

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

институт

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г.Н. Чистяков
инициалы, фамилия
« ____ » 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

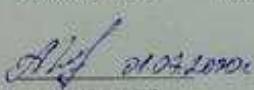
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Электроснабжение гравийного завода «ИП Кудренко А. С.» с. Новоенисейка
тема:

Руководитель _____
подпись, дата _____
доцент, к.т.н.,
должность, ученая степень

А. В. Коловский
инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись, дата _____


Л.М. Черемушкина
инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____
подпись, дата _____

И.А. Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2020

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт –
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
«____» _____ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Черемушкиной Анне Михайловне
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 15-01 (з-15)

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Электроснабжение гравийного завода «ИП Кудренко А. С.» с. Новоенисейка

Утверждена приказом по институту № _____ от _____

Руководитель ВКР Коловский А. В., доцент кафедры «Электроэнергетика»
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для дипломного ВКР план завода с расположением электрооборудования, ведомость электропотребителей.

Перечень разделов ВКР:

Введение

1 Теоретическая часть

1.1 Основные практические принципы и требования к электросетям промышленных объектов

1.2 Обзор методов расчета электрических нагрузок

2 Аналитическая часть

2.1 Общая характеристика гравийного завода п. Новоенисейка и его технологического процесса

2.2 Характеристика потребителей электроэнергии гравийного завода

3 Практическая часть

3.1 Расчет электрических нагрузок первичных групп электрических приемников

3.2 Светотехнический расчет освещения

3.3 Электротехнический расчет электрического освещения. Выбор щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры

3.4 Разработка схемы питания силовых электрических приемников завода, определение центра электрических нагрузок и местоположение ТП. Построение картограммы нагрузок

3.5 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего завода

3.6 Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей, способа прокладки

3.7 Выбор сетевых электрических устройств и аппаратов защиты в них

3.8 Расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей

3.9 Выбор сечений проводов и жил кабелей для подключения ЭП и силовых объектов

3.10 Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховой ТП с учетом компенсации реактивной мощности

3.11 Расчет III, IV и V уровней электроснабжения

3.12 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети

3.13 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ

3.14 Проверка элементов сети

3.15 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников

Заключение

Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части

Лист 1. План гравийного завода с силовыми и осветительными сетями

Лист 2. Однолинейная схема электроснабжения

Лист 3. Эпюры напряжений

Руководитель ВКР

/ А. В. Коловский

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

/ А.М. Черемушкина

(подпись, инициалы и фамилия студента)

25 февраля 2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Электроснабжение гравийного завода «ИП Кудренко А. С.» с. Новоенисейка» содержит 72 страницы текстового документа, 32 использованных источника, 3 листа графического материала, приложений нет.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ОСВЕЩЕНИЕ, СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ.

Объект проектирования – гравийный завод п. Новоенисейка.

Основной целью разработки схемы электроснабжения является обеспечение электроэнергией надлежащего качества с учетом возможности роста электропотребления. Основная задача – разработать схему электроснабжения таким образом, чтобы она соответствовала современным требованиям безопасности, надежности и экономичности.

В процессе проектирования были рассчитаны электрические нагрузки для каждого уровня электроснабжения, после чего была спроектирована схема электроснабжения гравийного завода п. Новоенисейка. Для схемы электроснабжения были выбраны удовлетворяющие всем техническим требованиям сечения кабелей и аппараты защиты. Проверка оборудования по токам короткого замыкания показала правильность выбора аппаратов защиты. Отклонения напряжения получились в нормируемых пределах. В результате проектирования разработана система электроснабжения гравийного завода, соответствующая всем современным требованиям.

THE ABSTRACT

Final qualifying work on the topic "Power supply of the gravel plant" IP Kudrenko A. S. " from. Novoeniseyka "contains 72 pages of a text document, 32 sources used, 3 sheets of graphic material, no attachments.

ELECTRICAL LOADS, LIGHTING, LIGHTING CALCULATION, ELECTRICAL CALCULATION, SELECTION OF EQUIPMENT, CHECK OF EQUIPMENT, SHORT CIRCUIT CURRENT, LOSS OF VOLTAGE.

The design object is a gravel plant in Novoeniseyka.

The main goal of developing a power supply scheme is to provide electricity of good quality, taking into account the possibility of increased energy consumption. The main task is to develop a power supply scheme in such a way that it meets modern requirements of safety, reliability and efficiency.

During the design process, the electrical loads for each level of power supply were calculated, after which the power supply scheme for the gravel plant in Novoeniseyka was designed. For the power supply scheme, cable cross sections and protection devices that met all technical requirements were selected. Checking equipment for short-circuit currents showed the correct choice of protection devices. Voltage deviations were obtained within normalized limits. As a result of the design, a power supply system for the gravel plant was developed that meets all modern requirements.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Теоретическая часть.....	9
1.1 Основные практические принципы и требования к электросетям промышленных объектов	9
1.2 Обзор методов расчета электрических нагрузок	11
2 Аналитическая часть.....	16
2.1 Общая характеристика гравийного завода п. Новоенисейка и его технологического процесса.....	16
2.2 Характеристика потребителей электроэнергии гравийного завода	16
3 Практическая часть	19
3.1 Расчет электрических нагрузок первичных групп электрических приемников	19
3.2 Светотехнический расчет освещения	21
3.3 Электротехнический расчет электрического освещения. Выбор щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры	24
3.4 Разработка схемы питания силовых электрических приемников завода, определение центра электрических нагрузок и местоположение ТП.	
Построение картограммы нагрузок.....	28
3.5 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего завода.....	32
3.6 Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей, способа прокладки.....	37
3.7 Выбор сетевых электрических устройств и аппаратов защиты в них....	37
3.8 Расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей.....	39
3.9 Выбор сечений проводов и жил кабелей для подключения ЭП и силовых объектов.....	40
3.10 Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховой ТП с учетом компенсации реактивной мощности	42
3.11 Расчет III, IV и V уровней электроснабжения	46
3.12 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети	49
3.13 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ.....	51
3.14 Проверка элементов сети	60
3.15 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников	64
Заключение	69
Список использованных источников	70

ВВЕДЕНИЕ

Исследования различных ученых показывают, что существует реальная перспектива повышения уровня электрификации различных производственных и непроизводственных объектов. Многообразие факторов, которые необходимо учитывать при проектировании схем электроснабжения предприятий разных отраслей промышленности, повышает требования к разрабатываемым схемам и оборудованию в плане надежности, безопасности, удобству эксплуатации и экономичности [2, 4].

Система электроснабжения является одной из ключевых систем различных промышленных предприятий. Она предназначена для обеспечения электропитания различного оборудования – высоковольтных и низковольтных агрегатов и установок, потребляющих электроэнергию.

Общей чертой систем электроснабжения промышленных предприятий можно считать их систему распределения электроэнергии, которая транспортирует этот вид энергоресурса к потребителям. Такие системы нашли широкое применение на различных предприятиях, в том числе на заводах, по причинам целесообразности их внедрения на практике, которые зависят, в свою очередь, от категории отдельных цехов, корпусов, их отдельных агрегатов и установок.

Как известно, категория надежности электроснабжения того или иного потребителя определяет сложность построения схемы его электроснабжения, количество источников питания и линий связи между ними и потребителями, их зависимость или независимость друг от друга и другие факторы. Поэтому спроектированная заново система электроснабжения должна отвечать современному развитию науки и техники и опираться на самые актуальные технические разработки. Иначе, в результате применения ненадежного и не зарекомендовавшего себя электрооборудования на практике, а также нерациональная конфигурация системы электроснабжения, эта система может потерять свою устойчивость к различным факторам, способным спровоцировать аварию на производственном объекте. При этом требуемое качество электроэнергии, естественно, обеспечено не будет.

Любое производство, в том числе гравийный завод, можно отнести к некоторому потенциально опасному производственному объекту со своей спецификой. В частности, такая опасность кроется в особенностях организации и осуществления технологических процессов, эксплуатации электрооборудования и других факторах. Поэтому правильная организация и эксплуатация всех систем завода, в том числе и системы электроснабжения, а также четкое соблюдение техники безопасности в совокупности с этими процессами будет способствовать безопасному и эффективному функционированию предприятия и его процветанию.

Объект исследования – гравийный завод с. Новоенисейка.

Предмет исследования – система электроснабжения гравийного завода.

Цель ВКР – проектирование системы электроснабжения гравийного завода п. Новоенисейка.

Задачи ВКР следующие:

1) дать общие сведения о гравийном заводе, его электрических нагрузках и источнике питания;

2) произвести расчет электрических нагрузок гравийного завода;

3) произвести выбор и обоснование схемы электроснабжения гравийного завода;

4) произвести расчет и выбор электрооборудования и проводников в системе электроснабжения гравийного завода;

5) рассчитать токи короткого замыкания в системе электроснабжения и проверить выбранное электрооборудование гравийного завода;

7) произвести расчет отклонений напряжения для самого мощного и самого удаленного электроприемников и проверить на соответствие нормативным показателям.

1 Теоретическая часть

1.1 Основные практические принципы и требования к электросетям промышленных объектов

Можно выделить основные практические принципы, которыми следует руководствоваться при проектировании промышленной системы электроснабжения [11, 19].

1. Простота и масштабируемость. Система распределения электроэнергии промышленного предприятия не должна быть слишком много шагов, распределительная сеть не должна быть длинной, и способ настройки сети должен быть максимально простым. Кроме того, система должна иметь возможность вводить новое оборудование, что важно.

2. Отсутствие перегрузок. При разработке семинаров по промышленному бизнесу большое значение имеет размещение материалов в мастерской и область замены изменений. Если возможно, каждая деталь должна располагаться с отдельным распределительным устройством, которое расположено рядом с центром нагрузки. Другие клиенты и веб-сайты не должны подключаться к этому устройству для предотвращения дальнейшей загрузки.

3. Обеспечение бесперебойного производственного процесса. В отраслях с параллельными процессами потока сеть должна быть построена таким образом, чтобы при необходимости отключать один сетевой объект (в случае аварии, в целях ремонта) отключались только системы, связанные с этим потоком. Другой поток процесса должен оставаться в рабочем состоянии.

4. Безопасность. Все используемое электрооборудование должно иметь уровень защиты, соответствующий условиям эксплуатации конкретного цеха.

Производственные позиции делятся на несколько классов риска. Есть помещения со взрывоопасными и пожароопасными зонами, а также химическая или органическая среда. Сухие, влажные, влажные, горячие, пыльные комнаты также популярны. Рекомендации по экологическому стандарту электрооборудования приведены в Правилах проектирования электроустановок (ПУЭ) [13]. В свою очередь, производственные предприятия отличаются большим количеством пользователей высокого и низкого уровня различных типов, наличием мощных приемников, что приводит к высоким требованиям безопасности. [20]

Если все эти факторы будут приняты во внимание на этапе проектирования системы, потенциал для расширения производства, внедрения новых технологий и использования инновационных материалов увеличится.

Основными компонентами системы питания являются:

- источник питания;
- линии электропередачи от источника питания к предприятию;
- пункт приема электрической энергии (ГПП или ЦРП);
- распределительные сети;
- приемники (потребители электроэнергии).

Основными компонентами системы распределения электроэнергии являются распределительные и распределительные сети. Сеть электропитания - это линии, которые проходят от источника питания к источнику приема. Распределительные сети - это линии, которые доставляют электроэнергию от приемных пунктов непосредственно к электрооборудованию. В этом случае распределительные круги могут быть лучистыми, стволовыми или смешанными.

План магистрали относится к распределению мощности узла опытными пользователями по различным линиям, подключенными к магистрали в разных точках. Основной цикл имеет решающее значение для основной энергетики в производстве машин и оборудования, цветных металлов и экспериментального производства. Основные схемы коммерческого распределения электроэнергии очень надежны, используются в помещениях с общей средой и равномерным распределением материалов.

Молния мощности проектов используются в помещениях без окружающей среды. В этой программе каждый пользователь подключается к компоненту замены или распространения в отдельной строке. С помощью интегрированной программы каждый ствол передает несколько номеров, из которых линии света исходят непосредственно от приемников. Молниеотводы используются для переноса электричества и мощных электродвигателей.

В дополнение к принципам распределения электроэнергии для вышеупомянутых промышленных предприятий (бесперебойная работа, экономическая эффективность, гибкость, близость к источникам энергии, низкое количество ступеней изменения, использование надежных стержневых кругов и т. Д.), Также существует несколько законодательных требований к электросети из производимых материалов [10, 12].

В промышленных предприятиях источником энергии может быть электростанция главной системы электроснабжения или сам бизнес-центр. Собственная электростанция требуется для высокого энергопотребления, при наличии особых требований к надежности системы электропитания и удаленности бизнеса от энергосистем.

Требования к источникам питания [10, 12-15]:

1. На предприятиях с электроприемниками I и II категорий должно быть два и более независимых взаимно резервируемых источника питания.
2. Для электроприемников особой группы I категории должен быть предусмотрен третий независимый источник питания.
3. Питание энергоемких предприятий от сетей энергосистемы следует осуществлять при напряжении 110 или 220 кВ.
4. Предприятия с незначительной нагрузкой могут работать при напряжении 6, 10 и реже 35 кВ.
5. При малой нагрузке достаточно напряжения 0,4 кВ от сетей энергосистемы либо соседнего предприятия.
6. Распределительная сеть промышленных предприятий должна работать на напряжении 10 кВ, в некоторых случаях — 6 кВ, энергоемких — на напряжении 35-110 кВ (иногда даже больше).

Пункт приема при компактном размещении приемников электроэнергии, как правило, может быть один. Два и более приемных пунктов необходимы при следующих условиях:

- при наличии на предприятии двух и более относительно мощных обособленных групп потребителей;
- при повышенных требованиях к надежности питания электроприемников I категории;
- при поэтапном развитии предприятия для питания нагрузок второй очереди.

При проектировании электронной распределительной системы определяются следующие параметры: электрические нагрузки групп приемников, узлов нагрузки и всего предприятия; структура системы распределения электроэнергии - количество и расположение всех компонентов системы; дискретационные сети электропитания и распределительные сети; Способ транспортировки электроэнергии в электрических и распределительных сетях; структурное проектирование электрических машин и электрооборудования; технические средства обеспечения электробезопасности при эксплуатации электрической распределительной системы.

Хорошо выполненный этап проектирования избавит вас от распространенных проблем, таких как увеличение проекции во время установки и «обход» различных инженерных сетей друг над другом. Тщательное изучение деталей проекта позволяет сократить переделки при монтаже и объединить все инженерные системы между ними.

Проектирование и эксплуатация систем распределения электроэнергии для промышленных предприятий является трудоемкой задачей. Этот сегмент постоянно совершенствуется и усложняется в связи с появлением новых технологий и устройств. Спрос на требования к качеству энергии и надежность электроснабжения также растут. Чтобы решить задачу в этой области, необходимо использовать компьютерные технологии, а также высокий профессионализм.

1.2 Обзор методов расчета электрических нагрузок

Целью расчета электрических нагрузок является определение токов, протекающих через токонесущие объекты, с точки зрения их зазора в случае тепловых объектов. Расчет электрической нагрузки важен с точки зрения себестоимости на предприятиях СЭС.

В условиях эксплуатации средняя нагрузка наблюдается в течение фиксированного периода, например, в течение одного цикла в зависимости от расчета. Нагрузка в наиболее широко используемых временных рамках приобретает реальное значение.

Расчетная нагрузка для допустимого нагрева - это максимальная нагрузка и время воздействия объекта СЭС (КТП, ЛЭП и т. д.). Это соответствует изменяющейся нагрузке при изменениях при самых важных тепловых услови-

ях: высокотемпературных проводниках или температурах изоляции.

Для практических расчетов в качестве расчетного значения используется тридцать минут для максимальной нагрузки.

Коммерческие электрические нагрузки, основанные на экспертных предпочтениях, считаются одним из четырех распространенных методов:

- с помощью рассчитанных коэффициентов (с использованием конкретных таблиц и графиков);
- в зависимости от конкретного использования энергии;
- средство адекватного снабжения,
- особая нагрузка на расположение помещений и других узлов строительной конструкции.

Расчет электрических нагрузок по рассчитанным коэффициентам производится в соответствии с РТМ 36.18.32.4 - 92 [15].

Расчеты по удельному потреблению энергии на единицу продукции используются для элементов электрической распределительной системы и регулярно или незначительно модифицируются для временной нагрузки (компрессоры, дробилки и т. д.). Рассчитанная нагрузка соответствует среднему значению наиболее загруженного слоя и должна определяться по удельному потреблению энергии на единицу продукции для определенного объема обслуживания в течение определенного периода времени.

Годовое потребление электроэнергии всей энергетической компанией или на отдельных коммерческих промышленных семинарах определяется по формуле

$$W_{год} = W_{год} \cdot M_{год}, \quad (1.1)$$

где $W_{год}$ – удельное энергопотребление на единицу выпускаемой продукции, кВт/шт.;

$M_{год}$ – количество выпущенных изделий организацией, шт.

Мощность при изображении большой бизнес-нагрузки энергосистемы определяется по формуле

$$P_{макс.год.} = W_{год} / T_{макс}, \quad (1.2)$$

где $T_{макс}$ – число часов в год в период прохождения графиком нагрузки предприятия максимума нагрузки энергосистемы по активной мощности.

Очень важно знать установленный дефицит для определения нагрузок на конструкцию на основе подхода с использованием коэффициента спроса $P_{ном}$ группы электроприемников и справочные коэффициенты – $\cos\phi$, $\tg\phi$, K_c для данной группы.

Нагрузка, распределяемая в процессе проектирования пользователей высокой мощности на основе метода спроса, определяется по принципу:

$$P_p = K_c \cdot P_{ном}; \quad (1.3)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (1.4)$$

$$S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)}. \quad (1.5)$$

Загрузка структуры блока электроснабжения может включать в себя различные группы электронных приемников для функциональных режимов. В связи с этим определяется нагрузка отдельных групп с учетом того, что максимумы выбранных групп энергопринимающих устройств не совпадают [23]:

$$S_p = \sqrt{(\sum P_p^2 + \sum Q_p^2)} \cdot K_{p,m}, \quad (1.6)$$

где $\sum P_p$ и $\sum Q_p$ – нагрузки отдельных групп (реактивная составляющая и активная мощность) с учетом того, что максимумы выделенных групп электроприемников не совпадают;

$K_{p,m}$ – коэффициент разновременности, его величину подставляют в относительных единицах.

В этом случае общая нагрузка на структуру в узле системы распределения электроэнергии предприятия не должна быть меньше ее нагрузки для среднего изменения нагрузки.

