отдельных производственных участков относительно друг друга, времени начала и окончания их работы. Это не потребует каких-либо доплат к заработной плате и расширения штата как в случае с вариантом введения ночных смен. Применение двухставочного тарифа не только снизит затраты на оплату электроэнергии, но и создаст основы стимулирования к выравниванию графика нагрузки с целью обеспечения ещё большего снижения затрат, тем самым оказав благоприятное воздействие не только для предприятия, но и для энергосистемы.

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Технология производства железобетонных изделий включает получение бетонной смеси, изготовление арматуры методом точечной или дуговой сварки, формирование и тепловлажностную обработку изделий. Процесс формирования состоит из следующих операций: сборки и смазки форм, установки арматуры и закладных деталей укладки и уплотнения бетонной смеси в формах, распалубка готовых изделий после тепловлажностной обработки.

При уплотнении бетонной смеси применяется вибрация. Формование изделий осуществляется на вибростолах или же с использованием поверхностных, глубинных и навесных вибраторов. После формования для ускорения твердения бетон подвергают тепловлажностной обработке методом пропаривания.

Изготовление бетона осуществляется в бетоносмесительном узле, где производится последовательно подготовка и дозирование на весах-полуавтоматах сырьевых материалов и загрузка их в бетоносмесительные установки, в которых происходит смешивание материалов с водой. Основная масса бетона идет в производство железобетонных изделий.

### **5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

#### **5.1.1 Вредные производственные факторы**

Основными вредными факторами в производстве железобетонных изделий являются шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат и загрязнение воздуха рабочей зоны (цементной, силикатной, металлической пылью, а также сварочным аэрозолем). Для пыли заводов железобетонных изделий характерна высокая дисперсность частиц (70 – 97,5% пылевых частиц имеют размер до 5 мкм), а также высокое содержание диоксида кремния (от 20 до 70%). Пылевыделение происходит во время операций дробления, просеивания, транспортировки и загрузки сыпучих материалов. В арматурном цехе пыль выделяется во время механической очистки железа от ржавчины и в процессе сварки.

Вредные химические вещества (мономеры синтетических смол, пары отвердителей и пластификаторов) выделяются при использовании синтетических смол в виде добавок в бетон и смазок форм.

Наличие ручных операций способствует контакту кожи с вредными веществами и пылью.

Микроклимат в неотопливаемых транспортно-сырьевых цехах, на складах сырья, полигонах зависит от погодных условий.

В формовочных цехах температура и влажность воздуха определяются близостью расположения рабочих мест от камер твердения, так как при загрузке и выгрузке изделий из камер они являются источником тепло- и влаговыделений.

Шум в цехах, оборудованных бетоносмесительными установками, носит постоянный равномерный характер.

В формовочных цехах, оборудованных вибростолами, шумовой режим неравномерен по времени и отличается резким колебанием уровней. В процессе виброформования вибрация легко распространяется по жидкому бетону и упругим средам и может передаваться на рабочие места или через ручной инструмент на руки работающего.

Среди рабочих бетонных и железобетонных заводов могут выявляться такие формы профессиональных заболеваний, как профессиональные дерматозы и пневмокониозы, а у формовщиков-бетонщиков - вибрационная болезнь, неврит слухового нерва.

### **5.1.2 Опасные производственные факторы**

Основными опасными производственными факторами являются опасность поражения электрическим током, производство погрузочно-разгрузочных работ, движущиеся механизмы (бетоноукладчики, конвейеры, грузоподъемные краны с грузом, передвижные формы, самоходные телеги и пр.), наличие вращающихся частей оборудования.

#### **5.1.2.1 Опасность поражения электрическим током.**

Она обусловлена использованием различного электрооборудования и ручного электроинструмента при производстве работ. При работе с электротехнологическим оборудованием (машины контактной сварки, сварочные выпрямители, агрегаты для сварки свай, машины для высадки анкеров) существует также опасность поражения. Также при повреждении PEN-проводника в кабеле, питающем грузоподъемный кран и одновременном случайном или умышленном (включение катушек управления на фазное напряжение) замыкании фазы на корпус крана, появляется вероятность того, что при контакте с грузозахватным органом или

элементом конструкции крана человек может оказаться под разностью потенциалов. Персонал, обслуживающий технологическое оборудование и цеховые сети, подвержен опасности поражения электрическим током вследствие случайного прикосновения к токоведущим частям ввиду невнимательности и несоблюдения установленных правил.

Основными факторами, влияющими на исход поражения электрическим током, являются:

- значение тока, протекающего через тело человека;
- продолжительность воздействия тока;
- частота тока;
- путь прохождения тока;
- индивидуальные свойства организма человека;
- условия внешней среды.

**Значение тока.** В нормальных условиях наименьший ток промышленной частоты, который вызывает физиологические ощущения у человека, в среднем равен 1 миллиамперу. Переменный ток промышленной частоты силой 15 мА и более способны вызывать явление паралича органов движения и спазмы голосовых связок, при котором становится невозможным самостоятельный отрыв пострадавшего от электродов. Следовательно, токи такой силы представляют опасность для жизни.

**Продолжительность воздействия тока.** Продолжительное воздействие электрического тока с параметрами, не представлявшими первоначально опасности для организма, может привести к гибели в результате снижения сопротивления тела человека. При воздействии электрического тока на организм человека усиливается деятельность потовых желез, в результате чего влажность кожного покрова повышается, а электрическое сопротивление резко снижается. Таким образом, продолжительность протекания тока имеет решающее значение. Чем более длительное время человек находится под действием тока, тем сильнее будет поражение и тем меньше вероятность восстановления жизненных функций организма.

**Частота тока.** Среди переменных токов различной частоты наибольшую опасность представляют токи промышленной частоты 40—500 Гц. Токи высокой частоты (500 кГц и выше) безопасны с точки зрения внутренних поражений: они не вызывают электрического удара. Однако они могут вызвать ожог, и не менее опасны, чем переменные токи промышленной частоты.

**Путь тока** в организме человека имеет значительное значение для исхода поражения. Проходящий ток распределяется в организме по всему его

объему, однако наибольшая часть его проходит по пути наименьшего сопротивления, главным образом вдоль потоков тканевых жидкостей, кровеносных и лимфатических сосудов и оболочек нервных стволов.

Ток, проходя через нервные ткани, оказывает влияние на клетки мозга. Пути тока, лежащие от руки к руке и от руки к ноге, охватывают большее число оболочек нервных стволов. Кроме того, эти пути проходят через такие жизненно важные органы, как сердце и легкие, их поражение представляет наибольшую опасность для организма.

