

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального 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.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция схемы электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя

Абаканской ТЭЦ

тема

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата

доцент, к.т.н.  
должность, ученая степень

Е. В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_   
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 \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 15-01 (з-15)

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Реконструкция схемы  
электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя Абаканской ТЭЦ

Утверждена приказом по институту № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

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

Исходные данные для дипломного ВКР \_\_\_\_\_ план цеха с расположением электро-  
оборудования, ведомость электропотребителей.

Перечень разделов дипломного проекта:

Введение

1. Характеристика объекта и его системы электроснабжения
2. Причины и объем реконструкции системы электроснабжения объекта
3. Расчет силовой и осветительной электрических нагрузок
4. Выбор коммутационно-защитного оборудования
5. Выбор питающих проводников
6. Расчет токов короткого замыкания
7. Проверка сети по допустимым отклонениям напряжения
8. Расчет заземления и молниезащиты

Заключение

Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части

Лист 1. План объекта с размещением источника питания и прокладкой силовых и осветительных сетей

Лист 2. Однолинейная схема сети

Лист 3. Эпюры напряжений

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_ / Е. В. Платонова  
(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
(подпись, инициалы и фамилия студента)

25 февраля 2020 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Реконструкция схемы электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя Абаканской ТЭЦ» содержит 60 страниц текстового документа, 32 использованных источника, 3 листа графического материала, приложений нет.

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

Объект реконструкции - цех вагоноопрокидывателя Абаканской ТЭЦ.

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 цеха вагоноопрокидывателя Абаканской ТЭЦ. 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 реконструкции разработана система электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя, соответствующая всем современным требованиям.

## **THE ABSTRACT**

The final qualification work on the topic “Reconstruction supply scheme of the car dumper workshop of the Abakan CHPP” contains 60 pages of a text document, 32 sources used, 3 sheets of graphic material, no appendices.

RECONSTRUCTION, CAR DUMP, ELECTRICAL LOADS, LIGHTING, LIGHTING CALCULATION, ELECTRICAL CALCULATION, SELECTION OF EQUIPMENT, CHECK OF EQUIPMENT, SHORT-CIRCUIT CIRCUIT, SHORT-CIRCUIT.

The object of reconstruction is the car dumper workshop of the Abakan TPP.

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, electric loads were calculated for each level of power supply, after which the power supply scheme of the car dumper workshop of the Abakan TPP 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 reconstruction, a power supply system for the car dumper workshop was developed that meets all modern requirements.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Характеристика объекта и его системы электроснабжения .....	9
2 Причины и объем реконструкции системы электроснабжения объекта.....	13
3 Расчет силовой и осветительной электрических нагрузок цеха вагонопрокидывателя .....	14
3.1 Расчет силовой нагрузки на первом уровне .....	14
3.2 Расчет осветительных нагрузок.....	16
3.3 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего цеха .....	19
4 Выбор коммутационно-защитного оборудования.....	25
5 Выбор питающих проводников .....	30
6 Расчет токов короткого замыкания .....	35
7 Проверка сети по допустимым отклонениям напряжения .....	45
8 Расчет заземления и молниезащиты .....	52
Заключение .....	57
Список использованных источников .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергия – равноправный компонент производственного процесса, а значит, правильно спроектированное электроснабжение промышленного предприятия способно существенным образом оптимизировать издержки и в результате сократить себестоимость продукции.

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

Динамичность технологических процессов и закономерное совершенствование производства требуют от системы электроснабжения современных предприятий гибкости, простоты и надежности. При этом промышленные объекты различных отраслей хозяйства имеют свои, зачастую уникальные требования к проектированию электроснабжения [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 электростанциях, в том числе ТЭЦ, 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 или реконструируемая 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.

Любую электростанцию, в том числе и Абаканскую ТЭЦ, можно отнести к некоторому потенциально опасному производственному объекту со своей спецификой. В частности, такая опасность кроется в особенностях организации и осуществления технологических процессов, эксплуатации элект-

трооборудования и других факторах. Поэтому правильная организация и эксплуатация всех систем ТЭЦ, 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.

Качественно выполненный этап проектирования или реконструкции электрических сетей объекта избавит от таких распространенных проблем, как увеличение сметы при монтаже и «наползание» разных инженерных сетей друг на друга. Тщательная проработка деталей такого проекта позволит минимизировать доработки при монтаже и интегрировать все инженерные системы между собой.

Объект исследования – вагоноопрокидыватель, как один из главных компонентов тракта топливоподачи Абаканской ТЭЦ.

Предмет исследования – система электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя.

Цель ВКР – реконструкция системы электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя Абаканской ТЭЦ.

Задачи ВКР следующие:

- 1) дать общие сведения о вагоноопрокидывателе, его электрических нагрузках и источнике питания;
- 2) произвести расчет электрических нагрузок цеха вагоноопрокидывателя;
- 3) произвести выбор и обоснование схемы электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя;
- 4) произвести расчет и выбор электрооборудования и проводников в системе электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя;
- 5) рассчитать токи короткого замыкания в системе электроснабжения и проверить выбранное электрооборудование цеха вагоноопрокидывателя;
- 6) произвести расчет отклонений напряжения для самого мощного и самого удаленного электроприемников и проверить на соответствие нормативным показателям;
- 7) произвести расчет заземления и молниезащиты здания производственного цеха вагоноопрокидывателя.



## 1 Характеристика объекта и его системы электроснабжения

Абаканская ТЭЦ является флагманом тепловой энергетики Республики Хакасии и основным поставщиком тепла для Абакана. Она обеспечивает теплом более 95% потребителей в столице Хакасии, закрывает потребность в электроэнергии двух самых крупных городов республики – Абакана и Черногорска, а кроме того, снабжает ряд предприятий города промышленным паром.

Цех вагоноопрокидывателя является одним из основных цехов, входящих в более крупную производственную единицу – топливотранспортный цех Абаканской ТЭЦ, в который также входит система конвейеров и узлы пересыпа угля.

Вагоноопрокидыватель роторный, стационарный, ВРС-125 предназначен для разгрузки сыпучих или с неполной сыпучестью (крупнокусковых) материалов из железнодорожных полувагонов грузоподъемностью 63...125 т, путем опрокидывания полувагона во вращающемся роторе.

Вагоноопрокидыватель роторный боковой оснащен тормозным устройством для фиксации полувагонов на платформе. В процессе разгрузки производится вибрационная очистка полувагонов. Смазка централизованная и закладная. Управление осуществляется машинистом с пульта управления.

В качестве основного вида топлива на ТЭЦ используется Канско-Ачинский бурый уголь Ирша-Бородинского разреза марки 2БР с оптимальными для станции теплотехническими и физико-химическими характеристиками. От данного разреза, который находится в 499 км от станции, топливо в полувагонах поступает на подъездные пути ТЭЦ. Затем с помощью теплового полувагона по одному поступают вагоноопрокидыватель, устанавливаются на роторе вагоноопрокидывателя. Уголь из полувагонов выгружается в три металлических бункера ёмкостью 70 тонн каждый, которые перекрыты решётками 350x350 мм. Для дробления крупных кусков, смёрзшихся глыб угля и породы на решётках бункеров установлены дробильно-фрезерные машины (ДФМ) в количестве трех штук. ДФМ способна дробить куски угля размерами до 1000 мм. Под бункерами установлены три ленточных питателя, производительностью 300 т/час, с помощью которых топливо подаётся на первый ленточный конвейер и далее по узлам пересыпа.

Питание цеха вагоноопрокидывателя осуществляется от пристанционного узла 6 кВ, где расположено РУСН 6 кВ. В свою очередь, силовые пункты и щит освещения вагоноопрокидывателя питаются от трансформаторной подстанции, находящейся поблизости от данного объекта. ТП с двумя трансформаторами типа ТМ-1000/6 получает питание от РУСН посредством кабельных линий, проложенных в земле в траншее. Схема питания представлена на рисунке 1.1.

Ведомость электрических нагрузок вагоноопрокидывателя с указанием установленных электродвигателей производственных механизмов, а также расшифровкой обозначений электроприемников представлен в таблицах 1.1-1.2.

Общий вид вагоноопрокидывателя представлен на рисунке 1.2.  
План цеха вагоноопрокидывателя представлен на рисунке 1.3.