Метод нагрузки используется при проектировании стандартных инженерных сетей, которые характеризуются большим количеством пользователей малой и средней мощности, равномерно распределенных по площади мастерской. Данные для конкретных нагрузок отображаются в справочной литературе и обрабатываются в соответствии с конкретными таблицами.

Удельная нагрузка определяется статистическими данными. Его стоимость зависит от вида продукции, ассортимента товаров магазина, обслуживаемых основным распределительным автобусом.

Следует использовать этот метод для определения электрической нагрузки на этапе проектирования при сравнении вариантов для проектов распределения электроэнергии и приблизительных расчетов.

Средняя мощность и отклонение рассчитанной нагрузки от средней, а также метод расчета средней мощности и коэффициент формы зависимости нагрузки во времени также являются стандартными методами.

Система свободной энергии отдельных потребителей энергии, которых часто бывает много, определяется общим законом распределения случайных величин при расчете групповой нагрузки. Это основано на методе расчета средней нагрузки электрических нагрузок и отклонения расчетной нагрузки на основе статистических данных.

Согласно этому методу расчета, коэффициент нагрузки группы энергопотребления определяется двумя показателями: суммарная нагрузка и суммарное квадратное отклонение. Если принять во внимание уже разработанный анализ семенного электрооборудования при напряжениях до 1000 В, то для групп и блоков СЭС этот метод расчета может быть использован.

Существует зависимость от скорости, которая позволяет определить расчетный ток и расчетную мощность в киловольт-амперах для одного набора

приемников мощности [4, 10, 12-15].

В методе расчета средней электрической нагрузки и коэффициента формы кривой нагрузки на зубчатую передачу расчетная нагрузка группы получателей энергии является ее эффективной гарантией и, следовательно, для большого количества получателей энергии различных типов работы, это условие может быть использовано.

Используя этот метод, можно определить структуру нагрузки шин распределительных устройств мастерских на шинах с тем же оборудованием для замены низкого напряжения, что и на распределительных шинах большой мощности.

При расчете трехфазных нагрузок, приблизительно равномерно распределенных по трем фазам, используются все методы определения нагрузок, рассмотренные выше.

Правильное использование осветительного оборудования способствует разумному использованию электроэнергии, повышает качество продукции, повышает производительность труда, снижает количество несчастных случаев и травм, а также сокращает количество персонала, работающего в плохих рабочих условиях и нерегулярных рабочих днях.

Системы освещения могут быть спроектированы точно путем определения, в соответствии с нормами права, общего освещения для определенных помещений в помещениях [27]. Для этого есть стандартные светильники для промышленных магазинов и другого подобного оборудования. Кроме того, они проектируют системы освещения, которые используются для выполнения производственных операций в эксплуатационных условиях, в случае экстренной эвакуации людей из здания по любой причине и в чрезвычайной ситуации. они есть. соответственно проектирование оборудования, передачи и аварийного освещения для бизнеса. Основные методы расчета электрического освещения – это метод коэффициента использования светового потока и удельная осветительная нагрузка на 1 м² производственной поверхности пола цеха (будет рассмотрен ниже).

Расчеты, как правило, начинаются с определения низковольтных нагрузок по цехам. Для каждого цеха должны быть известны суммарные установленные мощности всех низковольтных электроприемников, определены по справочникам коэффициенты мощности и использования.

Согласно [4, 10, 15] производится расчет силовых электрических нагрузок ниже 1000 В методом расчетных коэффициентов K_p. Расчеты выполняются по форме Ф636-92 [10, 15], определяются соответствующие необходимые расчетные коэффициенты в источниках [1-3, 8, 9] и далее расчетные реактивные и активные нагрузки цехов.

Расчетная активная нагрузка группы силовых трехфазных электроприемников на всех ступенях питающих и распределительных сетей находится по формуле [4]:

$$P_p = K_p \cdot K_i \cdot P_n, \quad (1.7)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности активной нагрузки при длительности интервала осреднения 30 минут;

K_i – групповой коэффициент использования;

P_H – номинальная активная мощность этой группы.

Определяются суммарные активные и реактивные нагрузки цехов предварительно без учета мощности освещения.

Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников принимается [4]:

при $n_E \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot P_H \cdot K_i \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (1.8)$$

при $n_E > 10$

$$Q_p = P_H \cdot K_i \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.9)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности рассматриваемой группы электроприемников.

Полная расчетная нагрузка группы трехфазных электроприемников определяется выражением [4]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (1.10)$$

Расчетные кривые и таблицы для определения коэффициента расчетной мощности $K_p = f(n_E, K_i)$ приводятся в РТМ 36.18.32.4-92 и второй редакции пособия к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» [10, 15].

Используя результаты расчета освещения по цехам предприятия определяются также суммарные активные и реактивные нагрузки цехов с учетом мощности освещения и затем с учетом коэффициента расчетной нагрузки при определенном числе присоединений, шт., и средневзвешенном коэффициенте использования $K_{i,ср.взв.}$ определяется расчетная нагрузка на шинах НН подстанций предприятия. Учитываются также высоковольтные электроприемники, имеющиеся на предприятии (синхронные и асинхронные двигатели, электротехнологические установки и другие).

2 Аналитическая часть

2.1 Общая характеристика гравийного завода п. Новоенисейка и его технологического процесса

Производство щебня выполняется с применением трех основных видов оборудования. Это питатель, грохот, дробилка. С помощью питателей сырье равномерно подается в дробилку. Дробилки используются нескольких видов. Это щековые и конусные. Сырье для производства щебня добывают из скал. После этого камень загружают в большегрузный транспорт и везут на производство. Далее горная порода поступает на измельчение через питатели. Дробление выполняется в 4 стадии.

По надежности электроснабжения приемники электроэнергии завода относятся к потребителям II категории. Количество рабочих смен – 2.

Размеры завода, м: А x В x Н = 36 x 18 x 10.

Питание завода может быть осуществлено от электрической подстанции энергосистемы, расстояние от которой составляет 4,0 км.

Микроклимат на заводе нормальный, т.е. температура не превышает +30°C, наличие вредных веществ находящихся в воздухе соответствует нормам ПДК, имеется технологическая пыль, а газы и пары, способные нарушить нормальную работу оборудования, отсутствуют.

По пожароопасности помещение завода относится к классу П-II – не пожароопасное; по взрывоопасности к классу В-II – не взрывоопасное. По степени доступности – общедоступное.

Остановка отдельных электроприемников на общий технологический процесс влияет существенно, и может привести к повреждению оборудования и к экономическому ущербу.

2.2 Характеристика потребителей электроэнергии гравийного завода

Суммарная установленная мощность электроприемников гравийного завода составляет 958,5 кВт.

Перечень электроприемников гравийного завода с указанием их номинальной мощности и технических показателей представлен в таблице 2.1. Электроприемники завода разнообразны и относятся к различным их типам. Они рассчитаны на переменный ток, напряжение питания 380 В и частоту питающей сети 50 Гц. На заводе имеются трехфазные электроприемники.

По режиму работы электроприемники относятся к одной группе: работающие в длительном режиме (ПВ = 100%).

Все электроприемники по стабильности расположения имеют стационарное расположение и по площади завода распределены практически равномерно.

Установленная мощность ($P_{уст}$) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано в графической части.

Таблица 2.1 – Перечень электроприемников гравийного завода

№	Наименование ЭП	P _{уст} , кВт	ПВ, %	U _{ном} , кВ
1	2	3	4	5
1	Дробилка конусная	55	100	0,38
2	Дробилка конусная	55	100	0,38
3	Грохот	75	100	0,38
4	Грохот	75	100	0,38
5	Грохот	75	100	0,38
6	Конвейер	7,5	100	0,38
7	Конвейер	7,5	100	0,38
8	Конвейер	7,5	100	0,38
9	Конвейер	7,5	100	0,38
10	Питатель	7,5	100	0,38
11	Питатель	7,5	100	0,38
12	Питатель	7,5	100	0,38
13	Питатель	7,5	100	0,38
14	Конвейер	7,5	100	0,38
15	Конвейер	7,5	100	0,38
16	Насос масляный	3,5	100	0,38
17	Насос масляный	3,5	100	0,38
18	Подогрев масла	7	100	0,38
19	Подогрев масла	7	100	0,38
20	Грохот	75	100	0,38
21	Конвейер	7,5	100	0,38
22	Дробилка конусная	55	100	0,38
23	Дробилка конусная	55	100	0,38
24	Конвейер	7,5	100	0,38
25	Дробилка конусная	55	100	0,38
26	Дробилка конусная	55	100	0,38
27	Конвейер	7,5	100	0,38
28	Конвейер	7,5	100	0,38
29	Дробилка щековая	45	100	0,38
30	Дробилка щековая	45	100	0,38
31	Дробилка щековая	45	100	0,38
32	Дробилка щековая	45	100	0,38
33	Конвейер	7,5	100	0,38
34	Конвейер	7,5	100	0,38
35	Конвейер	7,5	100	0,38

Номинальная мощность электроприемника принимается равной паспортной мощности. Все электроприемники работают с ПВ, равном 100%:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп.}}$$

Параметры K_и, cosφ, tgφ для электроприемников определены в соответствии с [1, 12]. Значения заносятся в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Электрические нагрузки гравийного завода

№	Наименование ЭП	P _{ном} кВт	ПВ, %	Ки	cosφ	tgφ	Число фаз
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дробилка конусная	55	100	0,4	0,75	0,88	3
2	Дробилка конусная	55	100	0,4	0,75	0,88	3
3	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	3
4	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	3
5	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	3
6	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
7	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
8	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
9	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
10	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
11	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
12	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
13	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
14	Конвейер	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
15	Конвейер	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
16	Насос масляный	3,5	100	0,8	0,85	0,62	3
17	Насос масляный	3,5	100	0,8	0,85	0,62	3
18	Подогрев масла	7	100	0,5	0,95	0,33	3
19	Подогрев масла	7	100	0,5	0,95	0,33	3
20	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	3
21	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
22	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	3
23	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	3
24	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
25	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	3
26	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	3
27	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
28	Конвейер	7,5	100	0,5	0,75	0,88	3
29	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	3
30	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	3
31	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	3
32	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	3
33	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
34	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
35	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	3
	ИТОГО	958,5					

3 Практическая часть

3.1 Расчет электрических нагрузок первичных групп электрических приемников

Для электроустановок, работающих в длительном режиме [5, 6]:

$$P_{p1} = P_{\text{ном}}, \quad (3.1)$$

В соответствии с [5] расчетная нагрузка равна номинальной:

$$P_{p1} = P_{\text{ном}} \sqrt{\Pi B}. \quad (3.2)$$

Реактивная мощность:

$$Q_{p1} = P_{p1} \operatorname{tg} \varphi = P_{p1} \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi)), \quad (3.3)$$

Полная мощность:

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}, \quad (3.4)$$

Расчетный ток

$$I_p = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}, \quad (3.5)$$

Пусковой ток

$$I_{\Pi} = K_{\Pi} I_p, \quad (3.6)$$

где K_{Π} – кратность пускового тока [12].

По формулам (4.2) – (4.7) определяем для ЭП №1:

$$P_{p1} = 55 \cdot \sqrt{1} = 55 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 55 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,75)) = 48,4 \text{ кВар};$$

$$S_{p1} = \sqrt{55^2 + 48,4^2} = 73,26 \text{ кВА.}$$

$$I_{p1} = \frac{73,26 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 111,42 \text{ А;}$$

$$I_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot I_{p1} = 5 \cdot 111,42 = 557,1 \text{ А.}$$

Для остальных электроприемников расчеты аналогичны (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Расчет электрических нагрузок на первом уровне

№	Наименование ЭП	P _{ном} кВт	ПВ, %	Ки	cosφ	tgφ	P _{p1} , кВт	Q _{p1} , кВар	S _{p1} , кВА	I _p , А	I _{пуск} , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Дробилка конусная	55	100	0,4	0,75	0,88	55	48,4	73,26	111,42	557,10
2	Дробилка конусная	55	100	0,4	0,75	0,88	55	48,4	73,26	111,42	557,10
3	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	75	76,5	107,13	162,79	813,95
4	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	75	76,5	107,13	162,79	813,95
5	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	75	76,5	107,13	162,79	813,95
6	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
7	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
8	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
9	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
10	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
11	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
12	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
13	Питатель	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
14	Конвейер	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
15	Конвейер	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
16	Насос масляный	3,5	100	0,8	0,85	0,62	3,5	2,17	4,12	6,26	31,30
17	Насос масляный	3,5	100	0,8	0,85	0,62	3,5	2,17	4,12	6,26	31,30
18	Подогрев масла	7	100	0,5	0,95	0,33	7	2,31	7,37	11,2	11,20
19	Подогрев масла	7	100	0,5	0,95	0,33	7	2,31	7,37	11,2	11,20
20	Грохот	75	100	0,6	0,7	1,02	75	76,5	107,13	162,79	813,95
21	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
22	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	55	48,4	73,26	111,42	557,10
23	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	55	48,4	73,26	111,42	557,10
24	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
25	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	55	48,4	73,26	111,42	557,10
26	Дробилка конусная	55	100	0,7	0,75	0,88	55	48,4	73,26	111,42	557,10
27	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
28	Конвейер	7,5	100	0,5	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
29	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	45	27,9	52,95	80,44	402,20
30	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	45	27,9	52,95	80,44	402,20
31	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	45	27,9	52,95	80,44	402,20
32	Дробилка щековая	45	100	0,8	0,85	0,62	45	27,9	52,95	80,44	402,20
33	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
34	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95
35	Конвейер	7,5	100	0,4	0,75	0,88	7,5	6,6	9,99	15,19	75,95

3.2 Светотехнический расчет освещения

Размещение светильников определяется размерами, показанными на рисунке 3.1.

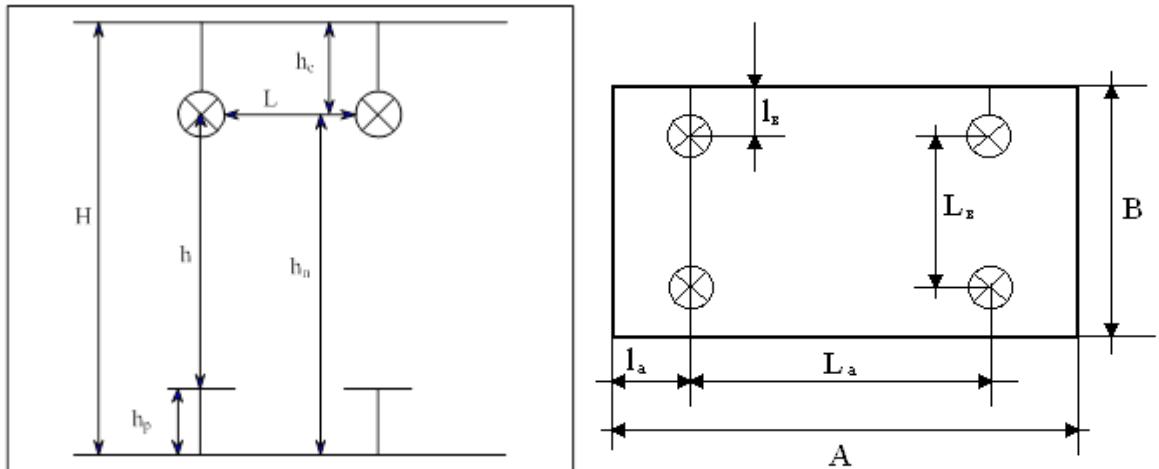


Рисунок 3.1 – Параметры для расчета освещения

В соответствии с [14] для рабочего освещения применим светодиодные лампы. Размеры:

$$L_{\Pi} \times B_{\Pi} \times H_{\Pi} = 36 \times 30 \times 10.$$

Высота расчётной поверхности $h_p = 0,8\text{ м}$, расстояние от перекрытия до светильника $h_c = 1,2\text{ м}$.

Расчетная высота:

$$h = H_{\Pi} - h_c - h_p = 10 - 1,2 - 0,8 = 8\text{ м}.$$

Принимаем $\lambda_3 = 1,4$ [12] для светильников типа ДКУ с широкой силой света:

$$L_A = \lambda_3 \cdot h = 1,4 \cdot 8 = 11,2\text{ м}.$$

В ряду можно разместить $n = 4$ светильников:

$$2 \cdot l_A = 36 - (4 - 1) \cdot 11,2 = 2,4 \Rightarrow l_A = 1,2\text{ м}.$$

Принимаем число рядов $m = 4$, тогда $L_B = 8\text{ м}$ и расстояние от крайних светильников до стены:

$$2 \cdot l_B = 30 - (4 - 1) \cdot 8 = 6 \Rightarrow l_B = 3\text{ м}.$$

В итоге общее число светильников на заводе

$$N = n \cdot m = 4 \cdot 4 = 16 \text{ шт.}$$

Отношение

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{11,2}{8,0} = 1,4 < 1,5.$$

Размещение светильников представлено на рисунке 3.2.

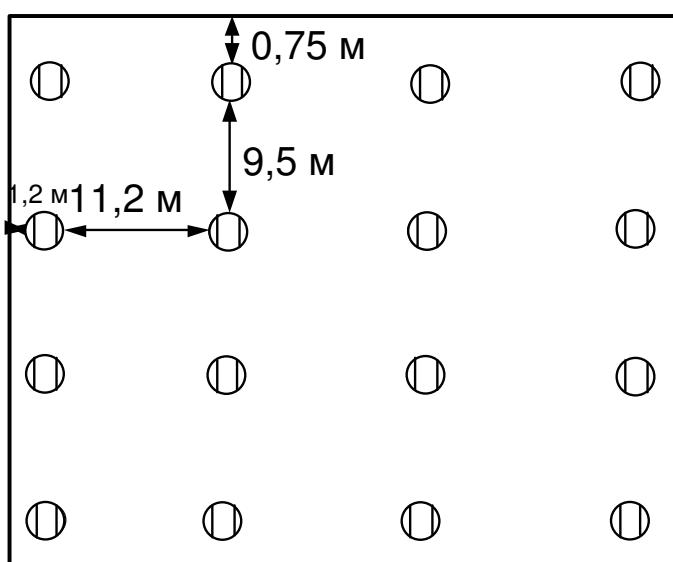


Рисунок 3.2 – Размещение светильников

Поток ламп в каждом светильнике по методу коэффициента использования [12, с. 261]:

$$\Phi_p = \frac{E_h \cdot K_{зап} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.7)$$

где E_h – норма освещенности, по СП 52.13330.2016;

$K_{зап} = 1,5$ – коэффициент запаса [10],

F – площадь завода, m^2 ,

$z = E_{CP}/E_h$ – коэффициент минимальной освещенности,

η – коэффициент использования.