Следует также иметь в виду участки тела с повышенной чувствительностью к воздействию тока. Одним из таких участков является область запястья. Так, при расположении одного электрода на запястье руки, а другого на ладони той же руки можно вызвать острую боль и даже потерю сознания, в то время как приложение тех же электродов к другим участкам тела переносится легче.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и силы токов выше отпускающих установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам ГОСТ 12.1.038—82 «ССБТ. Электробезопасность».

**Индивидуальные свойства человека.** Физическое и психическое состояние человека в момент воздействия на него электрического тока имеет огромное значение. Опасности поражения током больше подвержены лица, страдающие болезнями сердца, легких, нервными заболеваниями и т. д. Поэтому законодательством о труде установлен профессиональный отбор работников, обслуживающих электротехнические установки, в зависимости от состояния здоровья. Так, согласно приложению № 2 к приказу Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г. №302Н, работа по обслуживанию электроустановок не рекомендуется людям с заболеваниями:

- сердечно-сосудистой системы (гипертония, сердечная недостаточность и др.);
- опорно-двигательного аппарата;
- нервной системы (обмороки, миелит и др.);
- органов зрения (значительное понижение остроты зрения);
- костно-мышечной системы;
- нарушения координации мелких движений.

**Условия внешней среды** определяются классификацией помещений по степени опасности поражения человека электрическим током согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Рассматриваемый производственный корпус является помещением с повышенной опасностью

поражения электрическим током, так как пол в помещении является железобетонным.

**Последствия поражения электрическим током.** Электрические травмы представляют собой четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. В большинстве случаев электротравмы излечиваются, но иногда, при тяжелых ожогах, травмы могут привести к гибели человека.

Различают следующие электрические травмы: электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения.

Электрический ожог – самая распространенная электротравма. Ожоги бывают двух видов: токовый (контактный) и дуговой.

Под электрическим ударом следует понимать возбуждение живых тканей организма протекающим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольным судорожным сокращением мышц. Степень отрицательного воздействия на организм этих явлений может быть различной. В худшем случае электрический удар приводит к нарушению и даже полному прекращению деятельности жизненно важных органов – легких и сердца, т.е. к гибели организма. При этом внешних местных повреждений человек может и не иметь.

### **5.1.2.2 Производство погрузочно-разгрузочных работ**

Интенсивное использование грузоподъемной техники также обуславливает опасность травматизма. Причинами возникновения несчастных случаев при производстве работ кранами в большинстве случаев являются неправильные действия крановщика или стропальщика, неисправность приборов и устройств безопасности, неправильный выбор грузозахватных устройств, пренебрежение правилами строповки перемещаемых грузов, человеческий фактор.

### **5.1.2.3 Движущиеся механизмы**

Движущиеся механизмы опасны не только риском нанести урон человеческому здоровью при непосредственном контакте с их частями. Также возможно падение с них различных частей или инструмента, вызванное возникновением аварийных ситуаций или небрежностью обслуживающего персонала.

## 5.2 Техника безопасности

### 5.2.1 Электробезопасность

Для защиты персонала от поражения электрическим током, на предприятии производятся регламентируемые ПОТ РМ – 016 – 2001 организационные и технические мероприятия.

Для предотвращения прикосновения людей к токоведущим частям, последние изготавливаются в закрытом исполнении или изолируются. В случае если токоведущие части невозможно или не целесообразно изготавливать в закрытом исполнении, то их ограждают в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

Основными мерами защиты от поражения током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением от случайного прикосновения;

- электрическое разделение сети;

- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и др.;

- применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;

- организация безопасной эксплуатации электроустановок;

- применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства, ограждающие средства защиты, предназначенные для временного ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохранительные средства защиты предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

Исправность средств защиты должна проверяться осмотром перед каждым применением, а также периодически через 6-12 месяцев.

К основным техническим средствам защиты от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся:

- электрическая изоляция токоведущих частей;

- ограждение;

- использование малых напряжений;

- электрическое разделение сети;

- зануление;

- выравнивание потенциалов;

- защитное отключение;
- средства индивидуальной защиты и защитные средства (указатели напряжения, диэлектрические перчатки, штанги изолирующие, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, переносные заземления, предупредительные плакаты, предохранительные пояса).

### **5.2.2 Безопасное производство работ грузоподъемными кранами**

Наиболее актуальным для завода железобетонных изделий является рассмотрение техники безопасности при производстве погрузочно-разгрузочных работ и работ по перемещению грузов. Это обусловлено большим количеством интенсивно работающих грузоподъемных кранов, основная масса которых сосредоточена в формовочном и арматурном цехах.

Основным регламентирующим документом в данной сфере деятельности являются разработанные в соответствии с Федеральным законом от 21.07.97 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, на базе которых составлены типовые инструкции для стропальщиков и машинистов кранов [11].

На предприятии работает большое количество аттестованных машинистов мостовых, козловых, башенных кранов, стропальщиков, которые ежегодно подтверждают свои знания при сдаче экзаменов ИТР по надзору за грузоподъемными машинами.

Наряду с выполнением прочих правил и инструкций, безопасная работа при производстве работ кранами обусловлена правильным выбором съёмных грузозахватных устройств. Наиболее применяемыми грузозахватными устройствами на предприятии ООО «ЗКПД ТДСК» являются стропы различной конструкции и грузоподъемные траверсы.

При производстве работ по перемещению грузов необходимо следить, чтобы наклон ветви стропа относительно вертикальной оси не превышал 90 градусов. При правильном выборе грузозахватного устройства и соблюдении схем строповки практически исключается вероятность возникновения несчастных случаев. Ниже представлен расчет канатного стропа для подъема дорожной плиты ПДН 2П30-18-10 массой 2,2 тонны.

Требуемая по условиям перемещения груза высота от поверхности плиты до основания стропа составляет 2 метра. Габариты плиты ПДН 2П30-18-10 и схема строповки рассматриваемого изделия приведены на рисунках 10 и 11.