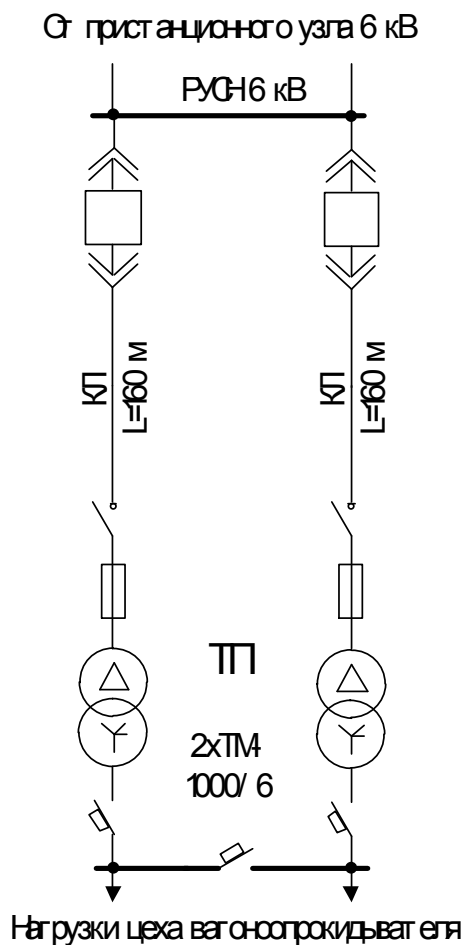


Рисунок 1.1 – Схема питания цеха вагоноопрокидывателя от ТП 6/0,4 кВ

Таблица 1.1 – Ведомость электрических нагрузок вагоноопрокидывателя

№ Э.П. по плану	Обозначение электроприёмников	Тип	Р <sub>пасп.</sub> , кВт	ПВ пасп, о.е.	cosφ	Ки	Ун В
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ВРС-125 эл.дв.№ 1	4МНТ-280 М12У1	60	1	0,66	0,6	0,38
2	ВРС-125 эл.дв.№ 2	4МНТ-280 М12У1	60	1	0,66	0,6	0,38
3	ДФМ-1 Фреза	2ВР 280/8/2,5	75	1	0,7	0,6	0,38
4	ДФМ-1 Ход	МТКФ 311-8У1	7,5	1	0,5	0,4	0,38
5	ДФМ-2 Фреза	2ВР 280/8/2,5	75	1	0,7	0,6	0,38
6	ДФМ-2 ХОД	МТКФ 311-8У1	7,5	1	0,5	0,4	0,38
7	ДФМ-3 Фреза	2ВР 280/8/2,5	75	1	0,7	0,6	0,38
8	ДФМ-3 Ход	МТКФ 311-8У1	7,5	1	0,5	0,4	0,38
9	ЛП-1	АС4 Б3-200П	18,5	1	0,65	0,6	0,38
10	ЛП-2	4А-200П	22	1	0,72	0,6	0,38
11	ЛП-3	4А-200П	18,5	1	0,65	0,6	0,38
12	ДН-1 ВО	АО2 31-4	55	1	0,8	0,6	0,38
13	ДН-2 ВО	АО2-52-4	100	1	0,72	0,6	0,38
14	АУ ЛП, ВО	2МО 160М4	18,5	1	0,72	0,6	0,38
15	ПУ-1 ВО	МО 160М-4	18,5	1	0,72	0,6	0,38
16	ПУ-2 ВО	МО 160М-4	18,5	1	0,72	0,6	0,38
		ИТОГО	637				

Таблица 1.2 – Расшифровка обозначений электроприемников

№ Э.П. по плану	Обозначение электроприёмников	Наименование электроприёмников
1	2	3
1	ВРС-125 эл.дв.№ 1	вагоноопрокидыватель роторный стационарный
2	ВРС-125 эл.дв.№ 2	вагоноопрокидыватель роторный стационарный
3	ДФМ-1 Фреза	дробильно-фрезерная машина
4	ДФМ-1 Ход	дробильно-фрезерная машина
5	ДФМ-2 Фреза	дробильно-фрезерная машина
6	ДФМ-2 ХОД	дробильно-фрезерная машина
7	ДФМ-3 Фреза	дробильно-фрезерная машина
8	ДФМ-3 Ход	дробильно-фрезерная машина
9	ЛП-1	ленточный питатель №1
10	ЛП-2	ленточный питатель №2
11	ЛП-3	ленточный питатель №3
12	ДН-1 ВО	насос центробежный
13	ДН-2 ВО	насос центробежный
14	АУ ЛП, ВО	аспирационная установка
15	ПУ-1 ВО	приточная установка вагоноопрокидывателя
16	ПУ-2 ВО	приточная установка вагоноопрокидывателя



Рисунок 1.2 – Общий вид вагоноопрокидывателя

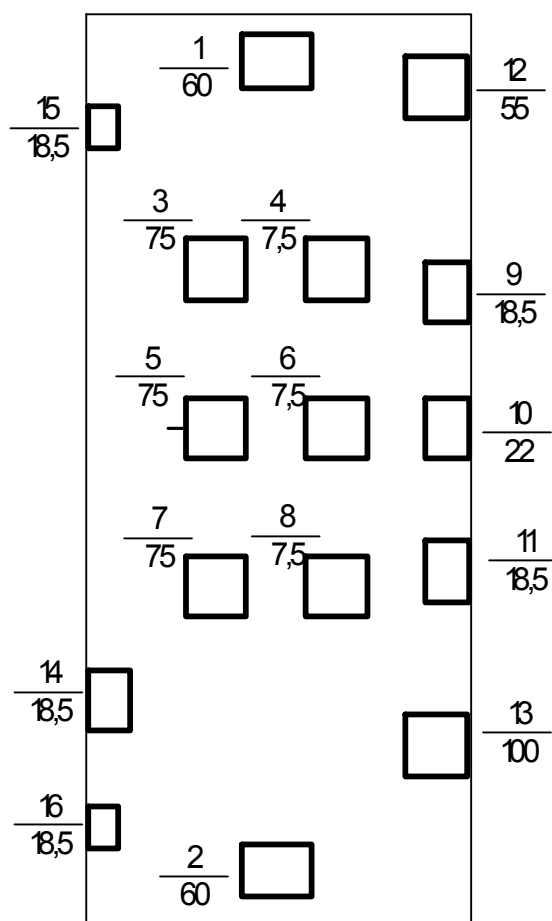


Рисунок 1.2 – План цеха вагоноопрокидывателя

Общие параметры вагоноопрокидывателя с указанием габаритных размеров представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Общие параметры вагоноопрокидывателя

Наименование параметра	Значение
Габаритные размеры вагоноопрокидывателя, мм:	
высота x ширина x длина по платформе	8435 x 9480 x 22800
Масса вагоноопрокидывателя, т	231,0
Габариты разгружаемых полувагонов, мм:	
высота	3274 – 3900
ширина	3130 – 3194
длина (по осям автосцепок)	13920 – 20500
Колея, мм	1520
Общие показатели	
угол поворота ротора, рад (градус)	до 3,054 (175)
время разгрузки полувагонов (прямой и обратный ход), с	63 – 75
количество разгружаемых полувагонов, шт.	1
род тока	переменный
напряжение, В	380

## 2 Причины и объем реконструкции системы электроснабжения объекта

В связи с обновлением парка оборудования вагоноопрокидывателя, т.е. вместо указанных в представленных в таблице 1.1 типов двигателей и агрегатов предлагаются новые типы агрегатов с улучшенными характеристиками, большим коэффициентом мощности и более высоким КПД. Режим работы электроприемников и напряжение питания остаются прежними. Выбранные электродвигатели согласно [15] заносим в таблицу 2.1.

Также планируется выбрать питающие кабели с негорючей оболочкой и обновить коммутационно-защитную аппаратуру, т.к. прежняя морально устарела (некорректно срабатывала или вовсе отказывала в действии при защите от перегрузок и коротких замыканий).

Кроме того, освещение планируется осуществить энергосберегающими светодиодными лампами взамен светильников с лампами типа ДРЛ.