Принимаем $\rho_{п} = 70\%$; $\rho_{ст} = 50\%$; $\rho_p = 10\%$ [10].

Коэффициент использования светового потока:

$$i = \frac{L_{\Pi} \cdot B_{\Pi}}{h \cdot (L_{\Pi} + B_{\Pi})}. \quad (3.8)$$

$$i = \frac{36 \cdot 30}{8 \cdot (36 + 30)} = 2.$$

Коэффициент использования светового потока [10]: $\eta = 0,46$.
По формуле (3.7) определяем световой поток одной лампы:

$$\Phi_p = \frac{20 \cdot 1,5 \cdot (36 \cdot 30) \cdot 1,1}{16 \cdot 0,46} = 4842 \text{ Лм.}$$

По величине Φ_p в [11, таблица 14.17, с. 373] подбираем светильник типа ДКУ мощностью 50 Вт со световым потоком $\Phi_{\text{ном}} = 5500$ лм:

Напряжение питания, В/частота, Гц: 85-265 / 50-60
Коэффициент мощности, $\cos \phi$: $\geq 0,80$
Индекс цветопередачи, Ra: ≥ 80
Количество светодиодов: 50
Цветовая температура, К: 5000
Класс защиты IP: 65
Температурный диапазон эксплуатации, С°: -50 - +55 °C
Габаритные размеры светильника, мм: 540x213x50
Габаритные размеры упаковки, мм: 570x220x90
Вес, кг: 2.4
Посадочный диаметр консольного светильника, мм: до 60 мм
Угол рассеяния: $> 120^\circ$
Материал корпуса: Алюминиевый
Срок службы светодиодов: 50 000 ч.

Отклонение светового потока:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{ном}} - \Phi_p}{\Phi_p} \cdot 100\% = \frac{5500 - 4842}{4842} \cdot 100\% = 13,6\%,$$

находится в допустимых пределах -10...+20%.

Мощность осветительной нагрузки завода

Активная мощность освещения определяется по формуле:

$$P_{\text{осв}} = N P_{\text{ном}} K_c K_{\text{пра}}, \quad (3.9)$$

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность светильника, кВт;
 K_c – коэффициент спроса, $K_c = 0,95$ [12, с. 271];
 $K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент ПРА $K_{\text{ПРА}}(СЛ)} = 1,0$ [12];
реактивная нагрузка:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \operatorname{tg}\phi, \quad (3.10)$$

где $\operatorname{tg}\phi$ – коэффициент реактивной мощности.

Расчет мощности освещения представим в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет мощности освещения завода

Наименование	N	$P_{\text{ном}},$ кВт	K_c	$K_{\text{ПРА}}$	$P_{\text{осв}},$ кВт	$\cos\phi$	$\operatorname{tg}\phi$	$Q_{\text{осв}},$ кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Здание гравийного завода	16	0,05	0,95	1	0,76	0,8	0,75	0,57

3.3 Электротехнический расчет электрического освещения. Выбор щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры

Момент осветительной нагрузки определяют по выражению [10, 12]:

$$M = \sum P_i \cdot l_i, \quad (3.11)$$

Должно быть примерно равномерное распределение по фазам, что сопровождается приблизительным равенством моментов:

$$\sum M_a \approx \sum M_b \approx \sum M_c. \quad (3.12)$$

Потери напряжения, %:

$$\Delta U = \frac{M_{\text{max}}}{K_c \cdot s}, \quad (3.13)$$

где $K_c = 44$ – для сети 380/220 В при алюминиевых проводниках [12, с. 273], для трехфазной системы сети с нулем;

Расчетная нагрузка, Вт:

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot K_{\text{ПРА}}, \quad (3.14)$$

где все величины такие же, что входят в формулу (3.9).

Расчетный ток в трехфазной сети, А:

$$I_{p\ o} = \frac{P_{p\ o}}{\sqrt{3} \cdot U_{\lambda} \cdot \cos \phi}, \quad (3.15)$$

Электротехнический расчет для рабочего освещения

На заводе имеется 4 ряда по 4 светильника мощностью 0,05 кВт. Распределим их по фазам так, как показано на рисунке 3.4.

Расстояния

$l_{01} = 19+10=29$ м (от щитка ЩО до ближайшего светильника 1 ряда);
 $l_{02} = 11+10=21$ м (от щитка ЩО до ближайшего светильника 2 ряда);
 $l_{03} = 4+10=14$ м (от щитка ЩО до ближайшего светильника 3 ряда);
 $l_{04} = 18+10=28$ м (от щитка ЩО до ближайшего светильника 4 ряда);

Значения результирующих моментов по каждой фазе:

1 ряд:

$$\sum M_a = 29 * 0,05 + (29 + 3 * 9,5) * 0,05 = 4,325 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_b = (29 + 1 * 9,5) * 0,05 = 1,925 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_c = (29 + 2 * 9,5) * 0,05 = 2,4 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

2 ряд:

$$\sum M_a = (21 + 1 * 9,5) * 0,05 = 1,525 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_b = (21 + 2 * 9,5) * 0,05 = 2,0 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_c = 21 * 0,05 + (21 + 3 * 9,5) * 0,05 = 3,525 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

3 ряд:

$$\sum M_a = (14 + 2 * 9,5) * 0,05 = 1,65 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_b = 14 * 0,05 + (14 + 3 * 9,5) * 0,05 = 2,825 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_c = (14 + 1 * 9,5) * 0,05 = 1,175 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

4 ряд:

$$\sum M_a = 28 * 0,05 + (28 + 3 * 9,5) * 0,05 = 4,225 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_b = (28 + 1 * 9,5) * 0,05 = 1,875 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

$$\sum M_c = (28 + 2 * 9,5) * 0,05 = 2,35 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

ШИЫНКП

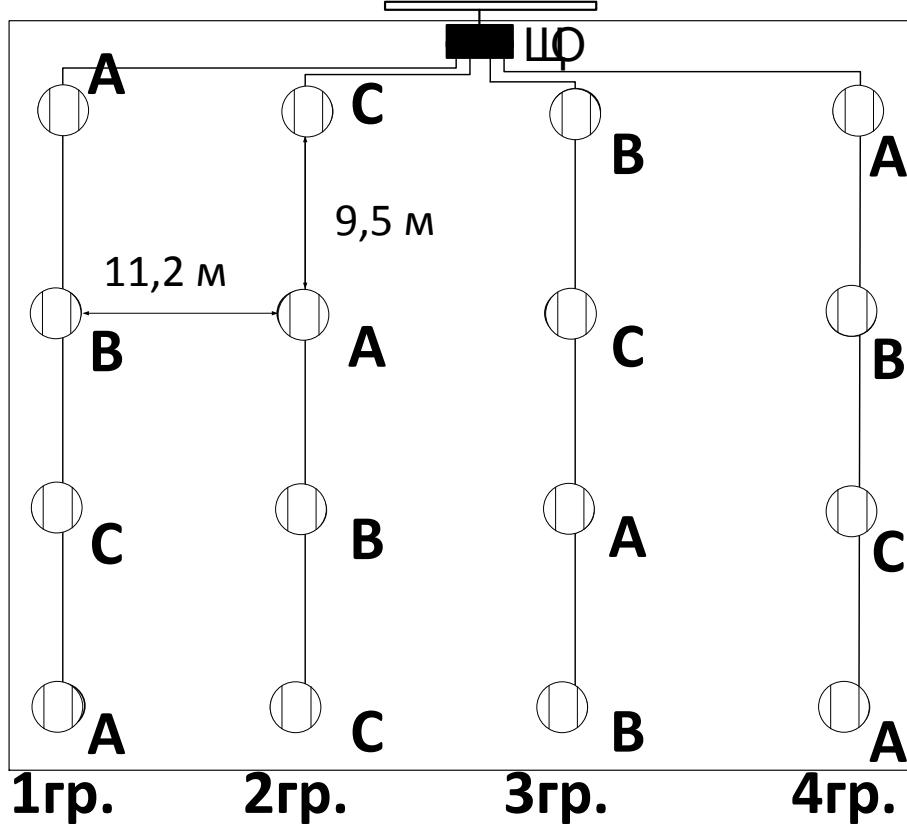


Рисунок 3.4 – Расположение ламп рабочего освещения по фазам

Максимальный момент в одной группе:

$$M_{\max} = 4,325 + 1,925 + 2,4 = 8,65 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

Суммарные моменты по фазам:

$$\sum M_a = 11,125 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \sum M_b = 8,625 \text{ кВт}\cdot\text{м}, \sum M_c = 9,45 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

Выберем сечение по максимальному значению результирующего момента при допустимой потере напряжения $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5 \%$ [10, с. 343], т.е. при $U_{\min\%} = 97,5\%:$

$$s = \frac{M_{\max}}{K_c \cdot \Delta U_{\text{доп}}} \quad (3.16)$$

По формуле (3.16) рассчитываем сечение:

$$s = \frac{8,65}{44 \cdot 2,5} = 0,08 \text{ мм}^2,$$

Выбираем алюминиевый провод марки АПВ 4x2,5 с сечением основной

жины $s = 2,5 \text{ мм}^2$ и допустимым током 19 А.

Рассчитываем фактическую потерю напряжения:

$$\Delta U = \frac{M_{\max}}{K_c \cdot s} = \frac{8,65}{44 \cdot 2,5} = 0,08 \text{ В},$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{\text{ном.ф}}} = \frac{0,08 \cdot 100\%}{220} = 0,036 \text{ \%}.$$

По формуле (3.14) находим расчетную нагрузку одной группы:

$$P_{\text{p.o.}} = (4 \cdot 0,05) \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,19 \text{ кВт.}$$

По формуле (3.15) находим расчетный ток:

$$I_{\text{p.o.}} = \frac{0,19 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,8} = 0,62 \text{ А.}$$

Расчетный ток не превышает допустимый ток кабеля.

Определим сечение кабеля от щита освещения (ЩО) до КТП.

Выберем самую удаленную линию от щитка до светильников и по ней определим сечение проводника.

$$l_0 = 2 \text{ м},$$

$$M = 4 \cdot 0,05 \cdot \left(2 + \frac{9,5 \cdot (4 - 1)}{2}\right) = 3,25 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

рассчитываем сечение:

$$s = \frac{3,25}{44 \cdot 2,5} = 0,03 \text{ мм}^2.$$

Расчетную нагрузку находим по формуле (3.14):

$$P_{\text{p.o.}} = (16 \cdot 0,05) \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,76 \text{ кВт.}$$

Определим максимальный расчетный ток по формуле (3.15):

$$I_{\text{p.o.}} = \frac{0,76 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 1,44 \text{ А.}$$

Выбираем алюминиевый провод марки АПВ 4х2,5 с сечением основной

жилы $s = 2,5 \text{ мм}^2$ и допустимым током 19 А.

Выбираем осветительный щиток ЩО-II-1А-5-6 с номинальным током $I_{\text{ном}} = 5 \text{ А}$, с присоединениями по 2 А.

Вводной автомат: ВА 47-29, $I_{\text{ном}} = 5 \text{ А}$;

Групповой автомат отходящей линии: ВА 47-29, $I_{\text{ном}} = 2 \text{ А}$.

Рассчитываем фактическую потерю напряжения в кабеле, питающем щиток:

$$\Delta U = \frac{11,125 + 8,625 + 9,45}{44 \cdot 2,5} = 0,265 \text{ В.}$$

$$\Delta U \% = \frac{0,265 \cdot 100\%}{380} = 0,07 \text{ \%}.$$

Суммарная потеря напряжения:

$$\Delta U_{\Sigma} = 0,036 + 0,07 = 0,106 \text{ \%}, \text{ что допустимо.}$$

3.4 Разработка схемы питания силовых электрических приемников завода, определение центра электрических нагрузок и местоположение ТП. Построение картограммы нагрузок

Для каждого ЭП наносим свою окружность, центр которой совпадает с ЦЭН этого ЭП. Диаметр окружности [4]:

$$D_i = 2 \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (3.17)$$

где P_i – номинальная нагрузка i -го ЭП; m – масштаб для определения площади круга.

Местоположение центра электрических нагрузок [4, 12]:

$$X_{0(P)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i} * X_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}; \quad Y_{0(P)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i} * Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}; \quad (3.18)$$

$$X_{0(Q)} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ном}i} * X_i}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ном}i}}; \quad Y_{0(Q)} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ном}i} * Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ном}i}}. \quad (3.19)$$

где X_i, Y_i - координаты центра электрической нагрузки i -го электроприемника.

Электроприемники наносим на условную систему координат (рисунок 3.6), распределение остальных координат сведем в таблицу 3.4.

Поскольку по результатам расчетов ЦЭН завода находится на рабочей территории завода (таблица 3.3), то сооружение цеховой трансформаторной подстанции в ЦЭН недопустимо из-за невозможности расположить ее рядом с технологическим оборудованием по причине отсутствия места.

Таблица 3.3 – Определение координат центра электрических нагрузок

Координаты центра электрических нагрузок	по X, м	по Y, м
1	2	3
по Р	16,5	17,5
по Q	16,7	17,7

Определим средневзвешенный коэффициент мощности для завода:

$$\cos \varphi_{\text{ср.в}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i} * \cos \varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (3.20)$$

где $\cos \varphi_i$ – коэффициент мощности i -го ЭП.

$$\cos \varphi_{\text{ср.в}} = 0,757.$$

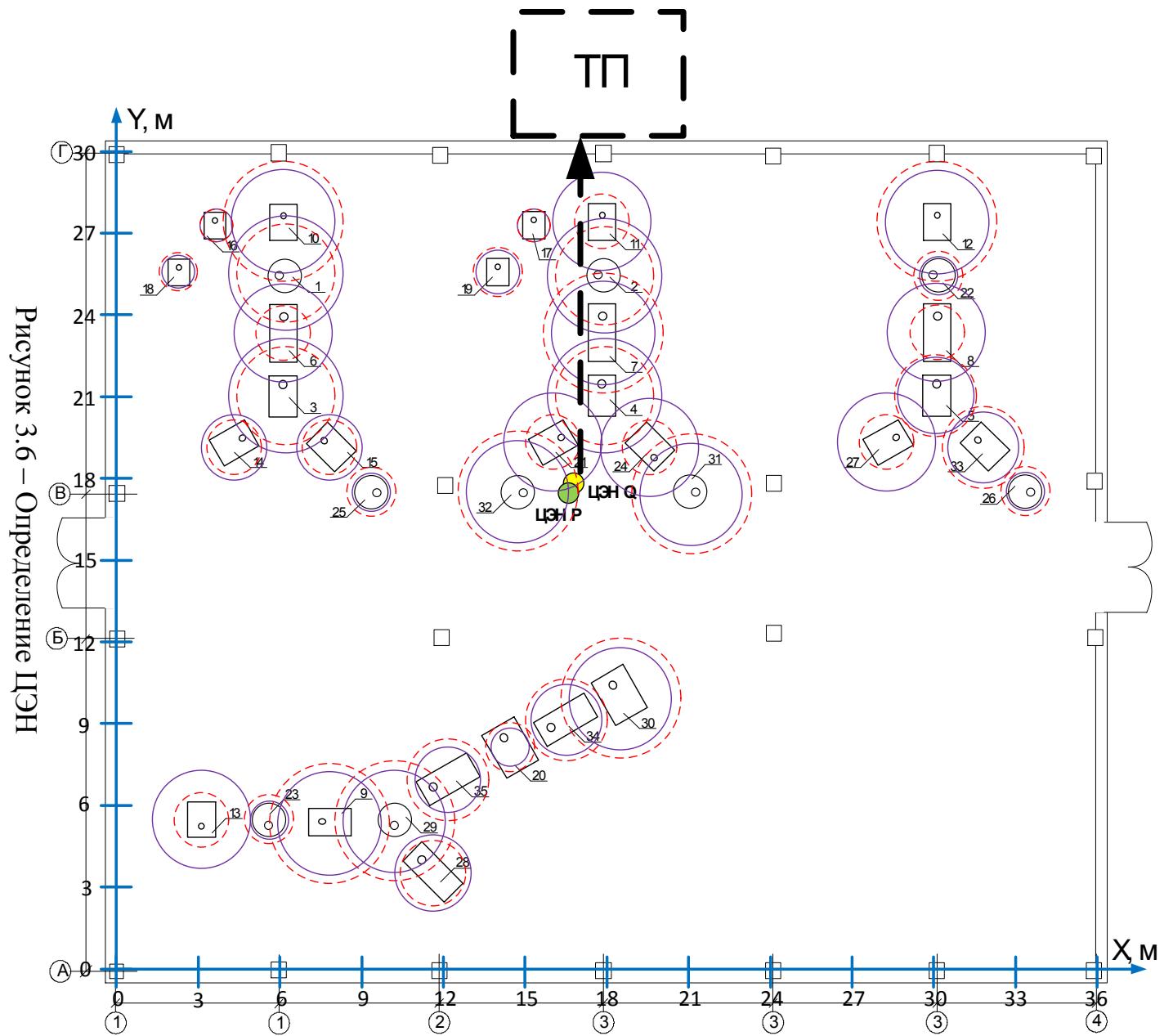
Поскольку значение коэффициента мощности низкое, завод является потребителем реактивной мощности, следовательно, за центр электрических нагрузок будем принимать ЦЭН (Q).

ТП целесообразно вынести за пределы данного завода (смещение по одной из координат так, как показано на рисунке 3.6).