Расчетная схема приведена на рисунке 12. Расстояние  $a$  определится как расстояние между закладными деталями. Расстояние от углов до ближайших закладных равно 300 мм, следовательно

$$a = 3000 - (2 \cdot 300) = 2400 \text{ мм.}$$

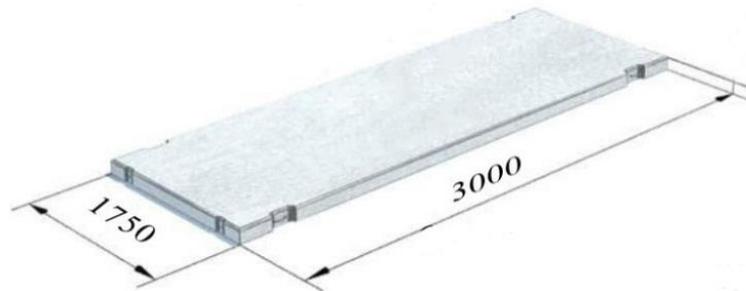


Рисунок 10 - Габариты плиты ПДН 2ПЗ0-18-10

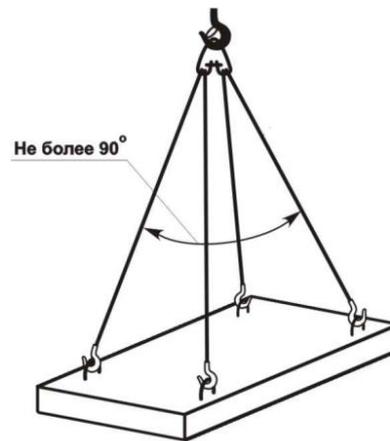


Рисунок 11 - Типовая схема строповки плит ПДН

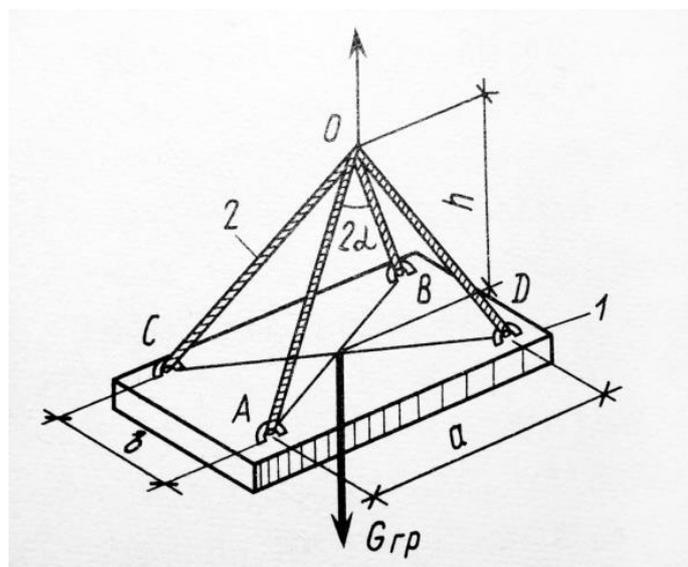


Рисунок 12 - Расчетная схема

Из вышерассмотренных условий  $b = 1750$  мм,  $h = 2000$  мм.

Расстояние между точками А и В (по диагонали плиты)

$$AB = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{2,4^2 + 1,75^2} = 2,97 \text{ м.}$$

Длина одной ветви стропа

$$AO = \sqrt{\left(\frac{A}{B}\right)^2 + h^2} = \sqrt{1,485^2 + 2^2} = 2,49 \text{ м.}$$

Угол наклона ветви стропа к вертикали

$$\frac{\text{tg} \alpha}{2} = \frac{AB}{2h} = \frac{2,97}{4} = 0,743 = 0,63 \text{ рад.}$$

Вес поднимаемой плиты по закону Ньютона

$$G_{\text{гр}} = m' \cdot g = 2,2 \cdot 9,8 = 21,56 \text{ кН,}$$

где  $m'$  – масса плиты.

Рабочая нагрузка в одной ветви стропа

$$F = \frac{m \cdot G_{\text{гр}}}{n} = \frac{1,42 \cdot 21,56}{4} = 7,65 \text{ кН,}$$

где  $m$ - коэффициент, зависящий от угла наклона ветви стропа [12],

$n$ - количество ветвей стропа.

Расчет канатов для изготовления стропов ведётся по методу допускаемых нагрузок по формуле

$$\frac{P}{F} \geq k,$$

где  $P$ - разрывное усилие каната в целом (агрегатная прочность), принимаемое по данным ГОСТов на определённые типы канатов (ГОСТ 2688-80, ГОСТ 7668-80 и др.)

$k$  – коэффициент запаса прочности, значение которого принимают в соответствии с требованиями Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов.

Согласно [11] коэффициент запаса прочности каната по отношению к нагрузке отдельной ветви стропа должен быть не менее 6. Следовательно, разрывное усилие каната должно быть не менее

$$P \geq Fk = 7,65 \cdot 6 = 45,9 \text{ кН.}$$

По ГОСТ 2688-80 выбран канат 9,6 Г-В-Л-Н-Т 1570 (160), разрывное усилие которого равно 57,45 кН или готовый строп 4СК-2,0/РТ1-2,0/К1-08 по ОСТ 24.090.48-79 .

### **5.3 Производственная санитария**

В системе обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе их трудовой деятельности основная роль принадлежит нормативно-правовым документам такими как Конституция РФ (статья 37 п.3), Кодекс законов о труде РФ, Руководство с 1999 г Р 2.2.775 - 99 «Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности опасности факторов производственной среды», ФЗ «Об основах ОТ в РФ» от 17.07.99 г №181 - ФЗ, Федеральный закон « О промышленной безопасности на опасных промышленных объектах» от 21.07.98 г № 116.

#### **5.3.1 Загрязнение воздуха**

На предприятии металлические изделия изготавливают в арматурных цехах. По виду локализации вредностей все сварочные операции можно разделить на три группы:

- термические работы на постоянном рабочем месте (контактная сварка, резка металла, сварка на стационарных постах);
- сварка крупногабаритных узлов и конструкций;
- эпизодически выполняемые сварочные работы на всей площади помещения.

Эпизодических (выполняемых на неопределенных местах) сварочных работ не должно быть, так как в этом случае загрязняется воздух всего помещения и образующиеся вредности трудно локализовать.

Вопреки санитарным требованиям сварочное оборудование изготавливается без встроенных местных отсосов. С целью экономии теплоты и электрической энергии для контактных сварочных аппаратов созданы небольшие отсосы, которые охватывают электрод и находятся на расстоянии 1-2 см от места сварки. По сравнению с кожухами, которые устанавливают над сварочной машиной, отсосы позволяют уменьшить количество удаляемого воздуха до 10-20 раз. Для эффективной работы отсосов необходимы их точная установка и квалифицированное обслуживание. Для более эффективного улавливания вредных выделений при контактной сварке и одновременного гашения искр необходимо применить применяют пылегазоулавливающую головку, состоящую из искрогасительной втулки, жестко закрепленной на подвижном электроде.