Предлагаемые к установке современные типы асинхронных электродвигателей взамен устаревших представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Ведомость электрических нагрузок вагоноопрокидывателя с новыми типами электродвигателей

№ Э.П. по плану	Обозначение электроприёмников	Тип	Рпасп., кВт	Ки	cosφ	КПД, η <sub>дв.</sub> , %
1	2	3	4	5	6	7
1	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 1	МКТН 512-6	55	0,6	0,86	88
2	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 2	МКТН 512-6	55	0,6	0,86	88
3	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Фреза	ВА 250 S2	75	0,6	0,87	88
4	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Ход	МКТН 211-6	7,5	0,4	0,84	87
5	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 Фреза	ВА 250 S2	75	0,6	0,87	88
6	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 ХОД	МКТН 211-6	7,5	0,4	0,84	87
7	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Фреза	ВА 250 S2	75	0,6	0,87	88
8	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Ход	МКТН 211-6	7,5	0,4	0,84	87
9	Ленточный питатель ЛП-1	АИР 160 M2	18,5	0,6	0,88	90
10	Ленточный питатель ЛП-2	АИР 180 S2	22	0,6	0,89	90,5
11	Ленточный питатель ЛП-3	АИР 160 M2	18,5	0,6	0,88	90
12	Насос центробежный ДН-1 ВО	АИР 225 M2	55	0,6	0,91	93
13	Насос центробежный ДН-2 ВО	АИР 250 M2	90	0,6	0,91	93,9
14	Аспирационная установка АУ ЛП, ВО	АИР 160 M2	18,5	0,6	0,88	90
15	Приточная установка ПУ-1 ВО	АИР 160 M2	18,5	0,6	0,88	90
16	Приточная установка ПУ-2 ВО	АИР 160 M2	18,5	0,6	0,88	90
ИТОГО			621			

### 3 Расчет силовой и осветительной электрических нагрузок цеха вагоноопрокидывателя

#### 3.1 Расчет силовой нагрузки на первом уровне

Номинальная мощность каждого электроприемника рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{уст}}}{\eta_{\text{дв}}} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность электроприемника;  
 $\eta_{\text{дв}}$  – КПД электродвигателя.

Для примера рассчитаем номинальную мощность ЭП №1:

$$P_{\text{ном}(1)} = \frac{55}{88} \cdot 100 = 62,5 \text{ кВт.}$$

Для остальных установок расчет производится аналогично. Полученные значения номинальной мощности заносятся в таблицу 3.1.

Параметры  $K_{\text{и}}$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi$  для электроприемников определены в соответствии с [1, 12].

Таблица 3.1 – Электрические нагрузки цеха вагоноопрокидывателя

№	Наименование ЭП	$P_{\text{ном}}$ кВт	ПВ, %	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Число фаз
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 1	62,5	100	0,6	0,86	0,59	3
2	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 2	62,5	100	0,6	0,86	0,59	3
3	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Фреза	85,23	100	0,6	0,87	0,57	3
4	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Ход	8,62	100	0,4	0,84	0,65	3
5	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 Фреза	85,23	100	0,6	0,87	0,57	3
6	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 ХОД	8,62	100	0,4	0,84	0,65	3
7	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Фреза	85,23	100	0,6	0,87	0,57	3
8	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Ход	8,62	100	0,4	0,84	0,65	3
9	Ленточный питатель ЛП-1	20,56	100	0,6	0,88	0,54	3
10	Ленточный питатель ЛП-2	24,31	100	0,6	0,89	0,51	3
11	Ленточный питатель ЛП-3	20,56	100	0,6	0,88	0,54	3
12	Насос центробежный ДН-1 ВО	59,14	100	0,6	0,91	0,46	3
13	Насос центробежный ДН-2 ВО	95,85	100	0,6	0,91	0,46	3
14	Аспирационная установка АУ ЛП, ВО	20,56	100	0,6	0,88	0,54	3
15	Приточная установка ПУ-1 ВО	20,56	100	0,6	0,88	0,54	3
16	Приточная установка ПУ-2 ВО	20,56	100	0,6	0,88	0,54	3
	ИТОГО	688,65					

Расчет электрической нагрузки на первом уровне производится для каждого электроприемника в отдельности.

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

$$P_{p1} = P_{ном}, \quad (3.2)$$

Реактивная мощность электроустановки определяется по выражению:

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

Полная мощность находится по выражению

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

Расчетный ток

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

Пусковой ток

$$I_{п} = K_{п} I_p, \quad (3.6)$$

где  $K_{п}$  – кратность пускового тока.

Кратность пускового тока  $K_{п}$  для нагрузки, представленной асинхронными двигателями, принимаем равной 5 [12].

Пример. Расчет номинальной мощности, активной и реактивной мощностей первого уровня и полной мощности ЭП №1.

По формулам (3.2) – (3.6) определяем:

$$P_{p1} = P_{ном1} = 62,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 62,5 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,86)) = 36,88 \text{ кВар};$$

$$S_{p1} = \sqrt{62,5^2 + 36,88^2} = 72,57 \text{ кВА}.$$

$$I_{p1} = \frac{72,57 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 110,42 \text{ А};$$

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_{p1} = 5 \cdot 110,42 = 552,1 \text{ А}.$$

Для остальных электроприемников расчеты аналогичны (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Расчет электрических нагрузок на первом уровне

№	Наименование ЭП	$P_{ном}$ кВт	ПВ, %	$Kи$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{р1}$ , кВт	$Q_{р1}$ , кВар	$S_{р1}$ , кВА	$I_p$ , А	$I_{пуск}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 1	62,5	100	0,6	0,86	0,59	62,5	36,88	72,57	110,42	552,10
2	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 2	62,5	100	0,6	0,86	0,59	62,5	36,88	72,57	110,42	552,10
3	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Фреза	85,23	100	0,6	0,87	0,57	85,23	48,58	98,1	148,84	744,20
4	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Ход	8,62	100	0,4	0,84	0,65	8,62	5,6	10,28	15,59	77,95
5	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 Фреза	85,23	100	0,6	0,87	0,57	85,23	48,58	98,1	148,84	744,20
6	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 ХОД	8,62	100	0,4	0,84	0,65	8,62	5,6	10,28	15,59	77,95
7	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Фреза	85,23	100	0,6	0,87	0,57	85,23	48,58	98,1	148,84	744,20
8	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Ход	8,62	100	0,4	0,84	0,65	8,62	5,6	10,28	15,59	77,95
9	Ленточный питатель ЛП-1	20,56	100	0,6	0,88	0,54	20,56	11,1	23,37	35,5	177,50
10	Ленточный питатель ЛП-2	24,31	100	0,6	0,89	0,51	24,31	12,4	27,29	41,5	207,50
11	Ленточный питатель ЛП-3	20,56	100	0,6	0,88	0,54	20,56	11,1	23,37	35,5	177,50
12	Насос центробежный ДН-1 ВО	59,14	100	0,6	0,91	0,46	59,14	27,2	65,1	98,74	493,70
13	Насос центробежный ДН-2 ВО	95,85	100	0,6	0,91	0,46	95,85	44,09	105,5	160,03	800,15
14	Аспирационная установка АУ ЛП, ВО	20,56	100	0,6	0,88	0,54	20,56	11,1	23,37	35,5	177,50
15	Приточная установка ПУ-1 ВО	20,56	100	0,6	0,88	0,54	20,56	11,1	23,37	35,5	177,50
16	Приточная установка ПУ-2 ВО	20,56	100	0,6	0,88	0,54	20,56	11,1	23,37	35,5	177,50

Таким образом, Расчет электрических нагрузок на первом уровне завершен, определены расчетные мощности и токи для выбора проводников и защитных аппаратов.

### 3.2 Расчет осветительных нагрузок

Светотехнический расчет системы освещения цеха вагоноопрокидывателя произведем методом коэффициента использования светового потока [14].

Размеры цеха вагоноопрокидывателя:

$$L_{ц} \times B_{ц} \times H_{ц} = 30 \times 12 \times 10.$$

Высота расчётной поверхности  $h_p = 0,8 м$ , расстояние от перекрытия до светильника  $h_c = 1,0 м$ . Расстояние от светильников до рабочей поверхности (расчетная высота):



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

$\lambda_{\text{э}} = L / h$  – расстояние между светильниками к расчётной высоте.

Принимаем  $\lambda_{\text{э}} = 1,0$  [12, таблица 10.4] для светильников типа «Колокол» СОВ с глубокой силой света. Тогда расстояние между светильниками в ряду:

$$L_A = \lambda_{\text{э}} \cdot h = 1 \cdot 8,2 = 8,2 \text{ м.}$$

В ряду можно разместить  $n = 4$  светильников, тогда расстояние от крайних светильников до стены:

$$2 \cdot l_A = 30 - (4 - 1) \cdot 8,2 = 5,4 \Rightarrow l_A = 2,7 \text{ м.}$$

Принимаем число рядов  $m = 2$ , тогда  $L_B = 8,2$  м и расстояние от крайних светильников до стены:

$$2 \cdot l_B = 12 - (2 - 1) \cdot 8,2 = 3,8 \Rightarrow l_B = 1,9 \text{ м.}$$

В итоге общее число светильников в цехе

$$N = n \cdot m = 4 \cdot 2 = 8 \text{ шт.}$$

Отношение

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

Размещение светильников рабочего освещения представлено на рисунке 3.1.