Таблица 3.4 – Определение ЦЭН гравийного завода

№	P _{ном} , кВт	Q _{ном} , кВар	m	R _P , мм	D _P , мм	R _Q , мм	D _Q , мм	X _i , м	Y _i , м	P _i X _i	P _i Y _i	Q _i X _i	Q _i Y _i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	55	48,4	0,05	19	38	18	36	6,2	25,4	341	1397	300,08	1229,36
2	55	48,4	0,05	19	38	18	36	17,8	25,5	979	1402,5	861,52	1234,2
3	75	76,5	0,05	22	44	22	44	6,1	20,9	457,5	1567,5	466,65	1598,85
4	75	76,5	0,05	22	44	22	44	17,8	21	1335	1575	1361,7	1606,5
5	75	76,5	0,05	22	44	22	44	30,1	21	2257,5	1575	2302,65	1606,5
6	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	6,1	23,3	45,75	174,75	40,26	153,78
7	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	17,8	23,4	133,5	175,5	117,48	154,44
8	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	30,1	23,4	225,75	175,5	198,66	154,44
9	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	7,8	5,4	58,5	40,5	51,48	35,64
10	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	6,1	27,4	45,75	205,5	40,26	180,84
11	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	17,8	27,4	133,5	205,5	117,48	180,84
12	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	30,1	27,4	225,75	205,5	198,66	180,84
13	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	3,1	5,4	23,25	40,5	20,46	35,64
14	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	4,4	19,3	33	144,75	29,04	127,38
15	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	7,9	19,3	59,25	144,75	52,14	127,38
16	3,5	2,17	0,05	5	10	4	8	3,6	27,4	12,6	95,9	7,81	59,46
17	3,5	2,17	0,05	5	10	4	8	15,3	27,3	53,55	95,55	33,2	59,24
18	7	2,31	0,05	7	14	4	8	2,3	25,4	16,1	177,8	5,31	58,67
19	7	2,31	0,05	7	14	4	8	14,1	25,6	98,7	179,2	32,57	59,14
20	75	76,5	0,05	22	44	22	44	14,4	8	1080	600	1101,6	612
21	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	16	19,3	120	144,75	105,6	127,38
22	55	48,4	0,05	19	38	18	36	30,1	25,4	1655,5	1397	1456,84	1229,36
23	55	48,4	0,05	19	38	18	36	5,6	5,4	308	297	271,04	261,36
24	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	19,6	19,3	147	144,75	129,36	127,38
25	55	48,4	0,05	19	38	18	36	9,3	17,5	511,5	962,5	450,12	847
26	55	48,4	0,05	19	38	18	36	33,3	17,5	1831,5	962,5	1611,72	847
27	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	28,3	19,3	212,25	144,75	186,78	127,38
28	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	11,6	3,4	87	25,5	76,56	22,44
29	45	27,9	0,05	17	34	13	26	10,2	5,4	459	243	284,58	150,66
30	45	27,9	0,05	17	34	13	26	18,6	10	837	450	518,94	279
31	45	27,9	0,05	17	34	13	26	21,1	17,5	949,5	787,5	588,69	488,25
32	45	27,9	0,05	17	34	13	26	14,7	17,5	661,5	787,5	410,13	488,25
33	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	31,9	19,3	239,25	144,75	210,54	127,38
34	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	16,6	9,2	124,5	69	109,56	60,72
35	7,5	6,6	0,05	7	14	6	12	12,2	7	91,5	52,5	80,52	46,2
ВСЕГО	958,5	829,2								15850	16791,2	13829,99	14684,9

Распределение электроэнергии по заводу производим с помощью распределительных силовых пунктов (рисунок 3.7).



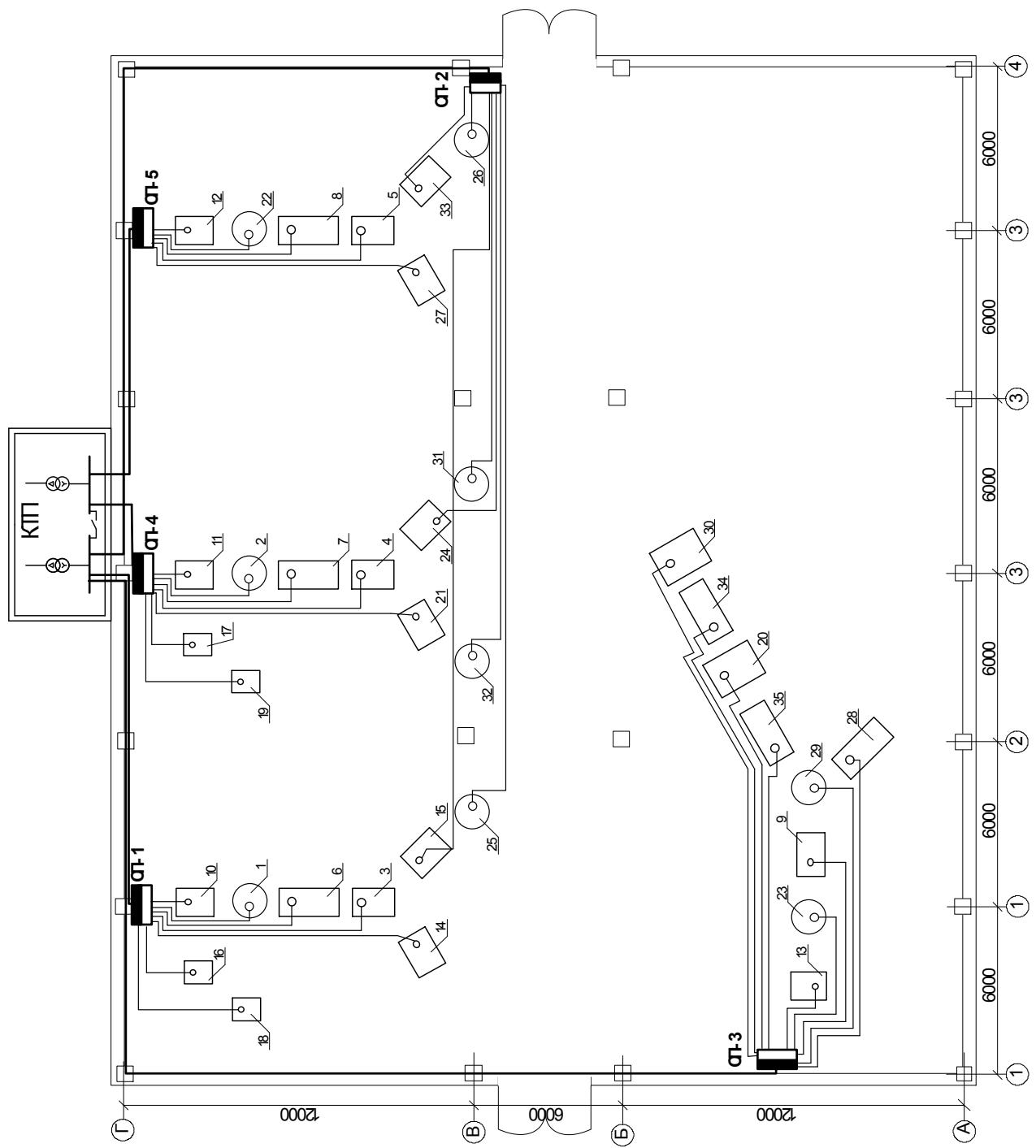


Рисунок 3.7 – Предлагаемый способ питания силовых электроприемников

3.5 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего завода

Расчет силовых электрических нагрузок ведем согласно методу расчетных коэффициентов, описанному в п.1.1.

Результат расчета электрических нагрузок в целом по заводу представлен в таблице 3.5, а по выбранному варианту с применением СП – в таблице 3.6.

Таблица 3.5 – Расчет электрических нагрузок в целом по заводу

Исходные данные				Расчетные величины				Расчетная мощность				Расчетный ток I_p , А			
по заданию технологов		Номинальная (установленная) мощность, кВт	по справочным данным				$K_u P_h$, кВт	$K_u P_h \lg \varphi$, кВар	$n p^2_h$	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА			
Наименование ЭП	Количество Э.П.		Одного ЭП p_h	Общая $P_h = n p_h$	Коэффициент использования, K_i	$\cos\varphi$									
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Дробилка конусная	1	55	55	0,4	0,75	0,88	22	19,36	3025					
2	Дробилка конусная	1	55	55	0,4	0,75	0,88	22	19,36	3025					
3	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625					
4	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625					
5	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625					
6	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
7	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
8	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
9	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
10	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
11	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
12	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
13	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
14	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
15	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
16	Насос масляный	1	3,5	3,5	0,8	0,85	0,62	2,8	1,74	12,25					
17	Насос масляный	1	3,5	3,5	0,8	0,85	0,62	2,8	1,74	12,25					
18	Подогрев масла	1	7	7	0,5	0,95	0,33	3,5	1,16	49					

Окончание таблицы 3.5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
19	Подогрев масла	1	7	7	0,5	0,95	0,33	3,5	1,16	49						
20	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625						
21	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
22	Дробилка конусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						
23	Дробилка конусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						
24	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
25	Дробилка конусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						
26	Дробилка конусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						
27	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
28	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25						
29	Дробилка щековая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025						
30	Дробилка щековая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025						
31	Дробилка щековая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025						
32	Дробилка щековая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025						
33	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
34	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
35	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
	Трехфазная нагрузка	35		958,5	0,62	0,76	0,85	590,85	502,42	49828,75	18	0,9	531,77	452	697,91	1060,36
	Однофазная нагрузка	0		0,00	#ДЕЛ/0!		#ДЕЛ/0!	0,00	0,00	0,00						
	ИТОГО СИЛОВАЯ НАГРУЗКА	35		958,5	0,62	0,76	0,85	590,85	502,42	49828,75	18	0,9	531,77	452	697,91	1060,36
	ОСВЕЩЕНИЕ												0,76	0,57	0,95	1,44
	ВСЕГО												532,53	452,57	698,86	1061,81

Таблица 3.6 – Расчет второго уровня электроснабжения

Исходные данные			по справочным данным			Расчетные величины			Эффективное число Э.П., n_9			Расчетная мощность			Расчетный ток I_p , А	
Наименование ЭП	Количество Э.П.	Номинальная, (установленная) мощность, кВт	по заданию технологов	Одного ЭП $p_{n=pr_n}$	Общая $P_n=pr_n$	Коэффициент использования, K_i	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$K_n P_n$, кВт	$K_n P_n \operatorname{tg}\varphi$, кВар	np^2_n	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
СП-1																
18	Подогрев масла	1	7	7	0,5	0,95	0,33	3,5	1,16	49						
16	Насос масляный	1	3,5	3,5	0,8	0,85	0,62	2,8	1,74	12,25						
10	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25						
1	Дробилка ко- нусная	1	55	55	0,4	0,75	0,88	22	19,36	3025						
6	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
3	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625						
14	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25						
	ИТОГО	7		163	0,51	0,74	0,92	83,8	77,4	8880	3	1,34	112,29	85,14	140,92	214,11
СП-2																
15	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25						
24	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
25	Дробилка ко- нусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						
32	Дробилка ще- ковая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025						
31	Дробилка ще- ковая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025						
33	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25						
26	Дробилка ко- нусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						
	ИТОГО	7		222,5	0,71	0,8	0,76	158,75	120,98	10268,75	5	1,03	163,51	133,08	210,82	320,31
СП-3																
13	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25						
23	Дробилка ко- нусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025						

Окончание таблицы 3.6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
29	Дробилка щековая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025					
28	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
35	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
20	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625					
34	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
30	Дробилка щековая	1	45	45	0,8	0,85	0,62	36	22,32	2025					
	ИТОГО	9		257,5	0,67	0,78	0,81	172	138,94	12981,25	5	1,04	178,88	152,83	235,28
	СП-4														
19	Подогрев масла	1	7	7	0,5	0,95	0,33	3,5	1,16	49					
17	Насос масляный	1	3,5	3,5	0,8	0,85	0,62	2,8	1,74	12,25					
11	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
2	Дробилка ко- нусная	1	55	55	0,4	0,75	0,88	22	19,36	3025					
7	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
4	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625					
21	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
	ИТОГО	7		163	0,51	0,74	0,92	83,05	76,74	8880	3	1,34	111,29	84,41	139,68
	СП-5														
27	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
5	Грохот	1	75	75	0,6	0,7	1,02	45	45,9	5625					
8	Конвейер	1	7,5	7,5	0,4	0,75	0,88	3	2,64	56,25					
22	Дробилка ко- нусная	1	55	55	0,7	0,75	0,88	38,5	33,88	3025					
12	Питатель	1	7,5	7,5	0,5	0,75	0,88	3,75	3,3	56,25					
	ИТОГО	5		152,5	0,61	0,72	0,95	93,25	88,36	8818,75	3	1,22	113,77	97,2	149,64
															227,35

3.6 Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей, способа прокладки

Электрическую сеть выполняем кабельными линиями, прложенными в трубах и по основаниям оборудования [12]. На вводах используются шины НН ТП, на которой установлены трансформаторы ТМЗ 10/0,4 кВ. Защита от сверхтоков предусматривается в вводно-распределительном устройстве автоматическими выключателями, в распределительных щитах - автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями.

Электрическая сеть состоит из распределительной сети (сеть от НН КТП до СП), выполненной кабельными линиями напряжением 380 В марки АВВГ, и групповой сети (сеть от СП до электроприемников), выполненной кабельными линиями напряжением 380 В марки АВВГ.

Все электроприемники питаются от своих распределительных пунктов индивидуальным кабелем, шлейфы в целях надежности питания не используются. Каждый СП питается радиально от НН ТП, которое получает питание от ТП. К распределительной сети присоединяются все электроприемники цеха.

Трассы кабельных линий выбраны с учетом наименьшего расхода кабеля и обеспечения его сохранности при механических воздействиях. Кабели запроектированы в траншее глубиной 0,9м. В местах пересечения кабельных линий с подземными коммуникациями, автодорогой и на расстоянии 2м в каждую сторону от пересекаемой коммуникации кабели защищаются хризотильтцементной трубой диаметром 100мм. В месте установки кабельных муфт в радиусе 2м. кабель защищается глиняным обыкновенным кирпичом в один слой поперек трассы кабелей.

Электроснабжение осветительной нагрузки обеспечивается раздельно от электроснабжения силовой нагрузки. Все электроприемники и светильники собраны соответственно на щитки силовые типа ПР-8804, ПР-8501 и осветительные типа ЩО-II и ОЩВ-3 (-6). Групповые сети рабочего и аварийного освещения проложены в отдельных пучках, трубах. Данная схема питания осветительных установок обеспечивает надежность и безопасность электроснабжения.

3.7 Выбор сетевых электрических устройств и аппаратов защиты в них

Силовые пункты выбираем исходя из количества присоединений и рабочего тока самого пункта и номинального напряжения [12, с. 184-185].

Условие выбора СП:

$$I_{\text{расч СП}} \leq I_{\text{ном СП}}, \quad (3.21)$$

где $I_{\text{расч СП}}$ - расчетный ток группы ЭП присоединенных к СП (2 уровень ЭС),
 $I_{\text{ном СП}}$ - номинальный ток СП.

Выбор представлен соответственно в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Выбор силовых пунктов

Наименование	Расчетный ток, А	Тип СП	Допустимый ток, А	Количество присоединений СП	Фактическое количество присоединений
1	2	3	4	5	6
СП-1	214,11	ПР8501-1067	250	8	7
СП-2	320,31	ПР8501-1083	400	10	7
СП-3	357,47	ПР8501-1083	400	10	9
СП-4	212,22	ПР8501-1067	250	8	7
СП-5	227,35	ПР8501-1067	250	8	5

Выбор автоматических выключателей производим по условиям [13] и представляем в таблицах 3.8-3.9:

а) по номинальному напряжению

$$U_a \geq U_{\text{ном.сети}}, \quad (3.22)$$

б) по номинальному току (уставка теплового расцепителя):

$$I_{\text{расщ}} \geq 1,1 \cdot I_m, \quad (3.23)$$

$$I_{\text{ном.а}} \geq 1,1 \cdot I_m, \quad (3.24)$$

где $I_{\text{расщ}}$ - номинальный ток теплового расцепителя, А;

в) по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{ном.то}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (3.25)$$

где $I_{\text{ном.то}}$ – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А:

$$I_{\text{ном.то}} = K_o \cdot I_{\text{расщ}}, \quad (3.26)$$

где кратность отсечки K_o принимается из ряда 3, 5, 7, 10.

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток, А [12, с. 38]:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.нб}} + (I_p - k_{u.\text{нб}} I_{\text{п.нб}}), \quad (3.27)$$

Таблица 3.8 – Выбор автоматов для защиты СП

Наименование	Расчетный ток присоединения, А	Расчетный ток для выбора автомата, А	Номинальный ток автомата $I_{\text{ном.а}}$, А	Номинальный ток расцепителя $I_{\text{расц}}$, А	Пиковый ток $I_{\text{пик}}$, А	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{\text{пик}}$, А	K_o	$I_{\text{ном.т.о}}$, А	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{\text{откл}}$, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СП-1	214,11	235,52	250	250	1070,55	1284,66	7	1750	ВА 51-35	15
СП-2	320,31	352,34	400	400	1601,55	1921,86	7	2800	ВА 51-37	25
СП-3	357,47	393,22	400	400	1787,35	2144,82	7	2800	ВА 51-37	25
СП-4	212,22	233,44	250	250	1061,1	1273,32	7	1750	ВА 51-35	15
СП-5	227,35	250,09	400	320	1136,75	1364,1	7	2240	ВА 51-37	25

Таблица 3.9 – Выбор вводного и секционного автоматов на КТП

Наименование автомата на НН КТП	Расчетный ток присоединения, А	Расчетный ток для выбора автомата, А	Номинальный ток автомата $I_{\text{ном.а}}$, А	Номинальный ток расцепителя $I_{\text{расц}}$, А	Пиковый ток $I_{\text{пик}}$, А	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{\text{пик}}$, А	K_o	$I_{\text{ном.то}}$, А	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{\text{откл}}$, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вводной QF1, QF3	1061,81	1114,9	1600	1600	5309,05	6370,86	7	11200	ВА 53-43	31
Секционный QF2	530,91	557,46	630	630	2654,55	3185,46	7	4410	ВА 51-39	35

3.8 Расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей

Выбор автоматов для защиты отдельных ЭП производим по условиям [13, с. 42-43; 12, с. 289-291]:

а) по номинальному напряжению

$$U_a \geq U_{\text{ном.сети}}, \quad (3.28)$$

б) по номинальному току (уставка теплового расцепителя):

$$I_{\text{расц}} \geq 1,25 \cdot I_p, \quad (3.29)$$

$$I_{\text{ном.а}} \geq 1,25 \cdot I_p, \quad (3.30)$$

в) по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{ном.то}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пуск}}, \quad (3.31)$$

$$I_{\text{ном.то}} = K_o \cdot I_{\text{расц}}, \quad (3.32)$$

Результаты выбора автоматов для отдельных электроприемников пред-

ставлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Выбор автоматов для отдельных электроприемников

№ ЭП	I_p , А	Расчетный ток $1,25 \cdot I_p$, А	$I_{\text{ном.а}}$, А	$I_{\text{расц}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{\text{пуск}}$, А	K_o	$I_{\text{ном.то}}$, А	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{\text{откл}}$, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	111,42	139,28	160	160	557,1	668,52	7	1120	BA 51-35	15
2	111,42	139,28	160	160	557,1	668,52	7	1120	BA 51-35	15
3	162,79	203,49	250	250	813,95	976,74	7	1750	BA 51-35	15
4	162,79	203,49	250	250	813,95	976,74	7	1750	BA 51-35	15
5	162,79	203,49	250	250	813,95	976,74	7	1750	BA 51-35	15
6	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
7	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
8	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
9	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
10	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
11	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
12	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
13	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
14	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
15	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
16	6,26	7,83	25	10	31,3	37,56	7	70	BA 51-25	2,5
17	6,26	7,83	25	10	31,3	37,56	7	70	BA 51-25	2,5
18	11,2	14	25	16	11,2	13,44	7	112	BA 51-25	3
19	11,2	14	25	16	11,2	13,44	7	112	BA 51-25	3
20	162,79	203,49	250	250	813,95	976,74	7	1750	BA 51-35	15
21	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
22	111,42	139,28	160	160	557,1	668,52	7	1120	BA 51-35	15
23	111,42	139,28	160	160	557,1	668,52	7	1120	BA 51-35	15
24	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
25	111,42	139,28	160	160	557,1	668,52	7	1120	BA 51-35	15
26	111,42	139,28	160	160	557,1	668,52	7	1120	BA 51-35	15
27	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
28	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
29	80,44	100,55	160	125	402,2	482,64	7	875	BA 51-31	7
30	80,44	100,55	160	125	402,2	482,64	7	875	BA 51-31	7
31	80,44	100,55	160	125	402,2	482,64	7	875	BA 51-31	7
32	80,44	100,55	160	125	402,2	482,64	7	875	BA 51-31	7
33	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
34	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3
35	15,19	18,99	25	20	75,95	91,14	7	140	BA 51-25	3

3.9 Выбор сечений проводов и жил кабелей для подключения ЭП и силовых объектов

В соответствии с условиями окружающей среды на заводе (п.1) для питания отдельных электроприемников применяем кабели АВВГ (силовой кабель с алюминиевыми жилами с изолированной оболочкой [14].