В формовочных цехах выделяется сравнительно меньше загрязняющих веществ, поэтому необходимые параметры воздушной среды обеспечатся общеобменной вентиляцией с применением механических подающих и вытяжных вентиляционных систем. Подающие вентиляционные системы с применением радиальных вентиляторов необходимо установить в конце цеховых

пролетов на площадках над дверными проемами. В помещения вентиляционными системами подается наружный воздух, который в зимнее время подогревается паровыми, водяными или электрическими калориферами. Особым источником загрязнения воздушной среды цеха являются пропарочные камеры и поступающая из них готовая продукция, которые выделяют пар. Для удаления пара необходимо применить механическую вытяжную вентиляцию, воздуховоды которой соединены с отсеками всех камер. В зимнее время при транспортировке ЖБИ больших габаритов создается опасность переохлаждения цеха, поэтому проемы ворот должны быть оборудованы воздушными завесами, которые должны работать только при открытых воротах. Кроме того, для прохода людей в воротах предусматривается специальный вход.

При блокировке нескольких пролетов цеха формования изделий и арматурного цеха целесообразно пролеты отделить перегородками высотой хотя бы до подкрановых путей, что предотвратит перемещение загрязнений из одного пролета в другой.

### **5.3.2 Виброакустические вредные факторы**

Гигиеническое нормирование вибраций регламентируется ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

С целью снижения вибрации до допускаемой нормы в ручном инструменте предусмотрена виброизоляция рукояток или мест, за которые рабочий придерживает инструмент при работе. Вокруг виброплощадок устанавливаются специальные виброизолированные настилы, а на рабочих местах машинистов бетоноукладочных и формовочных машин, имеющих вибрационные устройства, - виброизолированные площадки и сиденья. Устройство для виброизоляции площадки обслуживания вибромашины обычно состоит из плит, установленных на пружинах по обе стороны машины. Подобным образом изолируется рабочее место машиниста бетоноукладчика.

В ряде случаев, когда вибрация на рабочем месте машиниста чрезмерно велика, следует проверить величину амплитуды колебаний виброплощадки и, если она завышена, уменьшить ее путем регулирования дисбалансов.

Нормируемые параметры шума на рабочем месте определены ГОСТ 12.1.003 – 83 и Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Мероприятия по борьбе с шумом:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения: повышение качества балансировки вращающихся деталей, улучшение смазки трущихся поверхностей;

- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования;
- применение специальных средств индивидуальной защиты: противошумные наушники, шлемы, вкладыши.

#### **5.4 Пожарная безопасность**

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Это связано с большим разнообразием и сложностью технологических процессов. Основы противопожарной защиты определяются стандартами ГОСТ 12.1.004-86 «Пожарная безопасность» и ГОСТ 12.1.010-86 «Взрывоопасность. Общие требования.» Этими стандартами возможная частота пожаров и взрывов допускается такой, чтобы вероятность их возникновения в течении года не превышала  $10^{-6}$  на человека.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции. В этих инструкциях определены основные требования пожарной безопасности для данного цеха или участка производства.

Предусматриваемые при проектировании зданий и установок противопожарные мероприятия прежде всего зависят от степени пожарной опасности производственного процесса. Согласно СНиП II – М.2.72 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования» производства делятся по степени пожарной опасности на 6 категорий: А, Б, В, Г, Д и Е.

Все цехи на заводе ООО «ЗКПД ТДСК» по степени пожарной опасности относятся к категории «Д» - производства, связанные с обработкой негорючих веществ, в практически холодном состоянии. Причиной возникновения пожаров может быть применение в технологии веществ поддерживающих горение (пакля, полистирол и др.).

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на:

- организационные;
- технические;
- эксплуатационные (своевременные осмотры и испытания оборудования).

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского трансформатора, правильное

содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, пожаро-технической комиссий, издание приказа по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

Для тушения пожара широко применяются различные химические средства, выбрасываемые в очаг пожара с помощью огнетушителей. В настоящее время наибольшее применение имеют ручные жидкопенные огнетушители типа ОП-1 и густопенные типов ОП-3 и ОП-5б. Для этих огнетушителей применяется заряд, состоящий из кислотной и щелочной части. Например: углекислотные огнетушители типов ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8 и другие, предназначенные для тушения возгорания различных материалов и электроустановок. Огнетушитель типа ОУБ-7 (углекислотно-бром-этиловый), он позволят тушить установки до 1000 В под напряжением. Согласно ПУЭ при сдаче в эксплуатацию в КТПН должны быть обеспечены противопожарными средствами и инвентарём.

Поэтому помещения РУ-0,4 кВ устанавливается пожарный щит в который входит следующий инвентарь:

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5;
- ящик с песком 3м<sup>3</sup> - 1шт;
- асбест 2 x 1,5м – 1шт;
- ведро - 2 шт;
- лопата - 2шт;
- багор – 1шт.

### **5.5 Охрана окружающей среды**

Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды от завода ЖБИ вносит бетоно-смесительный узел - БСУ.

На его верхнюю точку поступает цемент из цементных банок посредством пневмотранспорта, щебень и песок перемещаются по транспортной галерее. При пересыпке этих материалов в бункеры, происходит выделение пыли, которая поступает в атмосферу.

Цементная пыль - тонкодисперсный материал, который при диффузии поступает в формовочный цех. Неорганическая пыль в этот цех практически не попадает.

В формовочном цехе заготовленная в БСУ масса укладывается в металлические формы, пропаривается, после чего из них извлекается готовая продукция. Выделение загрязняющих веществ в атмосферу формовочного цеха не поступает.

Определенную долю в загрязнение атмосферы вносит арматурный цех. При сварке каркасов используются ручные аппараты и электроды МР-3. При

сгорания электродов выделяется фтористый водород и образуется кроме того окись марганца.

Аварийных и залповых сбросов на заводе не предусматривается.

Цель защиты атмосферы от вредных выбросов и выделений сводится к обеспечению уменьшения концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое атмосферы равным или менее ПДК.

Цель достигается применением следующих методов и средств: рациональным размещением источников вредных выбросов по отношению к населенным зонам и рабочим местам; рассеиванием вредных веществ в атмосфере для снижения концентраций в ее приземном слое, удалением вредных выделений от источника образования посредством местной или общеобменной вытяжной вентиляции; применением средств очистки воздуха от вредных веществ; применением СИЗ.

Рациональное размещение предусматривает максимально возможное удаление промышленных объектов-загрязнителей воздуха от населенных зон, создание вокруг них санитарно-защитных зон; учет рельефа местности и преобладающего направления ветра при размещении источников загрязнений и жилых зон по отношению друг к другу.

## **5.6 Чрезвычайные ситуации**

Пожарная безопасность промышленного предприятия, технологического процесса, оборудования обеспечивается мероприятиями пожарной профилактики.