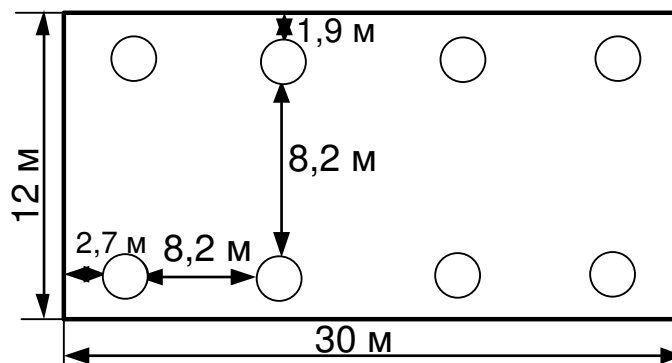


Рисунок 3.1 – Размещение светильников рабочего освещения цеха

Световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности [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;

$K_{ЗАП} = 1,5$  – коэффициент запаса [10, таблица 4.4],

$F$  – площадь освещаемой поверхности,  $m^2$ ,

$z = E_{CP}/E_H$  – коэффициент минимальной освещенности (для ламп светодиодных –  $z = 1,1$ ),

$N$  – число светильников,

$\eta$  – коэффициент использования светового потока источника света, доли единиц.

Индекс помещения определяется по [10] при условии, что  $L / B \leq 3,5$ .

Принимаем  $\rho_{П} = 70\%$ ;  $\rho_{СТ} = 50\%$ ;  $\rho_{Р} = 10\%$  [10, таблица 5.1, с. 126]

$\rho_{П}$ ,  $\rho_{СТ}$ ,  $\rho_{Р}$  – коэффициенты отражения поверхностей (потолка, стен, рабочей поверхности) необходимы для выбора  $\eta$ .

Коэффициент использования светового потока:

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

$$i = \frac{30 \cdot 12}{8,2 \cdot (30 + 12)} = 1.$$

Тогда коэффициент использования светового потока по [10, таблица 5.9, с.134] составит:

$$\eta = 0,7.$$

Норма освещенности принимается по таблице 1 (СП 52.13330.2016) для производственных помещений при системе общего освещения:

$E_H = 150$  лк (при работах низкой точности).

Тогда по формуле (5.1) световой поток одной лампы:

$$\Phi_p = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot (30 \cdot 12) \cdot 1,1}{8 \cdot 0,7} = 15911 \text{ Лм.}$$

По величине  $\Phi_p$  в [11, таблица 14.17, с. 373] подбираем лампу типа Leek LE T-150W LED (E40, 150Вт, 6500К) мощностью 150 Вт со световым потоком  $\Phi_{НОМ} = 14600$  лм [24]. Тип цоколя E40. Высота подвеса 8,2 м.

Отклонение светового потока определяется по формуле:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{НОМ}} - \Phi_{\text{Р}}}{\Phi_{\text{Р}}} \cdot 100\% = \frac{14600 - 15911}{15911} \cdot 100\% = -8.24\%.$$

различие между  $\Phi_{\text{НОМ}}$  и  $\Phi_{\text{Р}}$  находится в допустимых пределах  $-10...+20\%$ .

Для определения мощности освещения необходимо рассчитать активную и реактивную нагрузки, а также полную суммарную мощность освещения по следующим формулам.

Мощность освещения:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}, \quad (3.9)$$

где активная мощность:

$$P_{\text{осв}} = N P_{\text{НОМ}} K_{\text{с}} K_{\text{пра}}, \quad (3.10)$$

где  $N$  – количество ламп;  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность светильника, кВт;

$K_{\text{с}}$  – коэффициент спроса, для крупных пролетов производственных цехов принимается 0,95 [3];  $K_{\text{пра}}$  – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры, для светодиодных ламп  $K_{\text{пра(СЛ)}} = 1,3$ ;

реактивная нагрузка осветительной сети:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \operatorname{tg}\varphi, \quad (3.11)$$

где коэффициент мощности: для светодиодных ламп  $\cos\varphi_{\text{СЛ}} = 0,9$ .

Рассчитываем мощности освещения цеха вагоноопрокидывателя:

$$P_{\text{осв СЛ}} = 8 \cdot 0,15 \cdot 0,95 \cdot 1,3 = 1,482 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{осв СЛ}} = P_{\text{осв СЛ}} \operatorname{tg}(\varphi) = 1,482 \cdot 0,48 = 0,711 \text{ кВар.}$$

### 3.3 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети и всего цеха

Расчет электрической нагрузки цеха вагоноопрокидывателя производим с помощью метода расчетных коэффициентов, основные положения которого отражены в источниках [5, 6, 9].

Распределение электроэнергии по цеху производим с помощью распределительных силовых пунктов. Электроприемники объединяем в два СП, каждый из которых предназначен для присоединения восьми потребителей (рисунок 3.2).

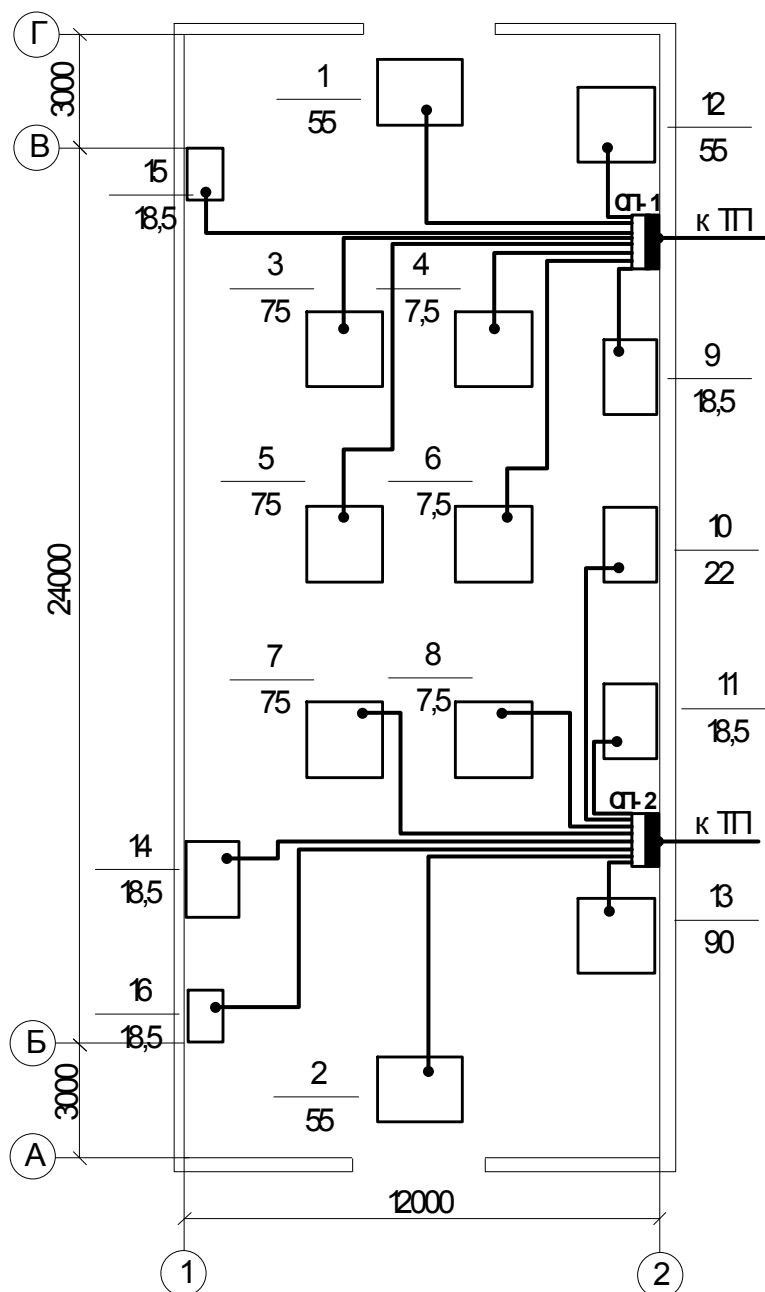


Рисунок 3.2 – Распределение электроэнергии по цеху вагоноопрокидывателя с помощью распределительных силовых пунктов

Результат расчета электрических нагрузок в целом по цеху вагоноопрокидывателя представлен в таблице 3.3, а по узлам нагрузки (по СП) – в таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Расчет электрических нагрузок в целом по цеху вагоноопрокидывателя