Сечение кабеля выбирается по нагреву длительным расчетным током,

тогда приведенный расчетный ток будет определяться по выражению:

$$I_{\text{расчп}} = \frac{I_p}{k_{\pi}}, \quad (3.33)$$

где I_p – расчетный ток проводника, А;

k_{π} – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей (при нормальных условиях прокладки $k_{\pi} = 1$).

Затем по справочной литературе находится сечение проводника, удовлетворяющее условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{расчп}}, \quad (3.34)$$

Проводники для линий к отдельным электроприемникам выбираются с учетом соответствия аппарату защиты согласно условиям [13, с. 43]:

$$I_{\text{пп}} \geq I_p, \quad (3.35)$$

$$I_{\text{пп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{расч}}, \quad (3.36)$$

где $K_{\text{зщ}} = 1$ – поправочный коэффициент защиты;

$I_{\text{ном,а}}$ – ток уставки теплового расцепителя автомата, А.

Выбор сечений проводов и кабельных линий приведен в таблице 3.12.

Стандартные токи кабелей марки АВВГ определяются в соответствии с [17, таблица 21].

Для питания СП применяем кабели марки АВВГ, выбор сечения которых производится по расчетному току [17, таблица 21] (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Выбор кабелей для питания СП

Номер СП	Расчетный ток I_p , А	Ток срабатывания теплового расцепителя автомата, А	Допустимый ток кабеля, А	(Число параллельных кабелей) x сечение основной жилы S, мм ²	Марка, сечение кабеля
1	2	3	4	5	6
СП-1	214,11	250	281	185	АВВГ 4x185
СП-2	320,31	400	486	(2)x150	2АВВГ 4x150
СП-3	357,47	400	486	(2)x150	2АВВГ 4x150
СП-4	212,22	250	281	185	АВВГ 4x185
СП-5	227,35	400	486	(2)x150	2АВВГ 4x150

Таблица 3.12 – Выбор сечений кабельных линий

№ ЭП	Расчетный ток I_p , А	Номинальный ток расцепителя автомата, А	Допустимый ток кабеля, А	Сечение основной жилы S , мм ²	Марка, сечение кабеля
1	2	3	4	5	6
1	119,81	160	183	95	АВВГ 4x95
2	119,81	160	183	95	АВВГ 4x95
3	173,92	250	281	185	АВВГ 4x185
4	173,92	250	281	185	АВВГ 4x185
5	173,92	250	281	185	АВВГ 4x185
6	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
7	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
8	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
9	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
10	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
11	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
12	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
13	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
14	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
15	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
16	7,44	10	27	4	АВВГ 4x4
17	7,44	10	27	4	АВВГ 4x4
18	11,2	16	27	4	АВВГ 4x4
19	11,2	16	27	4	АВВГ 4x4
20	173,92	250	281	185	АВВГ 4x185
21	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
22	119,81	160	183	95	АВВГ 4x95
23	119,81	160	183	95	АВВГ 4x95
24	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
25	119,81	160	183	95	АВВГ 4x95
26	119,81	160	183	95	АВВГ 4x95
27	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
28	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
29	86,96	125	150	70	АВВГ 4x70
30	86,96	125	150	70	АВВГ 4x70
31	86,96	125	150	70	АВВГ 4x70
32	86,96	125	150	70	АВВГ 4x70
33	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
34	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4
35	17,46	20	27	4	АВВГ 4x4

3.10 Выбор единичных мощностей и количества трансформаторов цеховой ТП с учетом компенсации реактивной мощности

Так как проектируемый завод относится ко II категории надежности, то принимаем к установке два трансформатора [1, 4, 7].

Произведем расчет мощностей на III-ем уровне электроснабжения без учета компенсации реактивной мощности.

Определим суммарную активную мощность завода, которая в соответствии с [1] включает в себя расчетную мощность силовой нагрузки, расчетную мощность осветительной нагрузки и потери мощности в линиях на низкой стороне:

$$P_p = P_p + P_{po} + \Delta P, \quad (3.37)$$

Определим суммарную реактивную мощность завода:

$$Q_P = Q_p + Q_{po}, \quad (3.38)$$

Суммарная полная мощность:

$$S_P = \sqrt{Q_P^2 + P_P^2}.$$

Результаты расчетов занесем в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет мощностей на III-ем уровне электроснабжения

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		P_p	Q_p	S_p	
1	2	3	4	5	6
Силовая нагрузка 0,4 кВ	0,85	531,77	452	697,91	
Осветительная нагрузка	0,75	0,76	0,57	0,95	
Итого на стороне 0,4 кВ без учёта потерь в сети 0,4 кВ	0,85	532,53	452,57	698,86	
Потери в сети 0,4 кВ		18,11			
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом потерь в сети 0,4 кВ	0,82	550,64	452,57	712,76	2*TM3-630/10

Если известна расчетная мощность объекта проектирования P_p и коэффициент допустимой перегрузки трансформатора, то можно определить расчетную номинальную мощность трансформатора по формуле [1], кВА:

$$S_{H.T.} = \frac{P_p}{\beta_{m.o}}, \quad (3.39)$$

где P_p – расчетная нагрузка завода.

$\beta_{m.o}$ – коэффициент допустимой перегрузки трансформаторов, который зависит от категории надёжности объекта проектирования и числа трансформаторов на подстанции, в соответствии с вышеприведенными рекомендациями составляет 1,4.

Тогда по формуле (12.3) находим:

$$S_{H.T.} = \frac{550,64}{1,4} = 403,31 \text{ кВА.}$$

Предварительно по расчетной нагрузке выбираем КТП-2х630/10/0,4 (комплектная трансформаторная подстанция, с установкой двух трансформаторов мощностью 630 кВА; первичное напряжение 10 кВ, вторичное 0,4 кВ) [11]. Каталожные данные трансформаторов приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Каталожные данные трансформаторов КТП

$S_{\text{ном.т.}}$, кВА	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	U_k , %	I_x , %
1	2	3	4	5
630	1,56	7,6	5,5	2

Наибольшая реактивная мощность Q_1 , которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 10 кВ без увеличения числа трансформаторов (для трансформаторов масляных и заполненных негорючей жидкостью) [1] определяется как

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot \beta_m \cdot S_{\text{н.тр.}})^2 - P_p^2}. \quad (3.40)$$

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 550,64^2} = 798,8 \text{ кВАр.}$$

Определяем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ:

$$Q_{\text{КУ}} = Q_p - Q_1 = 452 - 798,8 = -346,23 \text{ кВАр.}$$

Исходя из этих соображений, поскольку мощность компенсирующих устройств получилась меньше нуля, то установка КУ не требуется.

Потери мощности в трансформаторах двухтрансформаторной КТП можно определить по выражениям:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{kz}}{n} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (3.41)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \frac{I_{xx} \cdot S_{\text{ном}}}{100} + \frac{u_{kz} \cdot S_p^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (3.42)$$

где n – количество трансформаторов;

ΔP_{xx} – потери холостого хода, (кВт);

ΔP_{kz} – потери короткого замыкания, (кВт);

I_{xx} – ток холостого хода, %;

u_{kz} – напряжение короткого замыкания, %.

С учетом потерь в трансформаторах и расчетной величины мощности компенсирующих устройств сформируем таблицу 3.15, с целью вычисления коэффициента реактивной мощности на стороне ВН (10 кВ) трансформаторов.

Экономическое значение коэффициента реактивной мощности в часы максимума нагрузки при напряжении 6-20 кВ составляет 0,4 (Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной

мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии»).

Таблица 3.15 – Расчетная нагрузка на высокой стороне трансформаторов

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		P_p	Q_p	S_p	
1	2	3	4	5	6
Силовая нагрузка 0,4 кВ	0,85	531,77	452	697,91	
Осветительная нагрузка	0,75	0,76	0,57	0,95	
Итого на стороне 0,4 кВ без учета потерь в сети 0,4 кВ	0,85	532,53	452,57	698,86	
Потери в сети 0,4 кВ		18,11			
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом потерь в сети 0,4 кВ	0,82	550,64	452,57	712,76	2*TMZ-630/10
Мощность КУ в сети 0,4 кВ			0		
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом КУ	0,82	550,64	452,57	712,76	
Потери в трансформаторах		7,98	47,38		
Итого на стороне ВН 10 кВ	0,89	558,62	499,95	749,67	

В нашем случае коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi = 0,89$ (таблица 3.15), поэтому для обеспечения надлежащего качества электроэнергии и выполнения договорных условий выбираем следующие две конденсаторные установки для подключения на каждую секцию 0,4 кВ КТП:

АУКРМ-ЭМ-0,4-140-10, номинальная мощность 140 кВар.

Таким образом, фактическая мощность комплектной конденсаторной установки:

$$Q_{\text{ку}\Sigma} = 2 \cdot 140 = 280 \text{ кВар.}$$

Эта мощность записывается в соответствующую строку таблицы 3.16 со знаком минус.

$$I_{\text{ку}} = \frac{S_{\text{ку}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{140}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 212,71 \text{ А.}$$

Выбираем для конденсаторной установки автоматический выключатель ВА 51-35 с номинальным током $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А.}$

Результирующие нагрузки трансформаторной подстанции рекомендует-

ся заносить в формуляр Ф202-90 [6] (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Результирующие нагрузки трансформаторной подстанции

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		P_p	Q_p	S_p	
1	2	3	4	5	6
Силовая нагрузка 0,4 кВ	0,85	531,77	452	697,91	
Осветительная нагрузка	0,75	0,76	0,57	0,95	
Итого на стороне 0,4 кВ без учета потерь в сети 0,4 кВ	0,85	532,53	452,57	698,86	
Потери в сети 0,4 кВ		18,11			
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом потерь в сети 0,4 кВ	0,82	550,64	452,57	712,76	2*TM3-630/10
Мощность КУ в сети 0,4 кВ с учетом выполнения предельного $\operatorname{tg}\varphi$			-280		2*АУКРМ-ЭМ 0,4-140-10
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом КУ	0,31	550,64	172,57	577,05	
Потери в трансформаторах	$K_3=0,458$; $K_{nep}=0,916$	6,3	39,74		
Итого на стороне ВН 10 кВ с учетом выполнения предельного $\operatorname{tg}\varphi$	0,38	556,94	212,31	596,03	

Коэффициент загрузки и коэффициент перегрузки соответственно:

$$K_{3,T} = \frac{S_{\text{уеха}}}{2S_{H.T}},$$

$$K_{3,T} = \frac{577,05}{2 \cdot 630} = 0,458 < 0,7;$$

$$K_{nep} = \frac{577,05}{630} = 0,916 < 1,4.$$

Исходя из таблицы 3.16 коэффициенты загрузки и перегрузки трансформаторов меньше предельных значений, а также предельное значение коэффициента реактивной мощности на стороне 10 кВ обеспечивается:

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,38 < \operatorname{tg}\varphi_{\text{пред}} = 0,4.$$

3.11 Расчет III, IV и V уровней электроснабжения

В соответствии с таблицей 12.4, мощность III уровня системы электроснабжения с учетом мощности компенсирующих устройств определится как:

$$P_{III} = P_{cui} + P_{oce} + \Delta P, \quad (3.43)$$

$$Q_{III} = Q_{cui} + Q_{oce} - Q_{KV}, \quad (3.44)$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2}. \quad (3.45)$$

По формулам (3.43) – (3.45) находим:

$$P_{III} = 531,77 + 0,76 + 532,53 = 550,64 \text{ кВт.}$$

$$Q_{III} = 452 + 0,57 - 280 = 172,57 \text{ кВар.}$$

$$S_{III} = \sqrt{550,64^2 + 172,57^2} = 577,05 \text{ кВА.}$$

Нагрузка на IV уровне электроснабжения может быть определена с учетом потерь в обоих трансформаторах, входящих в состав КТП, поэтому в соответствии с таблицей 12.4 получим:

$$P_{IV} = P_{III} + \Delta P_T; \quad (3.46)$$

$$Q_{IV} = Q_{III} + \Delta Q_T; \quad (3.47)$$

$$S_{IV} = \sqrt{P_{IV}^2 + Q_{IV}^2}. \quad (3.48)$$

$$P_{IV} = 550,64 + 6,3 = 556,94 \text{ кВт.}$$

$$Q_{IV} = 172,57 + 39,74 = 212,31 \text{ кВар.}$$

$$S_{IV} = \sqrt{556,94^2 + 212,31^2} = 596,03 \text{ кВА.}$$

Определяем сечения линии связи завода с источником питания по экономической плотности тока:

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}}, \quad (3.49)$$

где $j_{\text{ек}}$ – экономическая плотность тока [7, таблица 1.3.36].

Расчетный ток одной линии в нормальном режиме работы:

$$I_p = \frac{S_{IV}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{596,03}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 17,21 \text{ А.}$$

По формуле (13.7) находим:

$$S_{\text{ек}} = \frac{17,21}{1,4} = 12,3 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное для 10 кВ – 16 мм² [7, таблица 2.4.1]. По [18, таблица 10] выбираем провод СИП 3х16 с допустимым током нагрузки 100 А. В послеаварийном режиме:

$$I_{\text{пав}} = 2 \cdot 17,21 = 34,42 \text{ A}, \\ 34,42 < 100 \text{ A}.$$

следовательно, выбранное сечение проходит по допустимому току.

Потери мощности в ЛЭП определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{ЛЭП}} = \frac{S_{\text{IV}}^2}{U^2} \cdot \frac{r_{\text{уд}} \cdot 1}{n} \cdot 10^{-3}, \quad (3.50)$$

$$\Delta Q_{\text{ЛЭП}} = \frac{S_{\text{IV}}^2}{U^2} \cdot \frac{x_{\text{уд}} \cdot 1}{n} \cdot 10^{-3}, \quad (3.51)$$

где n – количество параллельно подключенных линий (цепей).

$$\Delta P_{\text{ЛЭП}} = \frac{596,03^2}{10^2} \cdot \frac{1,94 \cdot 4}{2} \cdot 10^{-3} = 13,78 \text{ кВт}.$$

$$\Delta Q_{\text{ЛЭП}} = \frac{596,03^2}{10^2} \cdot \frac{0,113 \cdot 4}{2} \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ кВар.}$$

$$\Delta S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{13,78^2 + 0,8^2} = 13,8 \text{ кВА.}$$

Потери напряжения [12]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) \cdot 100\%}{U_{\text{ном}}}. \quad (3.52)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 17,21 \cdot 4 \cdot (1,94 \cdot 0,93 + 0,113 \cdot 0,37) \cdot 100\%}{10000} = 2,2 < 5\%;$$

где значение $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ определены в соответствии с таблицей 3.16 с учетом выполнения предельного $\operatorname{tg} \varphi$.

Потери напряжения находятся в допустимых пределах.

Потери мощности в питающей линии 10 кВ в сумме с нагрузкой IV уровня составляют нагрузку V уровня:

$$P_V = P_{\text{IV}} + \Delta P_{\text{ЛЭП}}; \quad (3.53)$$

$$Q_V = Q_{\text{IV}} + \Delta Q_{\text{ЛЭП}}; \quad (3.54)$$

$$S_V = \sqrt{P_V^2 + Q_V^2}. \quad (3.55)$$

$$P_v = 556,94 + 13,78 = 570,72 \text{ кВт};$$

$$Q_v = 212,31 + 0,8 = 213,11 \text{ кВар};$$

$$S_v = \sqrt{570,72^2 + 213,11^2} = 609,21 \text{ кВА.}$$

3.12 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в распределительной сети

Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети [12, с. 54]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (3.56)$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{ном}}, \quad (3.57)$$

Потеря активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_{уд} \cdot l, \quad (3.58)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_p^2 \cdot x_{уд} \cdot l, \quad (3.59)$$

Рассмотрим расчет потерь для ЭП №1:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \cdot 111,42 \cdot 0,004 \cdot (0,326 \cdot 0,75 + 0,0602 \cdot 0,66) = 0,228 \text{ В;}$$

$$\Delta U_{1,\%} = \frac{0,228}{380} \cdot 100\% = 0,06 \text{ \%};$$

$$\Delta P_1 = 3 \cdot 111,42^2 \cdot 0,326 \cdot 0,004 \cdot 10^{-3} = 0,049 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q_1 = 3 \cdot 111,42^2 \cdot 0,0602 \cdot 0,004 \cdot 10^{-3} = 0,009 \text{ кВар.}$$

Потери напряжения в кабелях, соединяющих СП с КТП рассчитываются аналогично потерям в кабелях по формулам (3.56) – (3.59). Расчеты сведем в таблицу 3.17.