Одной из наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций в рассматриваемом производственном корпусе является возникновение пожара. Это обусловлено наличием сварочного оборудования, необходимость в периодическом производстве сварочных работ при ремонте основного оборудования. Пожарная безопасность промышленного предприятия, технологического процесса, оборудования обеспечивается мероприятиями пожарной профилактики. На предприятии регулярно проводятся учения по обеспечению противопожарного состояния и ознакомление персонала с планом эвакуации в случае пожара, назначаются ответственные за комплектность пожарных щитов.

На предприятии согласно №69-ФЗ «О пожарной безопасности», ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» разработана инструкция о действиях работников в случае возникновения пожара и план эвакуации.

В случае возникновения пожара работник цеха должен

- немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию и должность);

- дать сигнал тревоги добровольной пожарной дружине, сообщить руководителю (генеральному директору, начальнику цеха, заведующей магазином и т.п.) или его заместителю о пожаре;

- принять меры по организации эвакуации людей (эвакуацию начинать из помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения огня и дыма;

- одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения (огнетушители, вода, песок и т.п.).

Производственный корпус имеет большую площадь и состоит из десяти пролётов, поэтому персонал должен знать план цеха и местонахождение всех выходов, даже находящихся вдали от места его постоянной дислокации. План эвакуации при возникновении пожара в производственном корпусе цеха представлен на рисунке 13.

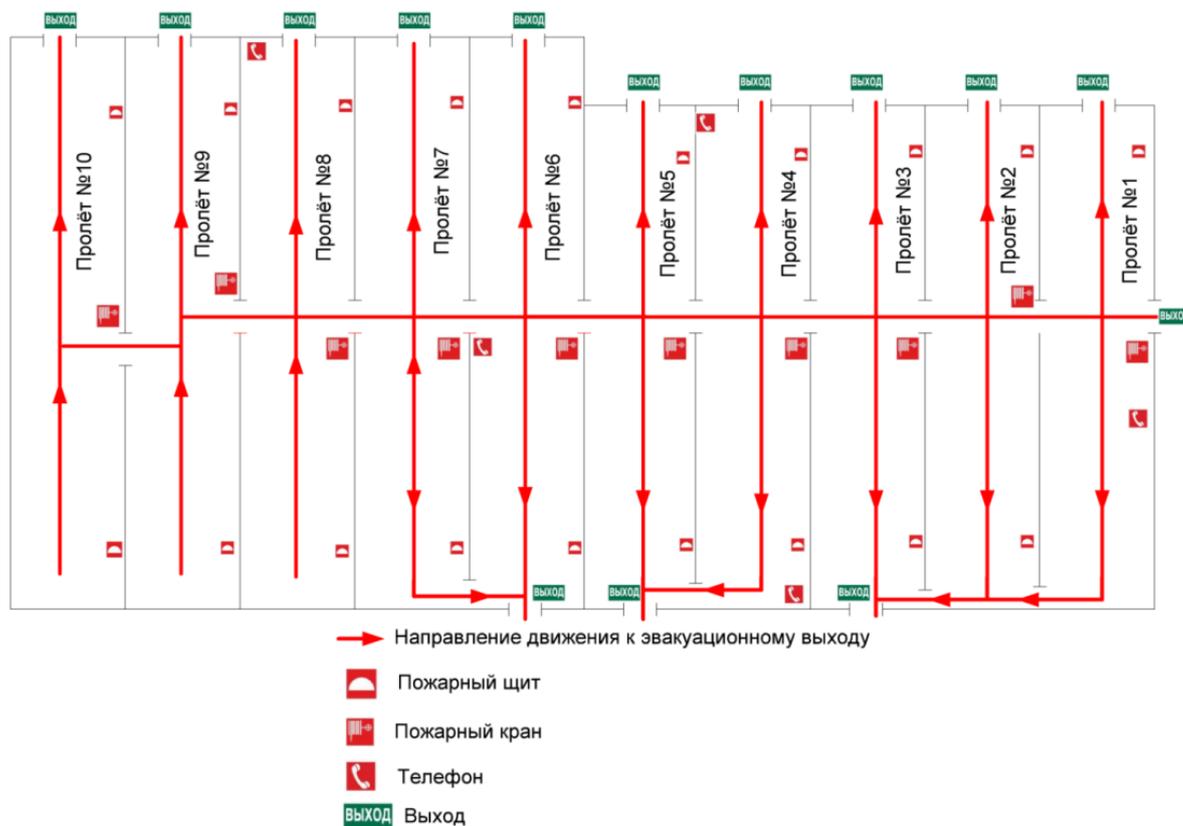


Рисунок 13 - План эвакуации из производственного корпуса №1

## **Заключение**

Все поставленные требования выполнены, расчет электроснабжения предприятия произведён с учетом перспективы роста нагрузок. При возведении новых цехов ввиду расширения производства необходимо будет также уделять должное внимание компенсации реактивной мощности. Это обеспечит возможность подключения больших мощностей и поддержания требуемого коэффициента мощности.

При проведении технико-экономических расчетов по вопросам компенсации реактивной мощности была также обоснована целесообразность внедрения данного мероприятия в данный момент на действующем предприятии.

Помимо вопросов, проработанных в данном проекте, существует ряд иных задач, которые следовало бы рассмотреть после ввода проектируемой системы в эксплуатацию. К наиболее актуальным из них прежде всего можно отнести вопросы энергосбережения и качества электрической энергии. Введение в штат энергослужбы предприятия должности специалиста в данной области, установка энергосберегающего оборудования, и оборудования по повышению качества электрической энергии, проведение мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, - всё это обусловит снижение потерь и удельного расхода электроэнергии на единицу продукции, продлит срок службы оборудования. Установка приборов контроля показателей качества электрической энергии обеспечит право отказываться от оплаты некачественной электроэнергии, либо требовать компенсации вызванного ею ущерба согласно ст. 547 ГК РФ.

Также следует отметить, что при заказе ЦРП модульной конструкции необходимо будет обеспечить резервные места для установки дополнительных распределительных устройств выкатного исполнения. Целесообразным будет также заказ сразу установленных резервных элементов. Помещения цеховых подстанций необходимо выполнить также по возможности с учетом резерва по площади. Это обеспечит в будущем возможность установки и подключения в помещении подстанции различных электротехнических установок, способствующих повышению энергоэффективности и качества электрической энергии.