		Исходные данные					Расчетные величины				Эффективное число Э.П., $n_3$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток $I_p$ , А
		по заданию технологов		по справочным данным									$P_{н.р}$ , кВт	$K_p \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$ , кВар	$\eta^2_n$	
Наименование ЭП		Количество Э.П.	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэффициент использования, $K_{и}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$									
			Одного ЭП $P_n$	Общая $P_n = n \cdot P_n$												
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 1	1	62,5	62,5	0,6	0,86	0,59	37,5	22,13	3906,25						
2	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 2	1	62,5	62,5	0,6	0,86	0,59	37,5	22,13	3906,25						
3	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Фреза	1	85,23	85,23	0,6	0,87	0,57	51,14	29,15	7264,1529						
4	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Ход	1	8,62	8,62	0,4	0,84	0,65	3,45	2,24	74,3044						
5	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 Фреза	1	85,23	85,23	0,6	0,87	0,57	51,14	29,15	7264,1529						
6	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 ХОД	1	8,62	8,62	0,4	0,84	0,65	3,45	2,24	74,3044						
7	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Фреза	1	85,23	85,23	0,6	0,87	0,57	51,14	29,15	7264,1529						
8	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Ход	1	8,62	8,62	0,4	0,84	0,65	3,45	2,24	74,3044						

Исходные данные							Расчетные величины			Эффективное число Э.П., $n_3$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток $I_p, A$	
по заданию технологов				по справочным данным												
Наименование ЭП	Количество Э.П.	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэффициент использования, $K_{и}$	$\cos\phi$	$tg\phi$	$K_{и} P_{н}, кВт$	$K_{и} P_{н} tg\phi, кВар$	$n p_{н}^2$			$P_p, кВт$	$Q_p, кВар$	$S_p, кВА$		
		Одного ЭП $P_{н}$	Общая $P_{н} = n p_{н}$													
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	13	14	15	
9	Ленточный питатель ЛП-1	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
10	Ленточный питатель ЛП-2	1	24,31	24,31	0,6	0,89	0,51	14,59	7,44	590,9761						
11	Ленточный питатель ЛП-3	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
12	Насос центробежный ДН-1 ВО	1	59,14	59,14	0,6	0,91	0,46	35,48	16,32	3497,5396						
13	Насос центробежный ДН-2 ВО	1	95,85	95,85	0,6	0,91	0,46	57,51	26,45	9187,2225						
14	Аспирационная установка АУ ЛП, ВО	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
15	Приточная установка ПУ-1 ВО	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
16	Приточная установка ПУ-2 ВО	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
	<b>ИТОГО СИЛОВАЯ НАГРУЗКА</b>	16		688,65	0,59	0,88	0,54	408,05	221,94	45217,18	10	0,9	367,25	198,32	417,38	634,14
	<b>ОСВЕЩЕНИЕ</b>												1,482	0,711	1,64	2,49
	<b>ВСЕГО</b>												368,732	199,031	419,02	636,64

Таблица 3.4 – Расчет второго уровня электроснабжения в узлах электрической нагрузки с применением СП

Исходные данные							Расчетные величины			Эффективное число ЭП, $n_3$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток $I_p$ , А	
по заданию технологов				по справочным данным								$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар	$S_p$ , кВА		
Наименование ЭП	Количество ЭП.	Номинальная, (установленная) мощность, кВт		Коэффициент использования, $K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и}P_{н}$ , кВт	$K_{и}P_{н}tg\varphi$ , кВар	$n_p^2$							
		Одного ЭП $P_{н}$	Общая $P_{н}=\sum P_{н}$													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
<b>СП-1</b>																
1	Вагоноопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 1	1	62,5	62,5	0,6	0,86	0,59	37,5	22,13	3906,25						
12	Насос центробежный ДН-1 ВО	1	59,14	59,14	0,6	0,91	0,46	35,48	16,32	3497,5396						
15	Приточная установка ПУ-1 ВО	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
3	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Фреза	1	85,23	85,23	0,6	0,87	0,57	51,14	29,15	7264,1529						
4	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-1 Ход	1	8,62	8,62	0,4	0,84	0,65	3,45	2,24	74,3044						
9	Ленточный питатель ЛП-1	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
5	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 Фреза	1	85,23	85,23	0,6	0,87	0,57	51,14	29,15	7264,1529						
6	Дробильно-фрезерная машина ДФМ-2 ХОД	1	8,62	8,62	0,4	0,84	0,65	3,45	2,24	74,3044						
<b>ИТОГО</b>		8		350,46	0,59	0,88	0,55	206,84	114,55	22926,1314	5	1,08	223,39	126,01	256,48	389,68

Исходные данные							Расчетные величины			Эффективное число Э.П., $n_3$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток $I_p, A$		
по заданию технологов				по справочным данным													
Наименование ЭП	Количество Э.П.	Номинальная, (установленная) мощность, кВт		Коэффициент использования, $K_{и}$	$\cos\phi$	$tg\phi$	$K_{п} P_{н}, кВт$	$K_{п} P_{н} tg\phi, кВар$	$n p_{н}^2$			$P_p, кВт$	$Q_p, кВар$	$S_p, кВА$			
		Одного ЭП $p_{н}$	Общая $P_{н}=n p_{н}$														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
		<b>СП-2</b>															
7		Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Фреза	1	85,23	85,23	0,6	0,87	0,57	51,14	29,15	7264,1529						
8		Дробильно-фрезерная машина ДФМ-3 Ход	1	8,62	8,62	0,4	0,84	0,65	3,45	2,24	74,3044						
10		Ленточный питатель ЛП-2	1	24,31	24,31	0,6	0,89	0,51	14,59	7,44	590,9761						
11		Ленточный питатель ЛП-3	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
13		Насос центробежный ДН-2 ВО	1	95,85	95,85	0,6	0,91	0,46	57,51	26,45	9187,2225						
2		Вагонопрокидыватель роторный стационарный ВРС-125М эл.дв.№ 2	1	62,5	62,5	0,6	0,86	0,59	37,5	22,13	3906,25						
14		Аспирационная установка АУ ЛП, ВО	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
16		Приточная установка ПУ-2 ВО	1	20,56	20,56	0,6	0,88	0,54	12,34	6,66	422,7136						
		<b>ИТОГО</b>	8		338,19	0,59	0,88	0,53	201,21	107,39	22291,0467	5	1,08	217,31	118,13	247,34	375,79



#### 4 Выбор коммутационно-защитного оборудования

Целью данного пункта является выбор вводных и секционных воздушных автоматических выключателей, установленных в каждой ТП на предприятии, а также питающих кабельных линий 0,4 кВ, идущих от СП цеха до ТП.

Выбор вводных к СП автоматических выключателей для защиты с низкой стороны, производим по известным выражениям [13, п.1.8, с. 42-43]:

а) по номинальному напряжению

$$U_a \geq U_{\text{ном.сети}}, \quad (4.1)$$

где  $U_a$  - номинальное напряжение автомата, В.

Все выбираемые автоматы рассчитаны на напряжение 0,4-0,66 кВ.

б) по номинальному току (уставка теплового расцепителя):

$$I_{\text{расц}} \geq K \cdot I_m, \quad (4.2)$$

$$I_{\text{ном.а}} \geq K \cdot I_m, \quad (4.3)$$

где  $I_{\text{ном.а}}$  - номинальный ток автомата, А;

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

$I_m$  - максимальный расчетный ток защищаемой линии;

$K$  – коэффициент запаса, принимаемый для групповых сетей 1,1, а для отдельных электроприемников – 1,25.

в) по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{ном.то}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (4.4)$$

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

$$I_{\text{ном.то}} = K_o \cdot I_{\text{расц}}, \quad (4.5)$$

где кратность отсечки  $K_o$  принимается из ряда 3, 5, 7, 10 для автоматов серии ВА. Для выполнения условия достаточно взять кратность не менее 5-7, соразмерную с кратностью пуска электродвигателя отдельного ЭП.

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

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.нб}} + (I_p - k_{\text{и.нб}} \cdot I_{\text{н.нб}}), \quad (4.6)$$

где  $I_{\text{п.нб}}$  – пусковой ток наибольшего по мощности электроприемника в группе, А;

$I_{н.нб}$  – номинальный ток наибольшего по мощности электроприемника в группе, А;

$I_p$  – расчетный ток группы электроприемников, А;

$k_{и.нб}$  – коэффициент использования, характерный для наибольшего по мощности электроприемника в группе.

Для защиты распределительных пунктов используем серии ВА51, ВА53 [13, таблица А.6] (таблицы 4.1-4.2).