Результаты расчетов потерь в кабельных линиях к электроприемникам представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.17 – Расчет потерь в кабелях, питающих СП

№ СП	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	L, м	$I_{раб}$, А	S, мм^2	$r_{уд}$, Ом/км	$x_{уд}$, Ом/км	ΔU , %	ΔP , кВт	ΔU , В	ΔQ , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,74	0,67	14	214,11	185	0,167	0,0596	0,22	0,322	0,836	0,115
2	0,8	0,6	29	320,31	(2)х150	0,103	0,0298	0,42	0,919	1,596	0,266
3	0,78	0,63	45	357,47	(2)х150	0,103	0,0298	0,73	1,777	2,774	0,514
4	0,74	0,67	2	212,22	185	0,167	0,0596	0,03	0,045	0,114	0,016
5	0,72	0,69	13	227,35	(2)х150	0,103	0,0298	0,13	0,208	0,494	0,06

Таблица 3.18 – Расчет потерь мощности и напряжения

№	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	L, м	I_p , А	S, мм^2	$r_{уд}$, Ом/км	$x_{уд}$, Ом/км	ΔU , %	ΔP , кВт	ΔU , В	ΔQ , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,75	0,66	4	111,42	95	0,326	0,0602	0,06	0,049	0,228	0,009
2	0,75	0,66	4	111,42	95	0,326	0,0602	0,06	0,049	0,228	0,009
3	0,7	0,71	9	162,79	185	0,167	0,0596	0,11	0,119	0,418	0,043
4	0,7	0,71	9	162,79	185	0,167	0,0596	0,11	0,119	0,418	0,043
5	0,7	0,71	9	162,79	185	0,167	0,0596	0,11	0,119	0,418	0,043
6	0,75	0,66	6	15,19	4	7,74	0,095	0,24	0,032	0,912	0
7	0,75	0,66	6	15,19	4	7,74	0,095	0,24	0,032	0,912	0
8	0,75	0,66	6	15,19	4	7,74	0,095	0,24	0,032	0,912	0
9	0,75	0,66	10	15,19	4	7,74	0,095	0,41	0,054	1,558	0,001
10	0,75	0,66	2	15,19	4	7,74	0,095	0,08	0,011	0,304	0
11	0,75	0,66	2	15,19	4	7,74	0,095	0,08	0,011	0,304	0
12	0,75	0,66	2	15,19	4	7,74	0,095	0,08	0,011	0,304	0
13	0,75	0,66	4	15,19	4	7,74	0,095	0,16	0,021	0,608	0
14	0,75	0,66	9	15,19	4	7,74	0,095	0,37	0,048	1,406	0,001
15	0,75	0,66	28	15,19	4	7,74	0,095	1,14	0,15	4,332	0,002
16	0,85	0,53	4	6,26	4	7,74	0,095	0,08	0,004	0,304	0
17	0,85	0,53	4	6,26	4	7,74	0,095	0,08	0,004	0,304	0
18	0,95	0,31	7	11,2	4	7,74	0,095	0,26	0,02	0,988	0
19	0,95	0,31	7	11,2	4	7,74	0,095	0,26	0,02	0,988	0
20	0,7	0,71	14	162,79	185	0,167	0,0596	0,17	0,186	0,646	0,066
21	0,75	0,66	9	15,19	4	7,74	0,095	0,37	0,048	1,406	0,001
22	0,75	0,66	4	111,42	95	0,326	0,0602	0,06	0,049	0,228	0,009
23	0,75	0,66	7	111,42	95	0,326	0,0602	0,1	0,085	0,38	0,016
24	0,75	0,66	18	15,19	4	7,74	0,095	0,73	0,096	2,774	0,001
25	0,75	0,66	27	111,42	95	0,326	0,0602	0,39	0,328	1,482	0,061
26	0,75	0,66	2	111,42	95	0,326	0,0602	0,03	0,024	0,114	0,004
27	0,75	0,66	9	15,19	4	7,74	0,095	0,37	0,048	1,406	0,001
28	0,75	0,66	12	15,19	4	7,74	0,095	0,49	0,064	1,862	0,001
29	0,85	0,53	13	80,44	70	0,443	0,0612	0,19	0,112	0,722	0,015
30	0,85	0,53	20	80,44	70	0,443	0,0612	0,3	0,172	1,14	0,024
31	0,85	0,53	14	80,44	70	0,443	0,0612	0,21	0,12	0,798	0,017
32	0,85	0,53	23	80,44	70	0,443	0,0612	0,34	0,198	1,292	0,027
33	0,75	0,66	5	15,19	4	7,74	0,095	0,2	0,027	0,76	0
34	0,75	0,66	17	15,19	4	7,74	0,095	0,69	0,091	2,622	0,001
35	0,75	0,66	11	15,19	4	7,74	0,095	0,45	0,059	1,71	0,001

3.13 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ

Расчетная схема сети и ее схема замещения представлены на рисунках 3.8-3.9.

Сопротивления кабельной линии от системы до ТП:

$$x_L = x_0 l_L = 0,113 \cdot 4 = 0,45 \text{ Ом.}$$

$$r_L = r_0 l_L = 1,94 \cdot 4 = 7,76 \text{ Ом.}$$

Сопротивление электрической системы [8]:

$$x_c = \frac{U_{cp.nom}^2}{S_c} = \frac{10,5^2}{227,33} = 0,48 \text{ Ом,}$$

где $S_c = \sqrt{3} \cdot I_{nom \text{ откл.}} \cdot U_{cp.nom} = \sqrt{3} \cdot 12,5 \cdot 10,5 = 227,33 \text{ МВА}$ – отключающая способность выключателя.

Результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_C = 0,48 \text{ Ом.}$$

$$I_{K1} = \frac{U_{cp.nom}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,48} = 12,5 \text{ кА.}$$

$$i_{уд K1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,5 = 33,1 \text{ кА.}$$

где $k_{уд} = 1,8$ – ударный коэффициент [13].

Результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_C + x_L = 0,48 + 0,45 = 0,93 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_L = 7,76 \text{ Ом.}$$

$$I_{K2} = \frac{U_{cp.nom}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,93^2 + 7,76^2}} = 0,78 \text{ кА.}$$

$$i_{уд K2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,78 = 1,99 \text{ кА.}$$

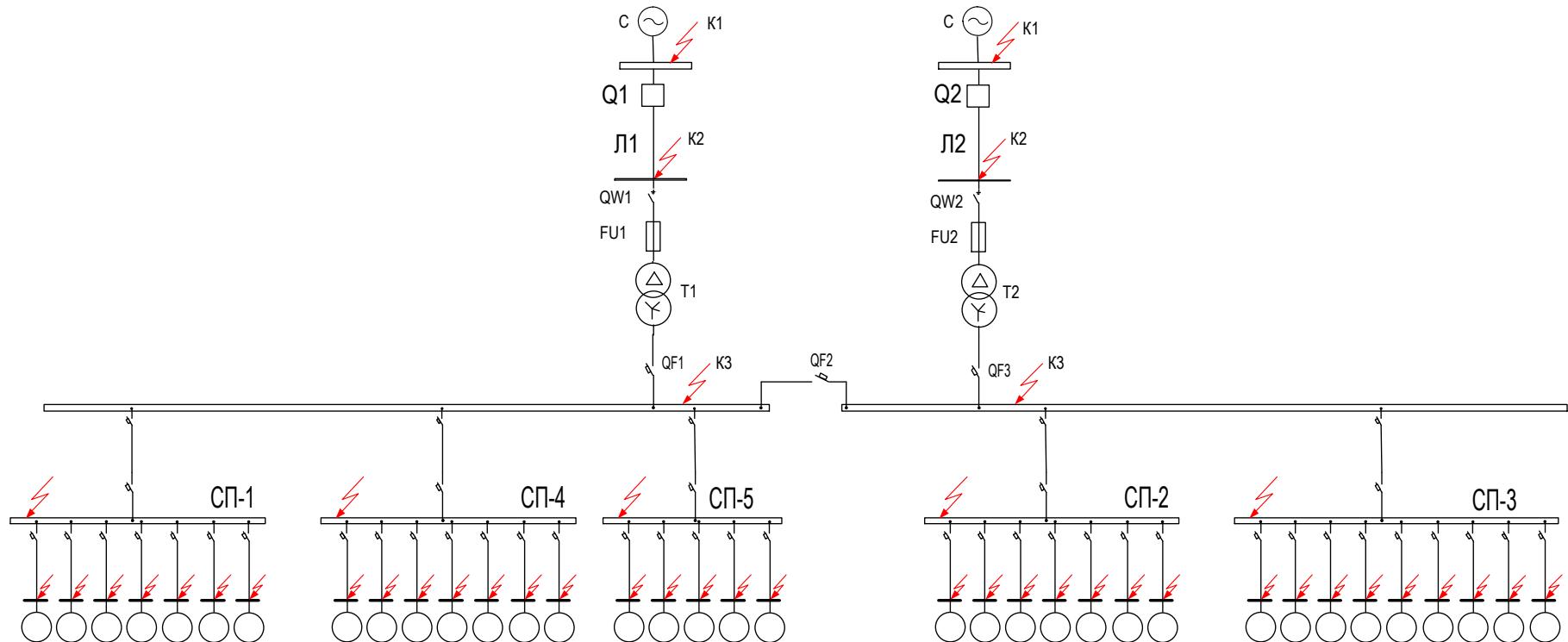


Рисунок 3.8 – Расчетная схема

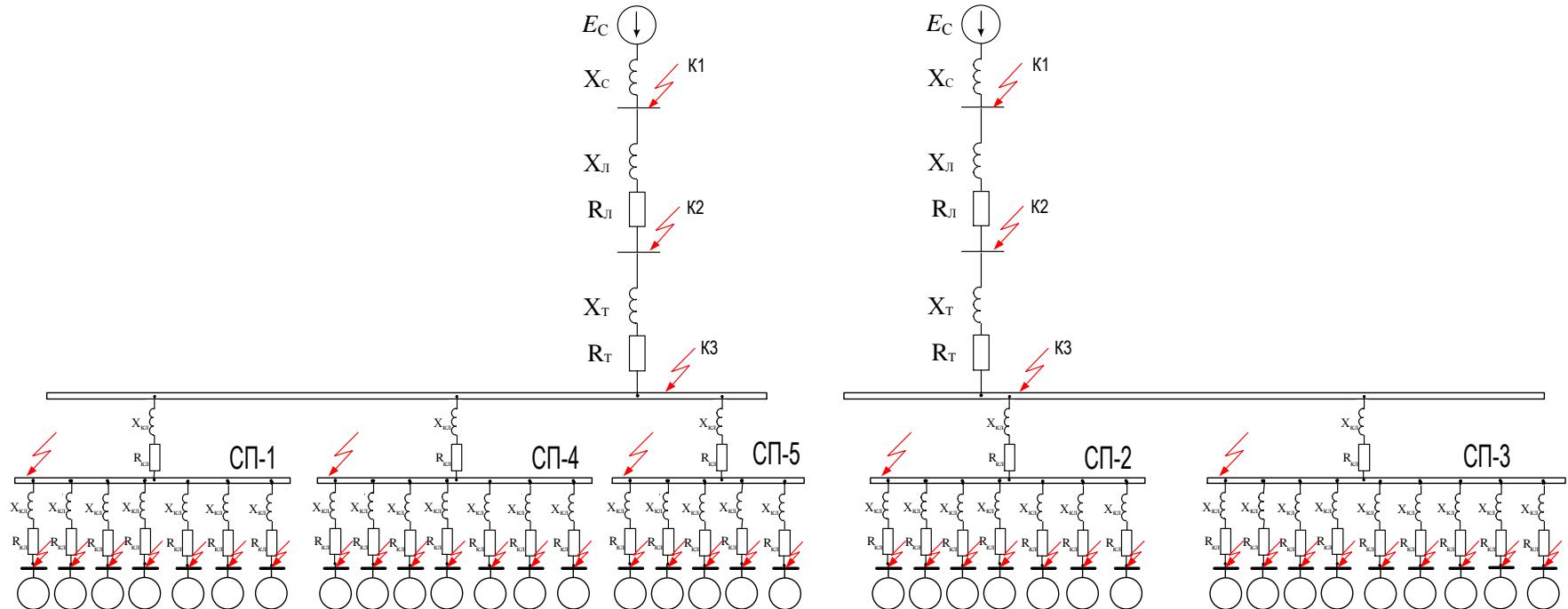


Рисунок 3.9 – Схема замещения

Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением ниже 1 кВ

Приведенное сопротивление системы [8; 12]:

$$x_C = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = \frac{10000^2}{227,33 \cdot 10^6} \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,64 \text{ мОм},$$

где S_c – мощность системы.

Приведенные сопротивления кабельной линии:

$$x_L = x_{y\partial L} l_L \cdot \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = 0,113 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,66 \text{ мОм}.$$

$$r_L = r_{y\partial L} l_L \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = 1,94 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 11,26 \text{ мОм}.$$

По [12, с. 167] подлежат учету дополнительные сопротивления.
Определяем сопротивления трансформатора:

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{\text{к.з.}}}{S_{\text{ном.тп.}}} \cdot \frac{U_{\text{ном.}}^2}{S_{\text{ном.тп.}}} \cdot 10^6; \quad (3.61)$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100} \right)^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}}}{S_{\text{ном.тп.}}} \right)^2} \frac{U_{\text{ном.}}^2}{S_{\text{ном.тп.}}} \cdot 10^6. \quad (3.62)$$

$$r_{mp} = \frac{7,6}{630} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^6 = 3,06 \text{ мОм};$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \right)^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^6 = 13,63 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем сопротивление и ток КЗ в точке КЗ на вводе низшего напряжения цеховой подстанции:

$$x_{\Sigma K3} = x_C + x_L + x_{mp} = 0,64 + 0,66 + 13,63 = 14,93 \text{ мОм}.$$

Суммарное активное сопротивление учитывает добавочное сопротивление 15 мОм [12, 13]:

$$r_{\Sigma K3} = r_{mp} + r_L + r_{\text{доо}} = 3,06 + 11,26 + 15 = 29,32 \text{ мОм}.$$

$$\frac{x_{\Sigma K3}}{r_{\Sigma K3}} < 0,5, \text{ следовательно, } K_{y\vartheta} = 1,0 \text{ [12, с. 143].}$$

$$I_{K3} = \frac{U_{cp.nom}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K3}^2 + r_{\Sigma K3}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{14,93^2 + 29,32^2}} = 7,02 \text{ кА.}$$

$$i_{y\vartheta K3} = \sqrt{2} \cdot k_{y\vartheta} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 7,02 = 9,93 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К4.

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{\text{КЛ СП-1}} \cdot l = 14,93 + 0,0596 \cdot 14 = 15,764 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma K4} = r_{\Sigma K3} + r_{\text{КЛ СП-1}} \cdot l + r_{\text{до\phi перв}} = 29,32 + 0,167 \cdot 14 + 5 = 36,658 \text{ мОм.}$$

$$\frac{x_{\Sigma K4}}{r_{\Sigma K4}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{y\vartheta} = 1,0 \text{ [12, с. 168].}$$

$$I_{K4} = \frac{U_{cp.nom}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{15,764^2 + 36,658^2}} = 5,787 \text{ кА,}$$

$$i_{y\vartheta K4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\vartheta} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 5,787 = 8,184 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К5.

$$x_{\Sigma K5} = x_{\Sigma K4} + x_{\text{КЛ уд}} \cdot l = 15,764 + 0,095 \cdot 7 = 16,429 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma K5} = r_{\Sigma K4} + r_{\text{КЛ уд}} \cdot l + r_{\text{до\phi втор}} = 36,658 + 7,74 \cdot 7 + 5 = 95,838 \text{ мОм,}$$

$$\frac{x_{\Sigma K5}}{r_{\Sigma K5}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{y\vartheta} = 1 \text{ [12, с. 168],}$$

$$I_{K5} = \frac{U_{cp.nom}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K5}^2 + r_{\Sigma K5}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,429^2 + 95,838^2}} = 2,375 \text{ кА,}$$

$$i_{y\vartheta K5} = \sqrt{2} \cdot k_{y\vartheta} \cdot I_{K5}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 2,375 = 3,359 \text{ кА.}$$

Для остальных точек расчет аналогичен (таблица 3.19).

Таблица 3.19 – Расчет токов короткого замыкания

Точка К3	Кабель между СП и электроприемником №:		Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	r0, Ом/км	x0, Ом/км	Точка К3	Rккл, мОм	Xккл, мОм	Rдоб., мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	Iкз, кА	Kу	iуд, кА	
1	2		3	4	5	6	7	1	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
K4	СП-1	-	Шины НН КТП	29,32	14,93	14	0,167	0,0596	K4	2,338	0,834	20	36,658	15,764	39,904	5,787	1	8,184
K5	СП-1	-	18	36,658	15,7644	7	7,74	0,095	K5	54,180	0,665	25	95,838	16,429	97,236	2,375	1	3,359
K6	СП-1	-	16	36,658	15,7644	4	7,74	0,095	K6	30,960	0,380	25	72,618	16,144	74,391	3,104	1	4,390
K7	СП-1	-	10	36,658	15,7644	2	7,74	0,095	K7	15,480	0,190	25	57,138	15,954	59,324	3,893	1	5,506
K8	СП-1	-	1	36,658	15,7644	4	0,326	0,0602	K8	1,304	0,241	25	42,962	16,005	45,846	5,037	1	7,123
K9	СП-1	-	6	36,658	15,7644	6	7,74	0,095	K9	46,440	0,570	25	88,098	16,334	89,599	2,577	1	3,644
K10	СП-1	-	3	36,658	15,7644	9	0,167	0,0596	K10	1,503	0,536	25	43,161	16,301	46,137	5,006	1	7,080
K11	СП-1	-	14	36,658	15,7644	9	7,74	0,095	K11	69,660	0,855	25	111,318	16,619	112,552	2,052	1	2,902
K12	СП-2	-	Шины НН КТП	29,32	14,93	29	0,103	0,0298	K12	2,987	0,864	20	37,307	15,794	40,513	5,700	1	8,061
K13	СП-2	-	15	37,307	15,7942	28	7,74	0,095	K13	216,720	2,660	25	259,027	18,454	259,684	0,889	1	1,257
K14	СП-2	-	24	37,307	15,7942	18	7,74	0,095	K14	139,320	1,710	25	181,627	17,504	182,469	1,266	1	1,790
K15	СП-2	-	25	37,307	15,7942	27	0,326	0,0602	K15	8,802	1,625	25	51,109	17,420	53,996	4,277	1	6,049
K16	СП-2	-	32	37,307	15,7942	23	0,443	0,0612	K16	10,189	1,408	25	52,496	17,202	55,242	4,181	1	5,913
K17	СП-2	-	31	37,307	15,7942	14	0,443	0,0612	K17	6,202	0,857	25	48,509	16,651	51,287	4,503	1	6,368
K18	СП-2	-	33	37,307	15,7942	5	7,74	0,095	K18	38,700	0,475	25	81,007	16,269	82,625	2,795	1	3,953
K19	СП-2	-	26	37,307	15,7942	2	0,326	0,0602	K19	0,652	0,120	25	42,959	15,915	45,812	5,041	1	7,129
K20	СП-3	-	Шины НН КТП	29,32	14,93	45	0,103	0,0298	K20	4,635	1,341	20	38,955	16,271	42,217	5,470	1	7,736
K21	СП-3	-	13	38,955	16,271	4	7,74	0,095	K21	30,960	0,380	25	74,915	16,651	76,743	3,009	1	4,255
K22	СП-3	-	23	38,955	16,271	7	0,326	0,0602	K22	2,282	0,421	25	46,237	16,692	49,158	4,698	1	6,644
K23	СП-3	-	9	38,955	16,271	10	7,74	0,095	K23	77,400	0,950	25	121,355	17,221	122,571	1,884	1	2,664
K24	СП-3	-	29	38,955	16,271	13	0,443	0,0612	K24	5,759	0,796	25	49,714	17,067	52,562	4,394	1	6,214
K25	СП-3	-	28	38,955	16,271	12	7,74	0,095	K25	92,880	1,140	25	136,835	17,411	137,938	1,674	1	2,367
K26	СП-3	-	35	38,955	16,271	11	7,74	0,095	K26	85,140	1,045	25	129,095	17,316	130,251	1,773	1	2,507
K27	СП-3	-	20	38,955	16,271	14	0,167	0,0596	K27	2,338	0,834	25	46,293	17,105	49,352	4,679	1	6,617
K28	СП-3	-	34	38,955	16,271	17	7,74	0,095	K28	131,580	1,615	25	175,535	17,886	176,444	1,309	1	1,851
K29	СП-3	-	30	38,955	16,271	20	0,443	0,0612	K29	8,860	1,224	25	52,815	17,495	55,637	4,151	1	5,870