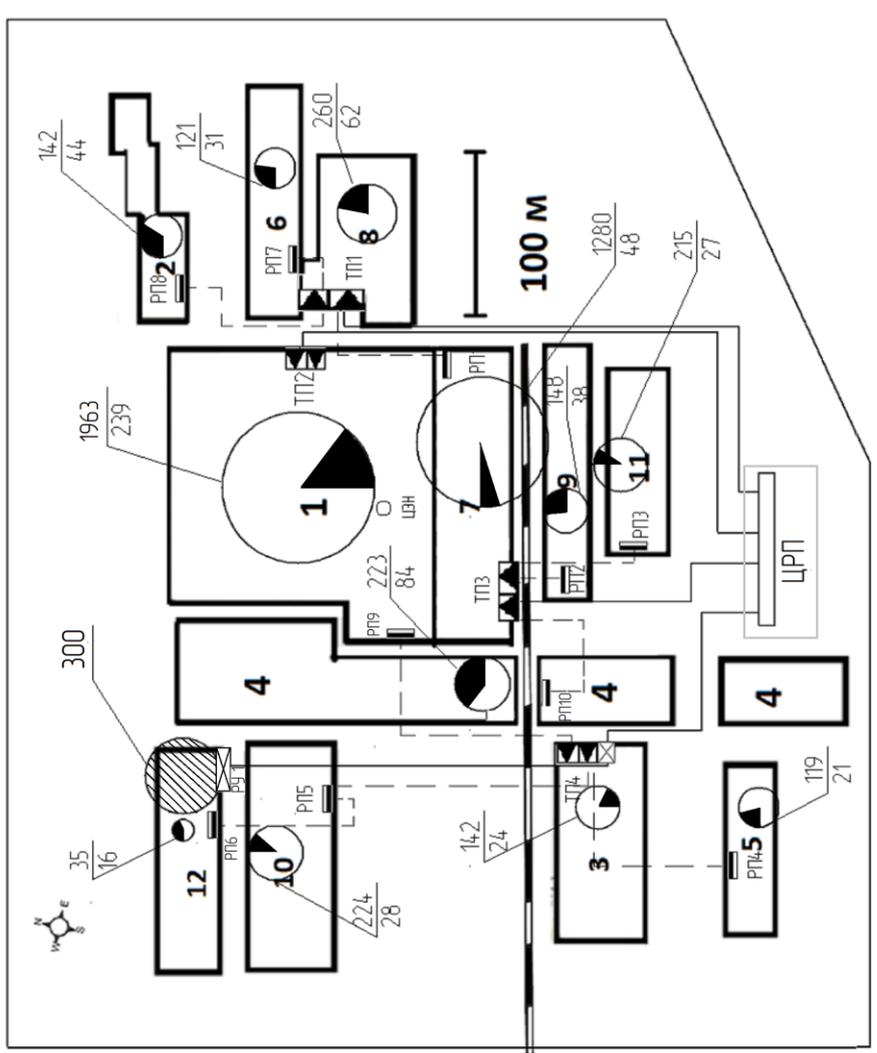
Своевременные осмотры и профилактические испытания элементов электроснабжения предприятия обусловят долгую и надёжную их работу, снижение эксплуатационных издержек, минимизирование вероятности возникновения аварийных ситуаций.

## Список использованных источников

1. Барченко Т.Н. , Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие к курсовому проекту. Томск, изд. ТПИ 1988. -96 с.
2. Кабышев А.В. , Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие. Томск: изд-во ТПУ, 2006. -248 с.
3. Новости электротехники: Информационно-справочное издание / под ред. В.Журавлёва - №5 (11). – СПб., 2001. – 42 с.
4. Рожкова Л.Д. , Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3 изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат , 1987.- 648 с.
5. Ополева Г.Н Схемы и подстанции электроснабжения : Справочник: учеб. пособие. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2009. -480 с.
6. Мельников М.А Внутрицеховое электроснабжение : учебное пособие. Томск: изд-во ТПУ, 2007. – 167 с.
7. Приказ ФСТ от 18.12.13 № 233-э/2 «Об утверждении предельных уровней тарифов на услуги по передаче электрической энергии по субъектам Российской Федерации на 2014 год».
8. Приказ ФСТ от 31.08.2010 № 219-э/6 «Об утверждении методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передачи электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения) »
9. Приказ Минэнерго от 22.02.2007 №49 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения) ».
10. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Н. Климова, А.В. Кабышев. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.-184 с.
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов ПБ 10-382-00 (утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 31.12.99 № 98).
12. Богорад А.А., Загузин А.Т. Грузоподъемные краны машиностроительных предприятий: Учеб. для ПТУ. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ВШ., 1990.- 271 с.: ил.

ЛЕ 27.5.95.УДФ

Приложение А



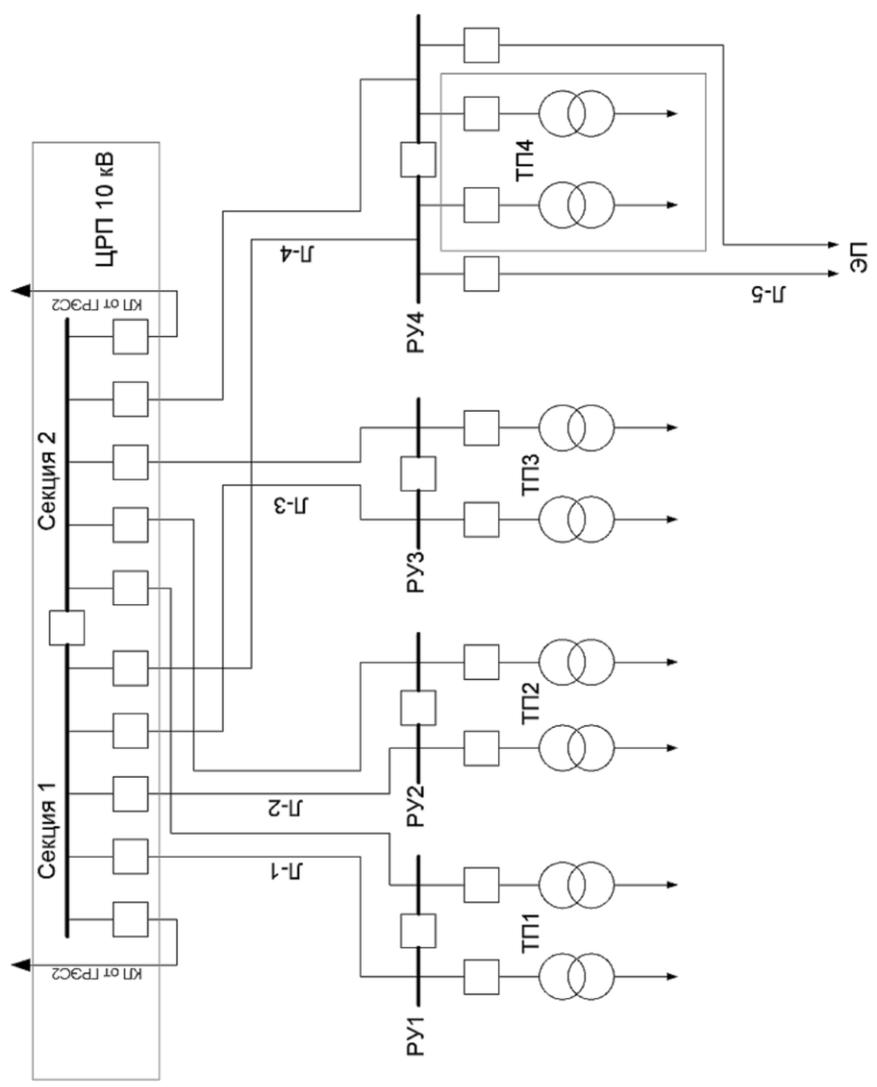
- Условные обозначения
- Распределительное устройство ЦРП
  - Распределительное устройство 10 кВ
  - Цеховая подстанция
  - Распределительный пункт до 1000 В
  - Распределительная сеть 10 кВ
  - Распределительная сеть до 1000 В
  - Электрическая нагрузка 10 кВ
  - Электрическая нагрузка 0,4 кВ
  - Осветительная нагрузка
  - Расчетная мощность цеха
  - Расчетная осветительная нагрузка
  - Центр электрических нагрузок