Таблица 4.1 – Выбор автоматов для защиты СП

Наименование	Расчетный ток присоединения, А	Расчетный ток для выбора автомата, А	Номинальный ток автомата $I_{ном.а}$ , А	Номинальный ток расцепителя $I_{расц}$ , А	Пиковый ток $I_{пик}$ , А	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{пик}$ , А	$K_o$	$I_{ном.т.о}$ , А	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{откл}$ , кА
СП-1	389,68	428,65	630	500	1948,4	2338,08	7	3500	ВА 51-39	35
СП-2	375,79	413,37	630	500	1878,95	2254,74	7	3500	ВА 51-39	35

Таблица 4.2 – Выбор автоматов для отдельных электроприемников

№ ЭП	$I_p$ , А	Расчетный ток $1,25 \cdot I_p$ , А	$I_{ном.а}$ , А	$I_{расц}$ , А	$I_{пуск}$ , А	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{пуск}$ , А	$K_o$	$I_{ном.т.о}$ , А	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{откл}$ , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	110,42	138,03	160	160	552,1	662,52	7	1120	ВА 51-35	15
2	110,42	138,03	160	160	552,1	662,52	7	1120	ВА 51-35	15
3	148,84	186,05	250	200	744,2	893,04	7	1400	ВА 51-35	15
4	15,59	19,49	25	20	77,95	93,54	7	140	ВА 51-25	3
5	148,84	186,05	250	200	744,2	893,04	7	1400	ВА 51-35	15
6	15,59	19,49	25	20	77,95	93,54	7	140	ВА 51-25	3
7	148,84	186,05	250	200	744,2	893,04	7	1400	ВА 51-35	15
8	15,59	19,49	25	20	77,95	93,54	7	140	ВА 51-25	3
9	35,5	44,38	100	50	177,5	213	7	350	ВА 51-31	6
10	41,5	51,88	100	63	207,5	249	7	441	ВА 51-31	6
11	35,5	44,38	100	50	177,5	213	7	350	ВА 51-31	6
12	98,74	123,43	160	125	493,7	592,44	7	875	ВА 51-31	7
13	160,03	200,04	250	250	800,15	960,18	7	1750	ВА 51-35	15
14	35,5	44,38	100	50	177,5	213	7	350	ВА 51-31	6
15	35,5	44,38	100	50	177,5	213	7	350	ВА 51-31	6
16	35,5	44,38	100	50	177,5	213	7	350	ВА 51-31	6

Для выбора автоматических воздушных выключателей для осветительных сетей необходимо провести электротехнический расчет освещения цеха вагоноопрокидывателя.

Момент осветительной нагрузки определяют по выражению:

$$M = \sum P_i \cdot l_i, \quad (4.7)$$

где  $P_i$  – мощность лампы, кВт.  
 $l_i$  – расстояние от ИП до лампы, м.

$$\sum M_a \approx \sum M_b \approx \sum M_c. \quad (4.8)$$

Такое размещение позволяет выравнять нагрузку по фазам.

Произведем выбор сечения проводников осветительной сети. Выбор сечения осуществляется с учетом рекомендаций:

- должна обеспечиваться достаточная механическая прочность.
- прохождение тока нагрузки не должно вызвать перегрев проводников

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб.}}$$

У источника света должен поддерживаться необходимый уровень напряжения.

Потери напряжения, %:

$$\Delta U = \frac{M_{\text{max}}}{K_c \cdot s}, \quad (4.9)$$

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

$s$  – сечение проводника.

Расчетная нагрузка определяется по выражению (3.10).

Максимальный расчетный ток в трехфазной сети, А:

$$I_{p \ o} = \frac{P_{p \ o}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \phi}, \quad (4.10)$$

где  $P_{p \ o}$  – расчетная нагрузка;

$U_l$  – напряжение на лампах, В;

$\cos \phi$  – коэффициент мощности выбранных ламп.

В цехе имеется 2 ряда по 4 светильника со светодиодными лампами мощностью 0,15 кВт каждая. Распределим их по фазам так, как показано на рисунке 4.1.

Начинаем в случае с рабочим освещением с расчетов моментов нагрузок. Значения результирующих моментов по каждой фазе:

1 ряд:

$$M_a = Pl + 4Pl = 5Pl,$$

$$M_b = 2Pl + 3Pl = 5Pl,$$

$$M_c = 4Pl.$$

2 ряд:

$$M_a = 4Pl,$$

$$M_B = 3Pl,$$

$$M_c = 2Pl + Pl = 3Pl.$$

Суммарные моменты по фазам:

$$\sum M_a = \sum M_B = \sum M_c = \frac{10}{3} \cdot 0,15 \cdot 8,2 = 4,1 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Нагрузка выровнена по фазам.

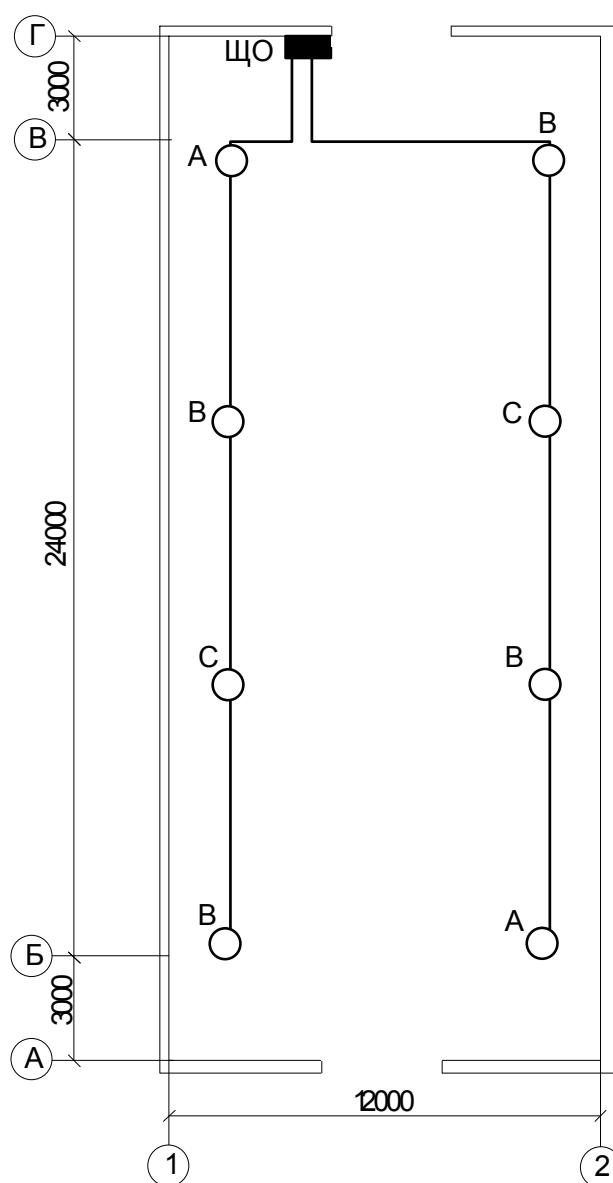


Рисунок 4.1 – Расположение ламп рабочего освещения по фазам

Рассчитываем нагрузки по линиям

1 линия:

$$l_0 = 14 \text{ м,}$$

$$M_1 = 4 \cdot 0,15 \cdot \left( 14 + \frac{8,2 \cdot (5 - 1)}{2} \right) = 18,77 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

2 линия:

$$l_0 = 3 \text{ м,}$$

$$M_2 = 4 \cdot 0,15 \cdot \left( 6 + \frac{8,2 \cdot (5 - 1)}{2} \right) = 16,97 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Определяем расчетный ток для автомата:

$$P_{po} = 8 \cdot 0,15 \cdot 1 \cdot 1,3 = 1,482 \text{ кВт.}$$

$$I_{max} = \frac{1,482}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 3,71 \text{ А.}$$

Выбираем осветительный щиток ОЩВ-3-5-6 с номинальным током  $I_{ном} = 5 \text{ А}$ , с присоединениями по 1 А.

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

Групповой автомат отходящей линии: ВА 47-29,  $I_{ном} = 1 \text{ А}$ .

## 5 Выбор питающих проводников

В соответствии с условиями окружающей среды в цехе для питания отдельных электроприемников внутри цеха вагоноопрокидывателя применяем кабели марки ВВГнг (силовой кабель с медными жилами с изолированной оболочкой, не поддающейся горению, без защитного покрова) [14], с прокладкой по конструкциям в лотках. Стандартные токи кабелей марки ВВГнг определяются в соответствии с [17].