Окончание таблицы 3.19

1	2		3	4	5	6	7	1	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
K30	СП-4	-	Шины НН КТП	29,32	14,93	2	0,167	0,0596	K30	0,334	0,119	20	34,654	15,049	37,781	6,113	1	8,645
K31	СП-4	-	19	34,654	15,0492	7	7,74	0,095	K31	54,180	0,665	25	93,834	15,714	95,141	2,427	1	3,432
K32	СП-4	-	17	34,654	15,0492	4	7,74	0,095	K32	30,960	0,380	25	70,614	15,429	72,280	3,195	1	4,518
K33	СП-4	-	11	34,654	15,0492	2	7,74	0,095	K33	15,480	0,190	25	55,134	15,239	57,201	4,037	1	5,709
K34	СП-4	-	2	34,654	15,0492	4	0,326	0,0602	K34	1,304	0,241	25	40,958	15,290	43,719	5,282	1	7,470
K35	СП-4	-	7	34,654	15,0492	6	7,74	0,095	K35	46,440	0,570	25	86,094	15,619	87,499	2,639	1	3,732
K36	СП-4	-	4	34,654	15,0492	9	0,167	0,0596	K36	1,503	0,536	25	41,157	15,586	44,009	5,248	1	7,422
K37	СП-4	-	21	34,654	15,0492	9	7,74	0,095	K37	69,660	0,855	25	109,314	15,904	110,465	2,091	1	2,957
K38	СП-5	-	Шины НН КТП	29,32	14,93	13	0,103	0,0298	K38	1,339	0,387	20	35,659	15,317	38,810	5,951	1	8,416
K39	СП-5	-	27	35,659	15,3174	9	7,74	0,095	K39	69,660	0,855	25	110,319	16,172	111,498	2,071	1	2,929
K40	СП-5	-	5	35,659	15,3174	9	0,167	0,0596	K40	1,503	0,536	25	42,162	15,854	45,044	5,127	1	7,251
K41	СП-5	-	8	35,659	15,3174	6	7,74	0,095	K41	46,440	0,570	25	87,099	15,887	88,536	2,608	1	3,688
K42	СП-5	-	22	35,659	15,3174	4	0,326	0,0602	K42	1,304	0,241	25	41,963	15,558	44,754	5,160	1	7,297
K43	СП-5	-	12	35,659	15,3174	2	7,74	0,095	K43	15,480	0,190	25	56,139	15,507	58,241	3,965	1	5,607

Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением ниже 1000 В

Ток однофазного к.з. [7]:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_\Pi}, \quad (3.64)$$

где $Z_T/3$ – сопротивление трансформатора; Z_Π – полное сопротивления петли.
Полное сопротивление петли «фазный - нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_\Delta + R_H + R_{TT} + R_A)^2 + (X' + X'' + X_C + X_{TT} + X_A)^2}, \quad (3.65)$$

где R_ϕ, R_h – суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов.

R_∂ - сопротивление дуги в точке КЗ;

R_{TT}, X_{TT} – активное и индуктивное сопротивление ТТ;

R_A, X_A - активное и индуктивное сопротивление автоматов [13];

X_c - сопротивление системы;

X' - внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль;

X'' - внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления.

Выполним расчет тока однофазного короткого замыкания для СП-1:

Полное сопротивление выбранного трансформатора [13]:

$$Z_T = 129 \text{ мОм} = 0,129 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление петли «фазный – нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(14 \cdot 0,167 + 30 + 14 \cdot 0,167 + 0,15 + 0,74)^2 + (0,6 \cdot 14 + 0,64 + 0,21 + 0,36)^2} = \\ = 36,845 \text{ мОм.}$$

Определим ток однофазного КЗ в конце линии, питающей СП-1.

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + Z_\Pi} = \frac{400 / \sqrt{3}}{0,129 / 3 + 0,036845} = 2892,36 \text{ А.}$$

Аналогичные расчеты сведем в таблицу 3.20.

Таблица 3.20 – Расчет токов однофазного к.з.

Номер СП или ЭП		Сопротивление трансформатора однофазному к.з., Z_T , мОм		Длина провода или кабеля, м		Сопротивления фазного, нулевого провода, Ом/км		Сопротивление дуги R_D , мОм		Сопротивление первичной обмотки ТТ, Ртт, мОм		Активное сопротивление автомата, мОм		Внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом/км		Сопротивление питющей системы, мОм		Индуктивное сопротивление первичной обмотки ТТ, Хтт, мОм		Индуктивное сопротивление автомата, мОм		Результирующее активное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм		Результирующее реактивное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм		Ток однофазного к.з., А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15													
СП-1	129	14	0,167	30	0,15	0,74	0,6	0,64	0,21	0,36	35,57	9,61	36,845	2892,36													
18	129	7	7,74	30		3	0,6			15	141,36	19,2	142,658	1243,9													
16	129	4	7,74	30		2,5	0,6			15	94,42	17,4	96,01	1661,32													
10	129	2	7,74	30		3	0,6			15	63,96	16,2	65,98	2119,11													
1	129	4	0,326	30		15	0,6			1,4	47,61	3,8	47,761	2544,49													
6	129	6	7,74	30		3	0,6			15	125,88	18,6	127,247	1356,5													
3	129	9	0,167	30		15	0,6			0,74	48,01	6,14	48,401	2526,67													
14	129	9	7,74	30		3	0,6			15	172,32	20,4	173,523	1066,58													
СП-2	129	29	0,103	30	0,15	0,55	0,6	0,64	0,21	0,17	36,67	18,42	41,036	2748,11													
15	129	28	7,74	30		3	0,6			15	466,44	31,8	467,523	452,36													
24	129	18	7,74	30		3	0,6			15	311,64	25,8	312,706	649,24													
25	129	27	0,326	30		15	0,6			1,4	62,6	17,6	65,027	2137,8													
32	129	23	0,443	30		7	0,6			2,05	57,38	15,85	59,529	2252,44													
31	129	14	0,443	30		7	0,6			2,05	49,4	10,45	50,493	2470,13													
33	129	5	7,74	30		3	0,6			15	110,4	18	111,858	1491,3													
26	129	2	0,326	30		15	0,6			1,4	46,3	2,6	46,373	2584													
СП-3	129	45	0,103	30	0,15	0,55	0,6	0,64	0,21	0,17	39,97	28,02	48,813	2515,33													
13	129	4	7,74	30		3	0,6			15	94,92	17,4	96,502	1655,46													
23	129	7	0,326	30		15	0,6			1,4	49,56	5,6	49,875	2486,57													
9	129	10	7,74	30		3	0,6			15	187,8	21	188,97	995,56													
29	129	13	0,443	30		7	0,6			2,05	48,52	9,85	49,51	2496,38													
28	129	12	7,74	30		3	0,6			15	218,76	22,2	219,884	878,49													
35	129	11	7,74	30		3	0,6			15	203,28	21,6	204,424	933,38													
20	129	14	0,167	30		15	0,6			0,74	49,68	9,14	50,514	2469,58													
34	129	17	7,74	30		3	0,6			15	296,16	25,2	297,23	678,78													
30	129	20	0,443	30		7	0,6			2,05	54,72	14,05	56,495	2321,12													
СП-4	129	2	0,167	30	0,15	0,74	0,6	0,64	0,21	0,36	31,56	2,41	31,652	3093,56													
19	129	7	7,74	30		3	0,6			15	141,36	19,2	142,658	1243,9													
17	129	4	7,74	30		2,5	0,6			15	94,42	17,4	96,01	1661,32													
11	129	2	7,74	30		3	0,6			15	63,96	16,2	65,98	2119,11													
2	129	4	0,326	30		15	0,6			1,4	47,61	3,8	47,761	2544,49													
7	129	6	7,74	30		3	0,6			15	125,88	18,6	127,247	1356,5													
4	129	9	0,167	30		15	0,6			0,74	48,01	6,14	48,401	2526,67													
21	129	9	7,74	30		3	0,6			15	172,32	20,4	173,523	1066,58													
СП-5	129	13	0,103	30	0,15	0,55	0,6	0,64	0,21	0,17	33,38	8,82	34,526	2978,87													
27	129	9	7,74	30		3	0,6			15	172,32	20,4	173,523	1066,58													
5	129	9	0,167	30		15	0,6			0,74	48,01	6,14	48,401	2526,67													
8	129	6	7,74	30		3	0,6			15	125,88	18,6	127,247	1356,5													
22	129	4	0,326	30		15	0,6			1,4	47,61	3,8	47,761	2544,49													
12	129	2	7,74	30		3	0,6			15	63,96	16,2	65,98	2119,11													

3.14 Проверка элементов сети

Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на отключающую способность

Проверка на отключающую способность осуществляется по выражению:

$$I_{\text{отклном}} \geq I_{K3\text{MAX}}. \quad (3.66)$$

Проверку автоматических выключателей представим в таблице 3.22.

Таблица 3.21 – Проверка автоматических выключателей

Место установки (КТП, СП или ЭП)	Тип автоматического выключателя	Предельная отключающая способность, кА	Номер точки к.з.	$I_{K3}^{(3)}$, кА
1	2	3	4	5
Вводной автомат QF1, QF3	BA 53-43	31	K3	7,02
Секционный автомат QF2	BA 51-39	35	K3	7,02
КУ	BA 51-35	15	K3	7,02
ЩО	BA 47-29	15	K3	7,02
СП-1	BA 51-35	15	K4	5,787
18	BA 51-25	3	K5	2,375
16	BA 51-25	2,5	K6	3,104
10	BA 51-25	3	K7	3,893
1	BA 51-35	15	K8	5,037
6	BA 51-25	3	K9	2,577
3	BA 51-35	15	K10	5,006
14	BA 51-25	3	K11	2,052
СП-2	BA 51-37	25	K12	5,7
15	BA 51-25	3	K13	0,889
24	BA 51-25	3	K14	1,266
25	BA 51-35	15	K15	4,277
32	BA 51-31	7	K16	4,181
31	BA 51-31	7	K17	4,503
33	BA 51-25	3	K18	2,795
26	BA 51-35	15	K19	5,041
СП-3	BA 51-37	25	K20	5,47
13	BA 51-25	3	K21	3,009
23	BA 51-35	15	K22	4,698
9	BA 51-25	3	K23	1,884
29	BA 51-31	7	K24	4,394
28	BA 51-25	3	K25	1,674
35	BA 51-25	3	K26	1,773
20	BA 51-35	15	K27	4,679
34	BA 51-25	3	K28	1,309
30	BA 51-31	7	K29	4,151
СП-4	BA 51-35	15	K30	6,113
19	BA 51-25	3	K31	2,427
17	BA 51-25	2,5	K32	3,195
11	BA 51-25	3	K33	4,037
2	BA 51-35	15	K34	5,282

Окончание таблицы 3.21

1	2	3	4	5
7	BA 51-25	3	K35	2,639
4	BA 51-35	15	K36	5,248
21	BA 51-25	3	K37	2,091
СП-5	BA 51-37	25	K38	5,951
27	BA 51-25	3	K39	2,071
5	BA 51-35	15	K40	5,127
8	BA 51-25	3	K41	2,608
22	BA 51-35	15	K42	5,16
12	BA 51-25	3	K43	3,965

Так, как $I_{\text{откл.ном}} > I_K^{(3)}, \text{kA}$, то все автоматы выбраны правильно, и подходят по отключающей способности к токам КЗ.

Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на чувствительность к токам КЗ

Произведем проверку чувствительности автоматических выключателей на линиях к однофазным КЗ по условию чувствительности [12, с. 291, 294], результаты представим в таблице 3.22:

$$\frac{I_{K3}^{(1)}}{I_{\text{пр.ном}}} \geq 3. \quad (3.67)$$

Данное условие выполняется для всех автоматов (таблица 3.22).

Таблица 3.22 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ

Место установки (КТП, СП или ЭП)	Номер точки КЗ	Тип выключателя	$I_{\text{пр.ном}}, \text{A}$	$I_{K3(1)}, \text{A}$	$I_{K3(1)}/I_{\text{пр.ном}}$
1	2	3	4	5	6
Вводной автомат QF1, QF3	K3	BA 53-43	1600	6318	3,95
Секционный автомат QF2	K3	BA 51-39	630	6318	10,03
КУ	K3	BA 51-35	250	6318	25,27
ЩО	K3	BA 47-29	25	6318	252,72
СП-1	K4	BA 51-35	250	2892,36	11,57
18	K5	BA 51-25	16	1243,9	77,74
16	K6	BA 51-25	10	1661,32	166,13
10	K7	BA 51-25	20	2119,11	105,96
1	K8	BA 51-35	160	2544,49	15,9
6	K9	BA 51-25	20	1356,5	67,83
3	K10	BA 51-35	250	2526,67	10,11
14	K11	BA 51-25	20	1066,58	53,33
СП-2	K12	BA 51-37	400	2748,11	6,87
15	K13	BA 51-25	20	452,36	22,62
24	K14	BA 51-25	20	649,24	32,46
25	K15	BA 51-35	160	2137,8	13,36

Окончание таблицы 3.22

1	2	3	4	5	6
32	K16	BA 51-31	125	2252,44	18,02
31	K17	BA 51-31	125	2470,13	19,76
33	K18	BA 51-25	20	1491,3	74,57
26	K19	BA 51-35	160	2584	16,15
СП-3	K20	BA 51-37	400	2515,33	6,29
13	K21	BA 51-25	20	1655,46	82,77
23	K22	BA 51-35	160	2486,57	15,54
9	K23	BA 51-25	20	995,56	49,78
29	K24	BA 51-31	125	2496,38	19,97
28	K25	BA 51-25	20	878,49	43,92
35	K26	BA 51-25	20	933,38	46,67
20	K27	BA 51-35	250	2469,58	9,88
34	K28	BA 51-25	20	678,78	33,94
30	K29	BA 51-31	125	2321,12	18,57
СП-4	K30	BA 51-35	250	3093,56	12,37
19	K31	BA 51-25	16	1243,9	77,74
17	K32	BA 51-25	10	1661,32	166,13
11	K33	BA 51-25	20	2119,11	105,96
2	K34	BA 51-35	160	2544,49	15,9
7	K35	BA 51-25	20	1356,5	67,83
4	K36	BA 51-35	250	2526,67	10,11
21	K37	BA 51-25	20	1066,58	53,33
СП-5	K38	BA 51-37	400	2978,87	7,45
27	K39	BA 51-25	20	1066,58	53,33
5	K40	BA 51-35	250	2526,67	10,11
8	K41	BA 51-25	20	1356,5	67,83
22	K42	BA 51-35	160	2544,49	15,9
12	K43	BA 51-25	20	2119,11	105,96

Условия проверки выключателя нагрузки [3, 4]:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{ном}} &\geq U_{\text{ном.сети}}; \\
 I_{\text{ном.}} &\geq I_{\text{раб.макс.}}; \\
 i_{\text{ном.дин.}} &\geq i_{y\partial}; \\
 I_{y\text{.don.}} &\geq I_{K3\text{.max}}; \\
 I_t^2 \cdot t_{np} &\geq I_{K3\text{.max}}^2 \cdot t,
 \end{aligned} \tag{3.68}$$

где $I_{y\text{.don.}}$ – наибольшее действующее значение полного тока; I_t – ток термической стойкости, кА; t – время отключения, с; t_{np} – время протекания тока, с; $I_{\text{ном.}np}$ – номинальный ток предохранителя, А; $I_{\text{откл.ном.}np}$ – номинальный ток отключения аппарата, кА;

В КТП установлены выключатели нагрузки типа ВНП-М1-10-У3 [11].

Каталожные данные:

$$U_{\text{ном}} = 10\text{kV}, I_{\text{ном}} = 630A, i_{\text{ном.дин.}} = 80\text{kA}, I_t = 52\text{kA}, t_{np} = 1\text{c.}$$

Условия проверки:

$$10\text{kV} = 10\text{kV};$$

$$630A > 15.73A;$$

$$80\text{kA} > 33.1\text{kA};$$

$$52\text{kA} > 12.5\text{kA};$$

$$52^2 \cdot 1 > 12.5^2 \cdot 2 \quad \text{или} \quad 2704 \text{ kA}^2 \cdot \text{c} > 312.5 \text{ kA}^2 \cdot \text{c.}$$

Условия выполняются.

Проверим установленный на КТП предохранитель из условий [3, 4]:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном.пр.}} &\geq U_{\text{ном.сети}}; \\ I_{\text{откл.ном.пр.}} &\geq I_{K3.\text{max}}; \\ I_{\text{ном.пр.}} &\geq I_{\text{раб.макс.}}; \\ I_{\text{ном.вст.}} &\geq I_{\text{раб.макс.}}, \end{aligned} \tag{3.69}$$

где $U_{\text{ном.пр.}}$ – номинальное напряжение предохранителя, В; $U_{\text{ном.сети}}$ – номинальное напряжение сети, В; $I_{\text{откл.ном.пр.}}$ – номинальный ток отключения предохранителя, кА; $I_{K3.\text{max}}$ – максимальный ток КЗ, кА; $I_{\text{ном.пр.}}$ – номинальный ток предохранителя, А; $I_{\text{ном.вст.}}$ – номинальный ток плавкой вставки, А; $I_{\text{раб.макс.}}$ – максимальный рабочий ток присоединения, А.