ФЮРА.3710000.032.34	
Распределительная сеть 10 кВ и картограмма нагрузок завода КПД ТДСК	Лист 102 / Листов 1
Изм./Лист № док.им.	Подп.
Разработ. М.И. Балтук	Дата
Проб. А.С. Сагазов	
Т.контр.	
И.контр.	
Утв.	
НИ ТПУ ЭНИИ з-9382	

Копировал Формат А3

ФЮРА.3710000.033.Э4

Приложение Б



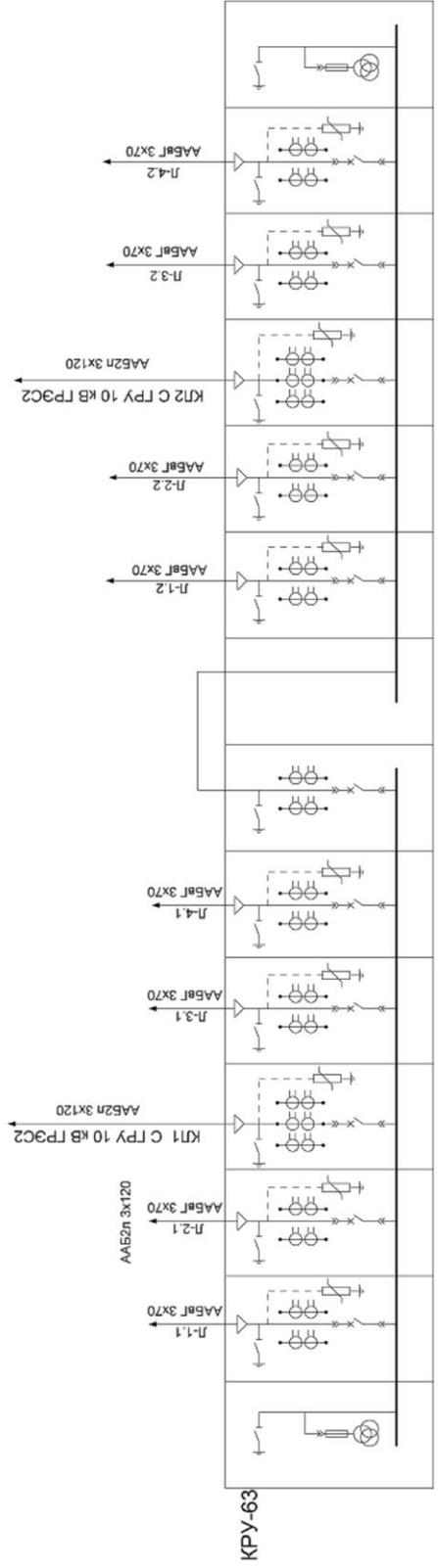
Инд.№ подл.	Подл. и дата	Взам.инд.№	Инд.№ дудл.	Подл. и дата
Инд.№ подл.	Подл. и дата	Инд.№ подл.	Инд.№ подл.	Инд.№ подл.

ФЮРА.3710000.033.Э4		Лист	Масса	Масштаб
Распределительная сеть 10кВ		Ч		
Схема принципиальная		Лист 103	Листов 1	
НИ ТПУ ЭНИН э-9382		Формат А3		

Инд № подл.	Подл. и дата	Взам инд №	Инд № дудл.	Подл. и дата	Спроб №	Перв. пружен.
-------------	--------------	------------	-------------	--------------	---------	---------------