Сечение кабеля выбирается по нагреву длительным расчетным током, тогда приведенный расчетный ток будет определяться по выражению:

$$I_{\text{расчп}} = \frac{I_p}{k_{\text{п}}}, \quad (5.1)$$

где  $I_p$  – расчетный ток проводника, А;

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

Затем по справочной литературе находится сечение проводника, удовлетворяющее условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{расчп}}, \quad (5.2)$$

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

$$I_{\text{пр}} \geq I_p, \quad (5.3)$$

$$I_{\text{пр}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{расц}}, \quad (5.4)$$

где  $K_{\text{зщ}} = 1$  – поправочный коэффициент защиты;  $I_{\text{ном.а}}$  – номинальный ток уставки теплового расцепителя автомата, А (таблица 4.2, графа 5).

Выбор сечений кабельных линий для отдельных электроприемников цеха вагоноопрокидывателя приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Выбор сечений кабельных линий для отдельных электроприемников цеха вагоноопрокидывателя

№ ЭП	Расчетный ток $I_p$ , А	Номинальный ток расцепителя автомата, А	Допустимый ток кабеля, А	Сечение основной жилы $S$ , мм <sup>2</sup>	Марка, сечение кабеля
1	2	3	4	5	6
1	110,42	160	183	95	ВВГнг 4х95
2	110,42	160	183	95	ВВГнг 4х95
3	148,84	200	213	120	ВВГнг 4х120
4	15,59	20	27	4	ВВГнг 4х4
5	148,84	200	213	120	ВВГнг 4х120
6	15,59	20	27	4	ВВГнг 4х4
7	148,84	200	213	120	ВВГнг 4х120
8	15,59	20	27	4	ВВГнг 4х4
9	35,5	50	62	16	ВВГнг 4х16
10	41,5	63	81	25	ВВГнг 4х25
11	35,5	50	62	16	ВВГнг 4х16
12	98,74	125	150	70	ВВГнг 4х70
13	160,03	250	281	185	ВВГнг 4х185
14	35,5	50	62	16	ВВГнг 4х16
15	35,5	50	62	16	ВВГнг 4х16
16	35,5	50	62	16	ВВГнг 4х16

Способ прокладки кабелей, питающих СП от ТП (внешние сети цеха) – в земле, в траншее. Согласно [16] допустимо выбрать проводники из алюминия, поэтому принимаем АСБ. Это силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, с бумажной пропитанной изоляцией, свинцовой оболочкой, наружный покров из битума и пряжи. Выбор кабелей произведем в таблице 6.9, при этом токи в линиях находим по формуле (3.12), учитывая значение напряжения 0,4 кВ. Согласно ГОСТ 18410-73 кабель АСБ имеет длительно допустимые токовые нагрузки при монтаже кабеля в земле, представленные в таблице 5.2. При этом допустимый ток кабеля или присоединения (если кабели прокладываются параллельно) должен быть не меньше расчетного тока. Длина каждого кабеля до ТП составляет 30 м.

Таблица 5.2 – 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 <sup>2</sup>	Марка, сечение кабеля
1	2	3	4	5	6
СП-1	389,68	500	562	(2)х185	2АСБ 4х185
СП-2	375,79	500	562	(2)х185	2АСБ 4х185

Произведем подсчет потерь в выбранных кабельных линиях.

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

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (5.5)$$

где  $l$  - длина кабельной линии, км;  $r_{уд}$ ,  $x_{уд}$  - удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км;  $I_p$  - расчетный ток электроприемника, А.

Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{ном}}, \quad (5.6)$$

где  $U_{ном}$  - номинальное напряжение сети, В

Потеря активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_{уд} \cdot l, \quad (5.7)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_p^2 \cdot x_{уд} \cdot l, \quad (5.8)$$

где  $I_{РАБ}$  - максимальный рабочий ток электроприемника, А;  $l$  - длина кабельной линии, км;  $r_{уд}$ ,  $x_{уд}$  - удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км.

В качестве примера рассмотрим расчет потерь мощности и напряжения для 1-го электроприемника:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \cdot 110,42 \cdot 0,014 \cdot (0,326 \cdot 0,86 + 0,0602 \cdot 0,51) = 0,836 \text{ В};$$

$$\Delta U_{1,\%} = \frac{0,836}{380} \cdot 100\% = 0,22 \text{ \%};$$

$$\Delta P_1 = 3 \cdot 110,42^2 \cdot 0,326 \cdot 0,014 \cdot 10^{-3} = 0,167 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_1 = 3 \cdot 110,42^2 \cdot 0,0602 \cdot 0,014 \cdot 10^{-3} = 0,031 \text{ кВар}.$$

Результаты расчетов потерь в кабельных линиях к электроприемникам соответственно представлен в таблице 5.3. Потери мощности и напряжения в кабелях, соединяющих СП с ТП рассчитываются аналогично потерям в кабелях по формулам (5.5) – (5.8). Расчеты сведем в таблицу 5.4.

Таблица 5.3 – Расчет потерь мощности и напряжения в кабелях, питающих



отдельные электроприемники цеха вагоноопрокидывателя

№	cosφ	sinφ	L, м	I <sub>p</sub> , А	S, мм <sup>2</sup>	γ <sub>уд</sub> , Ом/км	χ <sub>уд</sub> , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,86	0,51	14	110,42	95	0,326	0,0602	0,22	0,167	0,836	0,031
2	0,86	0,51	17	110,42	95	0,326	0,0602	0,27	0,203	1,026	0,037
3	0,87	0,49	16	148,84	120	0,258	0,0602	0,28	0,274	1,064	0,064
4	0,84	0,54	11	15,59	4	7,74	0,095	0,51	0,062	1,938	0,001
5	0,87	0,49	20	148,84	120	0,258	0,0602	0,34	0,343	1,292	0,08
6	0,84	0,54	16	15,59	4	7,74	0,095	0,75	0,09	2,85	0,001
7	0,87	0,49	16	148,84	120	0,258	0,0602	0,28	0,274	1,064	0,064
8	0,84	0,54	12	15,59	4	7,74	0,095	0,56	0,068	2,128	0,001
9	0,88	0,47	8	35,5	16	1,94	0,0675	0,23	0,059	0,874	0,002
10	0,89	0,46	13	41,5	25	1,24	0,0662	0,28	0,083	1,064	0,004
11	0,88	0,47	8	35,5	16	1,94	0,0675	0,23	0,059	0,874	0,002
12	0,91	0,41	8	98,74	70	0,443	0,0612	0,15	0,104	0,57	0,014
13	0,91	0,41	7	160,03	185	0,167	0,0596	0,09	0,09	0,342	0,032
14	0,88	0,47	17	35,5	16	1,94	0,0675	0,48	0,125	1,824	0,004
15	0,88	0,47	18	35,5	16	1,94	0,0675	0,51	0,132	1,938	0,005
16	0,88	0,47	21	35,5	16	1,94	0,0675	0,59	0,154	2,242	0,005

Таблица 5.4 – Расчет потерь в кабелях, питающих СП цеха вагоноопрокидывателя

№ СП	cosφ	sinφ	L, м	I <sub>раб</sub> , А	S, мм <sup>2</sup>	γ <sub>уд</sub> , Ом/км	χ <sub>уд</sub> , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,88	0,47	30	389,68	(2)х185	0,0835	0,0298	0,47	1,141	1,786	0,407
2	0,88	0,47	30	375,79	(2)х185	0,0835	0,0298	0,45	1,061	1,71	0,379

В соответствии с расчетами п.4 производим выбор проводников для сети освещения.

Рассчитываем сечение, исходя из формулы (4.9):

$$s_1 = \frac{18,77}{3,46 \cdot 44} = 0,57 \text{ мм}^2,$$

$$s_2 = \frac{16,97}{3,46 \cdot 44} = 0,45 \text{ мм}^2.$$

Для обеспечения достаточной механической прочности выбираем се-

чение кабеля  $1,5 \text{ мм}^2$  с допустимым током  $I_{\text{доп}} = 16 \text{ А}$ .

Производим оценку потерь напряжения с учетом сечения кабеля:

$$\Delta U_1 = \frac{18,77}{44 \cdot 1,5} = 0,26 \%,$$

$$\Delta U_2 = \frac{16,97}{44 \cdot 1,5} = 0,2\%,$$

Полученные значения потерь напряжения допустимы.

Определяем сечение кабеля от щита освещения (ЩО) до ТП, используя известные нагрузки освещения, рассчитанные в п.4:

$$P_{\text{ро}} = 1,482 \text{ кВт.}$$

$$I_{\text{max}} = 3,71 \text{ А.}$$

Выбираем медный провод марки ВВГнг 4х2,5 с сечением основной жилы  $s = 2,5 \text{ мм}^2$  и допустимым током 21 А.