В КТП установлены предохранители ПКТ-103-10-50-12,5-У3 [11]

$$10\text{kV} = 10\text{kV};$$

$$12.5\text{kA} \geq 12.5\text{kA};$$

$$50A > 15.73A;$$

$$50A > 15.73A.$$

Условия выполняются.

Проверка выключателя на 10 кВ (ВВЭ-М-10-12,5/630У2), установленный в начале кабельной линии для питания КТП.

Каталожные данные:

$$U_{\text{ном}} = 10\text{kV}, I_{\text{ном}} = 630A, i_{\text{ном.дин.}} = 50\text{kA}, I_t = 12.5\text{kA}, t_{np} = 3\text{c.}$$

Условия проверки:

$$10kA = 10kA;$$

$$630A > 15.73A;$$

$$50kA > 33.1kA;$$

$$12.5kA \geq 12.5kA;$$

$$12.5^2 \cdot 1 > 12.5^2 \cdot 1 \quad \text{или} \quad 156.25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq 156.25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный выключатель ВВЭ-М-10-12,5/630У2 удовлетворяет всем требованиям.

3.15 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников

Анализ качества напряжения производим:

- 1) для самого мощного электроприемника (ЭП № 3, от СП-1);
- 2) для самого удаленного (ЭП № 30, от СП-3).

Отклонение напряжения:

$$\nu = \frac{(U_{\text{ИП}} - \Delta U_{\text{участка}}) - U_H}{U_H} \cdot 100\%.$$

Потери в питающей линии определяются выражением:

$$\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot I_{\text{раб}} \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi).$$

Потери в трансформаторе КТП определяются выражением:

$$\Delta U_{\text{тр}} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi),$$

где $U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}$,
 $U_a = \Delta P_{\text{к.з.}} / S_{\text{ном.тр.}} \cdot 100$.

Оценка качества напряжения для самого мощного электроприемника.

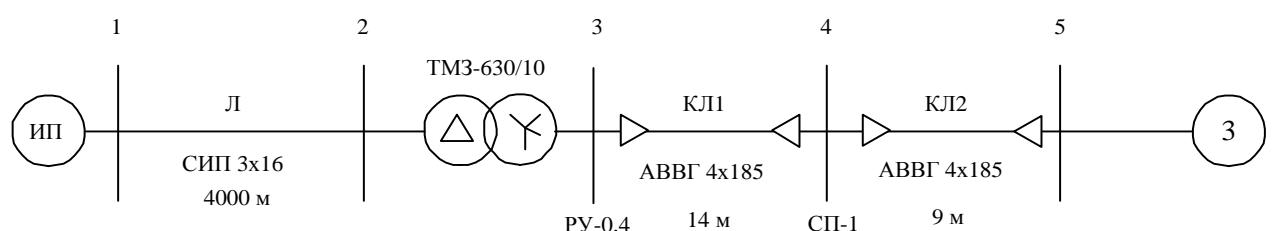


Рисунок 3.10 – Расчетная схема

Максимальный режим.

$U_{\text{ном}} = 10500 \text{ В}$ – напряжение ИП.

Потери напряжения в высоковольтной линии Л:

$$\Delta U_L = 2,2 \%. \quad \Delta U_L = 2,2 * 10000 / 100 = 220 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения относительно номинального в линии Л:

$$V = ((10500 - 220) - 10000) / 10000 \cdot 100\% = 2,8\%.$$

тогда напряжение в конце линии Л составит:

$$U_2 = 10500 - 220 = 10280 \text{ В.}$$

Вычислим потери напряжения в трансформаторе.

$$U_a = \Delta P_{k.z.} / S_{\text{ном.тр.}} \cdot 100 = 7,6 / 630 \cdot 100 = 1,21 \%, \quad U_k = 5,5\%,$$
$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,21^2} = 5,37\%.$$

Мощность третьего уровня:

$$S_{\text{III}} = 577,05 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{\text{III}}}{2S_{\text{ном.тр}}} = \frac{577,05}{2 \cdot 630} = 0,46.$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) =$$
$$= 0,46 \cdot (1,21 \cdot 0,93 + 5,37 \cdot 0,37) = 1,43 \%. \quad$$
$$\Delta U_{\text{тр1}} = \Delta U_{\text{тр}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{100} = 1,43 \cdot \frac{10000}{100} = 143 \text{ В.}$$

Напряжение на шинах НН трансформатора, приведенное к ВН:

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{\text{тр1}} = 10280 - 143 = 10137 \text{ В.}$$

Коэффициент трансформации:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}},$$

$$K_{\text{тр}} = \frac{380}{10000} = 0,038.$$

$$U_{2\text{НН}} = U_2 \cdot K_{\text{тр}},$$

$$U_{2\text{НН}} = 10137 \cdot 0,038 = 385,21 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения:

$$V_3 = \frac{U_{2\text{HH}} - U_{\text{ном HH}}}{U_{\text{ном HH}}} \cdot 100 = \frac{385,21 - 380}{380} \cdot 100 = 1,37 \%$$

Потеря напряжения в линии КЛ1:

$$\Delta U_{3-4} = 0,84 \text{ В.}$$

Напряжение в конце КЛ1:

$$U_4 = U_{2\text{HH}} - \Delta U_{3-4} = 385,21 - 0,84 = 384,37 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения:

$$V_4 = \frac{384,37 - 380}{380} \cdot 100 = 1,15 \%$$

Потери напряжения в линии КЛ2:

$$\Delta U_{4-5} = 0,42 \text{ В.}$$

Напряжение в конце линии КЛ2:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{4-5} = 384,37 - 0,42 = 383,95 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения:

$$V_5 = \frac{383,95 - 380}{380} \cdot 100 = 1,04 \%$$

$1,04\% < 10\%$. Условие выполняется, потери допустимы.

Все необходимые параметры для расчета для самого удаленного электроприемника представлены в таблице 3.23.

Оценка качества напряжения для самого удаленного электроприемника.

Все необходимые параметры для расчета для самого удаленного электроприемника представлены в таблице 3.24.

Эпюры напряжений представлены в графической части.

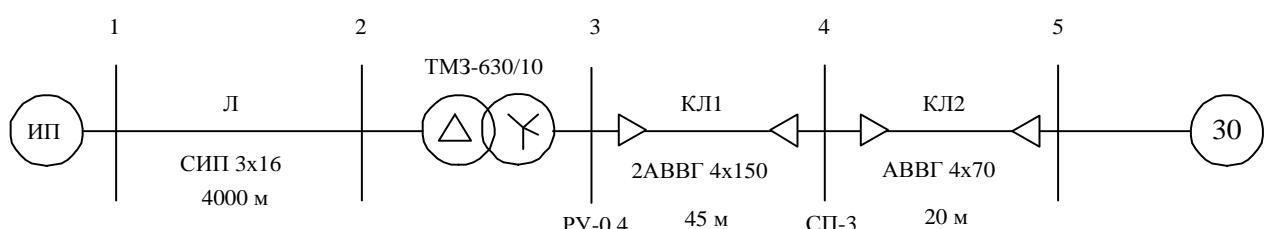


Рисунок 3.11 – Расчетная схема

Таблица 3.23 – Анализ качества напряжения (расчет отклонений напряжения) для самого мощного электроприемника

Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	Ip, A			ΔU , %	ΔU , В	U, В		Отклонение напряжения V, %	
Максимальный режим	1-2	0,93	0,37	4	1,94	0,113	17,21			2,2	220	10280		2,8	
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$, кВт	S_{III} , кВА	St.nom, кВА	U_a , %	U_k , %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	U_{Bn} , В	U_{Hn} , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,46	7,6	288,525	630	1,21	5,5	5,37	1,43	143	10137	385,21	1,37
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U, В		
	3-4	0,74	0,67	214,11	0,014	0,167	0,0596				0,22	0,84	384,37		1,15
	4-5	0,7	0,71	162,79	0,009	0,167	0,0596				0,11	0,42	383,95		1,04
Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	Ip, A			ΔU , %	ΔU , В	U, В		Отклонение напряжения V, %	
Минимальный режим	1-2	0,93	0,37	4	1,94	0,4	12,047			1,54	161,7	9838,3		-1,54	
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$, кВт	S_{III} , кВА	St.nom, кВА	U_a , %	U_k , %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	U_{Bn} , В	U_{Hn} , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,32	7,6	201,97	630	1,21	5,5	5,37	1	100	9738,3	370,06	-2,62
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U, В		
	3-4	0,74	0,67	214,11	0,014	0,167	0,0596				0,154	0,588	369,472		-2,77
	4-5	0,7	0,71	162,79	0,009	0,167	0,0596				0,077	0,294	369,178		-2,85
Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	Ip, A			ΔU , %	ΔU , В	U, В		Отклонение напряжения V, %	
Послеаварийный режим	1-2	0,93	0,37	4	1,94	0,4	34,42			4,4	462	10038		0,6	
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$, кВт	S_{III} , кВА	St.nom, кВА	U_a , %	U_k , %	U_p , %	ΔU , %	ΔU , В	U_{Bn} , В	U_{Hn} , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,92	7,6	577,05	630	1,21	5,5	5,37	2,86	286	9752	370,58	-2,48
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U, В		
	3-4	0,74	0,67	214,11	0,014	0,167	0,0596				0,22	0,84	369,74		-2,7
	4-5	0,7	0,71	162,79	0,009	0,167	0,0596				0,11	0,42	369,32		-2,81

Таблица 3.24 – Анализ качества напряжения (расчет отклонений напряжения) для самого удаленного электроприемника

Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	Ip, A				ΔU , %	ΔU , В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Максимальный режим	1-2	0,93	0,37	4	1,94	0,113	17,21				2,2	220	10280		2,8
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$, кВт	S_{III} , кВА	St.ном, кВА	Ua, %	Uk, %	Up, %	ΔU , %	ΔU , В	Ubн, В	Uнн, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,46	7,6	288,525	630	1,21	5,5	5,37	1,43	143	10137	385,21	1,37
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U, В		
	3-4	0,78	0,63	357,47	0,045	0,103	0,0298				0,73	2,77	382,44		0,64
	4-5	0,85	0,53	80,44	0,02	0,443	0,0612				0,3	1,14	381,3		0,34
Минимальный режим	1-2	0,93	0,37	4	1,94	0,113	12,047				1,54	154	9846		-1,54
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$, кВт	S_{III} , кВА	St.ном, кВА	Ua, %	Uk, %	Up, %	ΔU , %	ΔU , В	Ubн, В	Uнн, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,32	7,6	201,97	630	1,21	5,5	5,37	1	100	9746	370,35	-2,54
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U, В		
	3-4	0,78	0,63	357,47	0,045	0,103	0,0298				0,511	1,939	368,411		-3,05
	4-5	0,85	0,53	80,44	0,02	0,443	0,0612				0,21	0,798	367,613		-3,26
Последовательный режим	1-2	0,93	0,37	4	1,94	0,113	34,42				4,4	462	10038		0,6
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$, кВт	S_{III} , кВА	St.ном, кВА	Ua, %	Uk, %	Up, %	ΔU , %	ΔU , В	Ubн, В	Uнн, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,92	7,6	577,05	630	1,21	5,5	5,37	2,86	286	9752	370,58	-2,48
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км				ΔU , %	ΔU , В	U, В		
	3-4	0,78	0,63	357,47	0,045	0,103	0,0298				0,73	2,77	367,81		-3,21
	4-5	0,85	0,53	80,44	0,02	0,443	0,0612				0,3	1,14	366,67		-3,51

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование системы электроснабжения предприятия – это ряд технических мероприятий по проработке основных параметров и характеристик будущей системы электроснабжения. Проект электроснабжения предприятия позволяет представителям монтажной организации и непосредственному заказчику наиболее точно представить себе структуру системы электроснабжения, определить типы и марки применяемой кабельной продукции, аппаратов защиты и других электроустановок, увидеть расчетные нагрузки в каждом сегменте электрической сети предприятия. Кроме того, такой проект позволяет с высокой точностью определить стоимость материалов, оборудования и монтажа системы электроснабжения, и чем крупнее объект, тем более актуальной и полезной становится эта возможность.

В процессе технологического присоединения к электросетям перед представителями предприятия рано или поздно возникает задача оформления проекта. На этапе проектирования очень важно правильно учесть все нюансы производства и схемы присоединения. От этого зависит не только надежность энергоснабжения завода (или любого другого объекта бизнеса), но также и стоимость электричества в дальнейшем (цена на электроэнергию зависит от условий технологического присоединения, и соответственно, от условий проектирования энергоснабжения предприятия).

Результатом данной ВКР является система электроснабжения гравийного завода п. Новоенисейка.

Рассчитаны электрические нагрузки по уровням электроснабжения. Разработана радиальная схема на распределительных пунктах на стороне НН, выбрано соответствующее оборудование.

Проведены светотехнический и электротехнический расчеты освещения.

По расчетной схеме для расчета токов короткого замыкания составлена схема замещения и рассчитаны необходимые параметры КЗ. Выбранное оборудование проверено на действие токов короткого замыкания.

Анализ качества электроэнергии позволил выявить, что проблем с недопустимыми потерями напряжение нет. Отклонение соответствует государственному стандарту.

Данная ВКР актуальна не только в решении проблемы надежного и бесперебойного электроснабжения какого-то конкретного цеха, участка или отделения производства, подобные технологические и конструктивные решения могут быть применены для проектирования электроснабжения и реконструкции схем питания электроэнергией различных промышленных предприятий России.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Системы электроснабжения. Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : учебн.-метод. пособие / сост. Н. В. Дулесова ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,68 МБ). – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2016. – 72 с.
2. Конюхова, Е. А. Электроснабжение [Текст] : учебник / Е.А. Конюхова. – Электрон. дан. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – 510 с.
3. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий [Текст] : Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
4. Кудрин, Б. И. Электроснабжение [Текст] : учебник для использования в образовательном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата), профиль (направленность) "Электроснабжение" / Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, М. Г. Ошурков. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2018. - 382 с.
5. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]. – М.: АООТ ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция). – М.: Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/9/9633/> (дата обращения 20.05.2020).
6. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» [Электронный ресурс] . – М.: Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт Тяжпромэлектропроект, 1993 (2-я редакция). – Режим доступа: <https://gostinform.ru/other-dokumenty/posobie-obj48368.html> (дата обращения 20.05.2020).
7. Правила устройства электроустановок [Текст]. - 7-е издание. - СПб.: Издательство ДЕАН, 2013. - 701 с.
8. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования [Текст] ; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 131 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031256> (дата обращения 20.05.2020).
9. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст] ; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1994. – 27 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 20.05.2020).
10. Кнорринг, Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения [Текст]. - 6-е изд., перераб. - Ленинград : Энергия. Ленингр. изд-ние, 1968. - 391 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 20.05.2020).
11. Киреева, Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике [Текст] : (с примерами расчетов) / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 3-е изд., стер. - Москва : КноРус, 2016. – 862 с.
12. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проек-

тирования по электроснабжению промышленных предприятий [Электронный ресурс] / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоамоиздат, 1987. – 368 с. – Режим доступа: <http://www.electrolibrary.info/books/fedorov.htm> (дата обращения 20.05.2020).

13. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения [Электронный ресурс] : Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 214 с. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/28024670-V-p-shehovcov-raschet-i-proektirovaniye-shemzlekqyusnabzheniya.html> (дата обращения 20.05.2020).

14. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] : Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 20.05.2020).

15. Электродвигатели АИР - технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electronpo.ru/production> (дата обращения 20.05.2020).

16. Официальный сайт компании «Навигатор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.navigator-light.ru (дата обращения 20.05.2020).

17. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102744> (дата обращения 20.05.2020).

18. ГОСТ 31946-2012. Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. Общие технические условия (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102886> (дата обращения 20.05.2020).

19. Об установлении единых (котловых) тарифов на услуги по передаче электрической энергии по сетям Республики Хакасия на 2020 год [Электронный ресурс]: Приказ государственного комитета энергетики и тарифного регулирования Республики Хакасия от 30 декабря 2019 года N 6-э. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/561698099> (дата обращения 20.05.2020).

20. Пункты распределительные ПР8501 и ПР8804 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://darsteel.ru/products/punkty-raspredelitelnye-pr8501/> (дата обращения 20.05.2020).

21. Шинопроводы распределительные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kmp163.ru/catalog/k-4281549-shinoprovody_raspredelitelnyye_shra_4 (дата обращения 20.05.2020).

22. Кабели с пластмассовой изоляцией ВВГнг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elmarts.ru/catalog/vvgng/> (дата обращения 20.05.2020).

23. Автоматические выключатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://grantek-svet.ru/catalog/avtomaticheskij_vyklyuchatel.php (дата обращения 20.05.2020).

24. Электролампа Leek LE T-150W LED [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://leek-lamp.ru/catalog/lampy_bolshoy_moshchnosti/lampa_s_d_leek_le_t_150w_led_6500k_e40_8_al/ (дата обращения 20.05.2020).

25. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 12-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2012. – 966 с.

26. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 11-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2014. – 704 с.

27. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т. 2. Электротехнические устройства/Под. общ. ред. Проф. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 2011. – 658 с.: ил.

28. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические устройства и изделия / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 10-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 988 с.

29. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» // Собрание законодательства РФ. 31.03.2003. № 13. Ст. 1177.

30. Федеральный закон от 26.03.2003 № 36-ФЗ «Об особенностях функционирования электроэнергетики в переходный период» // Собрание законодательства РФ. 31.03.2003. № 13. Ст. 1178.

31. Федеральный закон № 125-ФЗ от 07.07.2003 "О внесении изменений и дополнений в федеральный закон «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации" (действующая редакция 2016) [Электронный ресурс] : URL: consultant.ru/document/cons_dos_ (дата обращения: 05.04.2020).

32. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» // Собрание законодательства РФ. 30.11.2009. № 48. Ст. 5711.

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 52 наименований.

Электронный экземпляр слан на кафедру.

«01 » ноябрь 2020г.
(дата)

РУ
(подпись)

Ф.И.О. краеведческого
(ФИО)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»
институт

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« 02 » 07 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код – наименование направления

Электроснабжение гравийного завода «ИП Кудренко А. С.» с. Новоенисейска
тема

Руководитель 20.07.20 доцент, к.т.н.
подпись, дата должность, ученая степень

А. В. Коловский
инициалы, фамилия

Выпускник 07.08.20
подпись, дата

А.М Черемушкина
инициалы, фамилия

Нормоконтролер 02.07.20
подпись, дата

И.А. Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2020