ФЮРА.3710000.034.Э4

# Приложение В

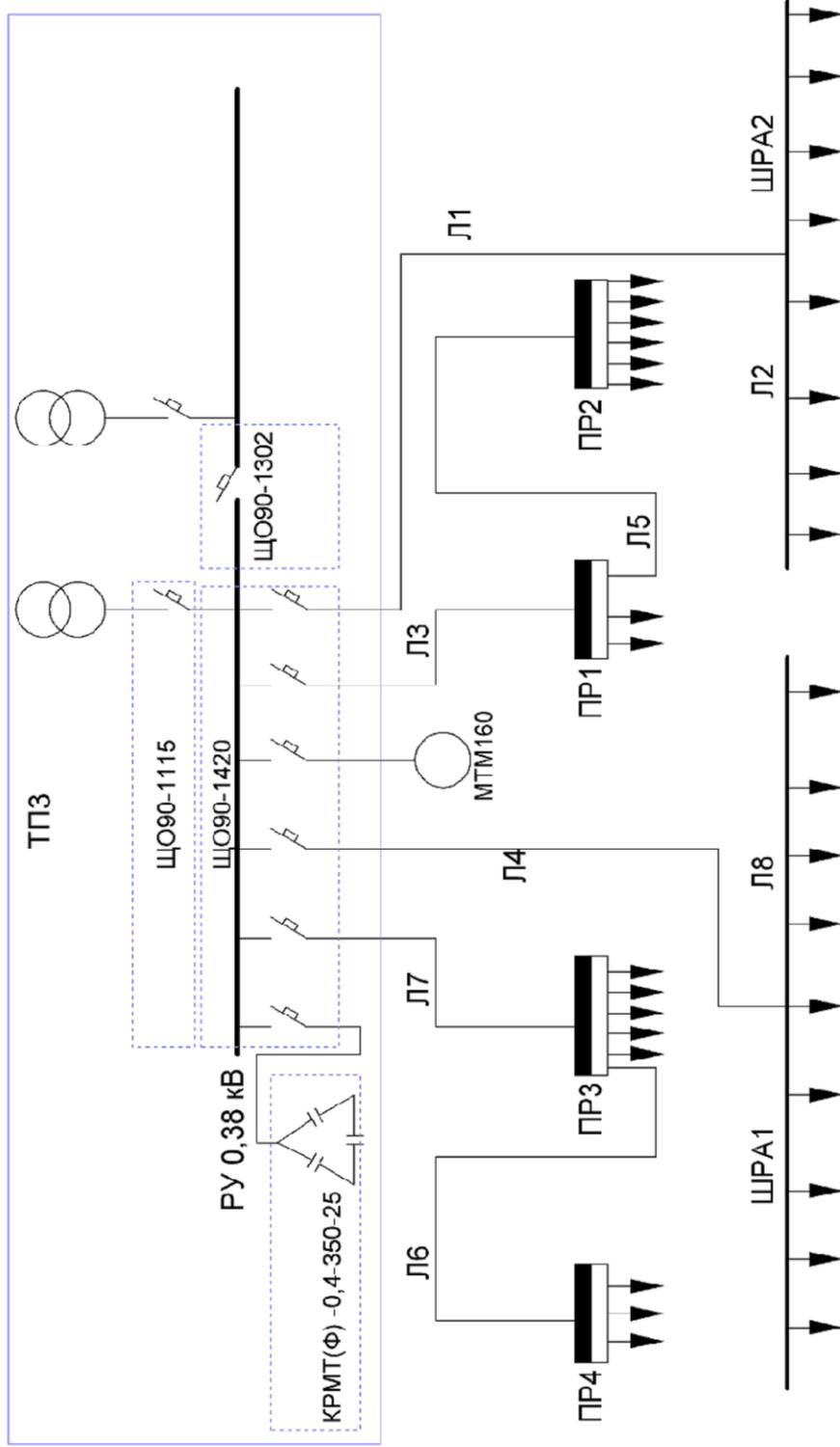


ФЮРА.3710000.034.Э4		Лист	Масса	Масштаб
ЦРП завода КПД ТДСК		Ч		
Схема принципиальная		Лист 104	Листов	1
ИЗМ. №		Испол.	Провер.	Испол.
Разработ.		М.И. Батюк	Провер.	А.С. Соколов
Т.компр.				
Н.компр.				
Эльб.				
НИ ТПУ ЭНИН Э-9382				

Копировал: \_\_\_\_\_  
Формат: А3

ФЮРА.3710000.035.34

Приложение Г



Изм./Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	М.И. Ватюк			У		
Дроб.	А.С. Соколов			Лист 105		1
Т. контр.						
Н. контр.						
Элб.						

ФЮРА.3710000.035.34						
Электроснабжение арматурного цеха						
Схема принципиальная						
НИ ТПУ ЭНИН з-9382						

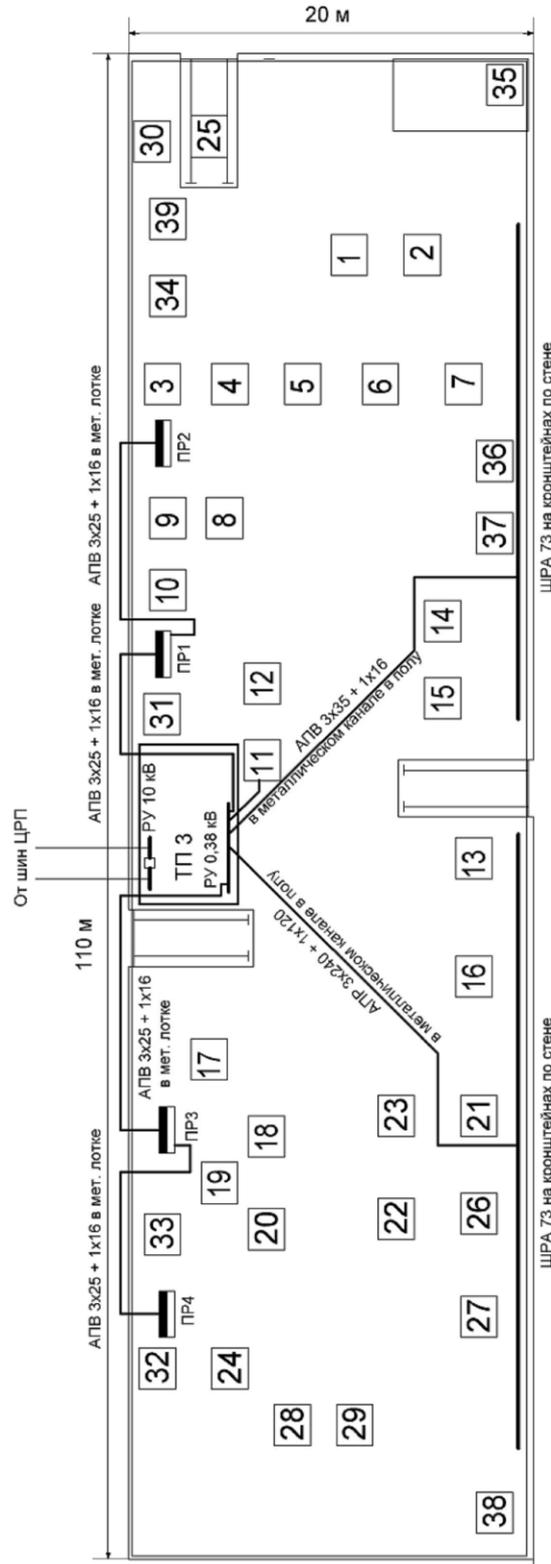
Формат А3

Копировал

Инд.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инд.№	Инд.№ подл.	Инд.№ подл.	Спроб. №	Перв. пружен.
-------------	--------------	------------	-------------	-------------	----------	---------------

ФЮРА 3710000.036.34

# Приложение Д



ФЮРА 3710000.036.34			
Изм./Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.	М.И. Батюк		
Дроб.	А.С. Соколов		
Т. контр.			
Н. контр.			
Элб.			
Арматурный цех Распределение силовой сети на плане		Лист	Масса
Схема расположения		106	Листов 1
		НИ ТПУ ЭНИН з-9382	
		Формат А3	

Инд № подл.	Подп. и дата	Инд № подл.	Подп. и дата
Взам инд №	Инд № подл.	Инд № подл.	Подп. и дата
Спроб №			
Перв. пружен.			