## 6 Расчет токов короткого замыкания

### 6.1 Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением выше 1 кВ

Рассчитаем ток короткого замыкания с учетом сопротивления внешней сети (системы и питающей линии). К схеме замещения добавляется сопротивление внешней сети, которое необходимо привести к напряжению точки КЗ, т. е. 0,4 кВ. Расчетная схема сети и ее схема замещения представлены на рисунках 6.1-6.2.

Сопротивления кабельной линии, питающей ТП 1000 кВА напряжением 6/0,4 кВ:

$$x_L = x_0 \ell_L = 0,09 \cdot 0,16 = 0,01 \text{ Ом.}$$

$$r_L = r_0 \ell_L = 0,62 \cdot 0,16 = 0,1 \text{ Ом.}$$

Сопротивление электрической системы можно определить согласно [1]. Для известен тип выключателя, который установлен для защиты отходящей линии от РУСН 6 кВ, от которой питается рассматриваемый цех: ВВЭ-10-12,5/630У2. По каталогу [11] определяем ток отключения  $I_{\text{откл}} = 12,5$  кА для этого выключателя. Сопротивление между источником питания и точкой, в которой ток и мощность короткого замыкания не превысят соответствующих параметров выключателя, определяется по формуле [8]:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_c} = \frac{6,3^2}{136,4} = 0,29 \text{ Ом,}$$

$$\text{где } S_c = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ном откл.}} \cdot U_{\text{ср.ном}} = \sqrt{3} \cdot 12,5 \cdot 6,3 = 136,4 \text{ МВА.}$$

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_c = 0,29 \text{ Ом.}$$

$$I_{K1} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma K1}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,29} = 12,5 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{уд К1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,5 = 33,1 \text{ кА.}$$

где  $k_{\text{уд}} = 1,8$  – при к.з. в сетях ВН, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния [13].

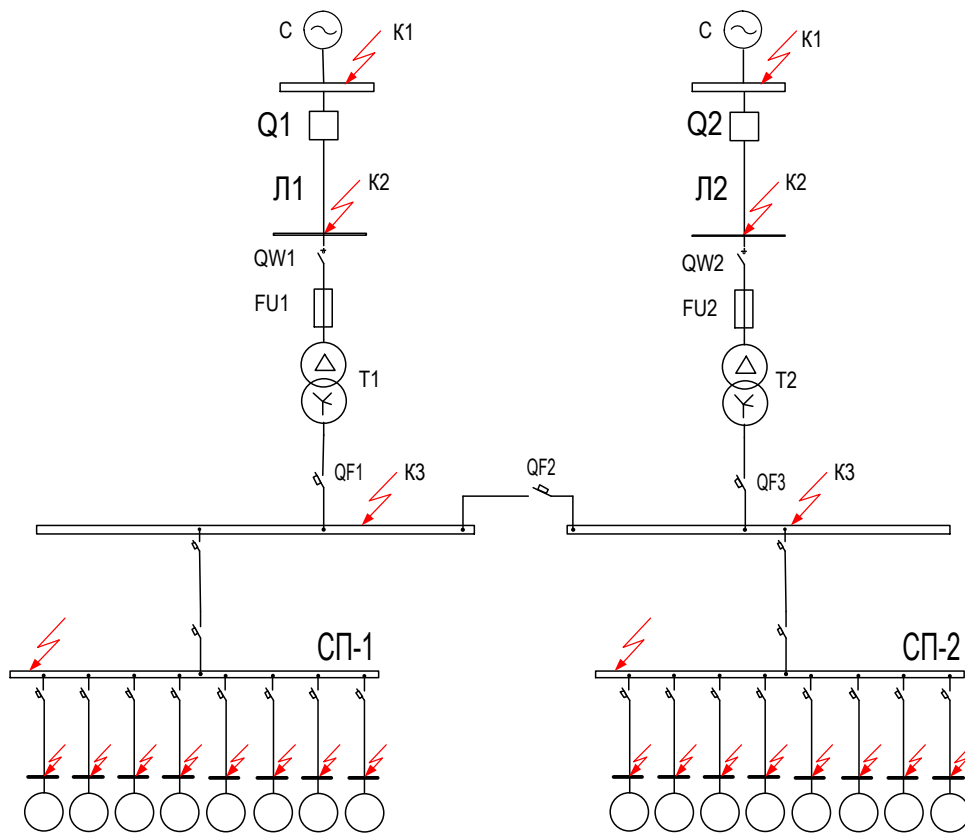


Рисунок 6.1 – Расчетная схема

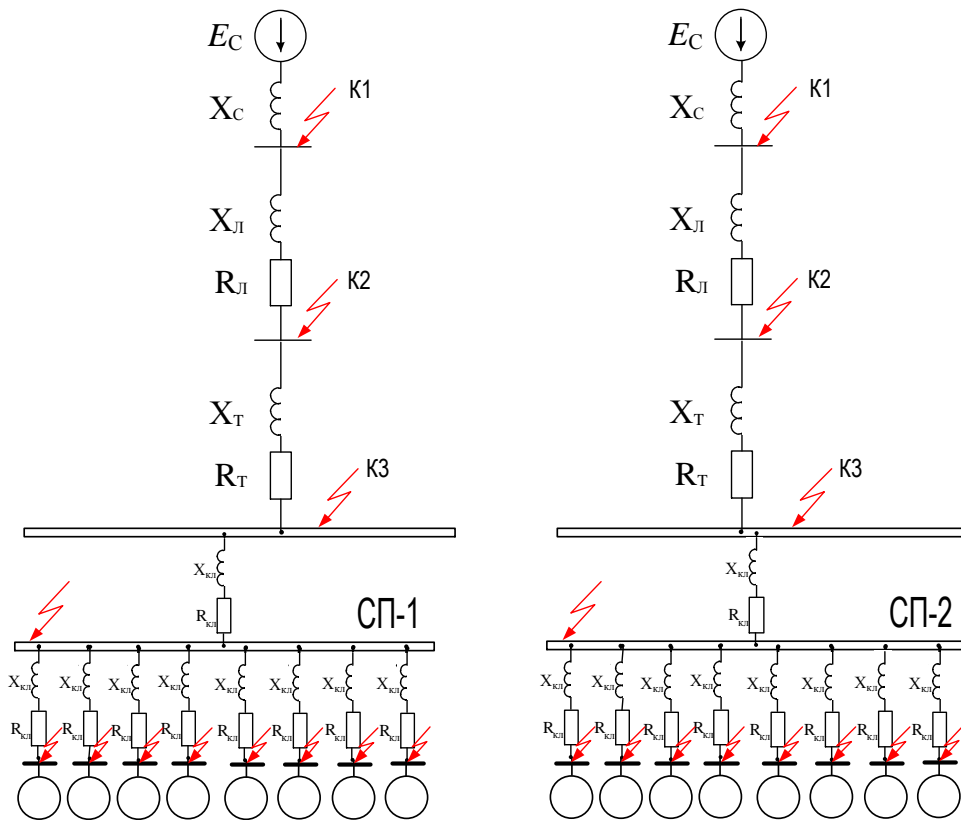


Рисунок 6.2 – Схема замещения

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_C + x_L = 0,29 + 0,01 = 0,3 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_L = 0,1 \text{ Ом.}$$

$$I_{K2} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,3^2 + 0,1^2}} = 11,5 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{уд К2}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 11,5 = 29,27 \text{ кА.}$$

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

При расчете сопротивлений приведение к одной ступени напряжения производится исходя из существующей шкалы средних номинальных напряжений. Пересчет сопротивлений производится по выражению [8; 12, с. 167]:

$$X_K = X_{\text{ном}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ср.к}}}{U_{\text{ср.ном}}} \right)^2, \quad (6.1)$$

где  $X_K$  – сопротивление (Ом), приведенное к ступени напряжения  $U_{\text{ср.к}}$ ;  $X_{\text{ном}}$  – сопротивление (Ом), заданное при напряжении  $U_{\text{ср.ном}}$ ;  $U_{\text{ср.к}}$  – среднее эксплуатационное напряжение ступени короткого замыкания, к которому пересчитываются все сопротивления сети, кВ;  $U_{\text{ср.ном}}$  – среднее эксплуатационное напряжение на ступени номинального напряжения элемента.

Приведенное сопротивление системы:

$$x_C = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_c} \cdot \left( \frac{U_{\text{ср.к}}}{U_{\text{ср.ном}}} \right)^2 = \frac{6300^2}{136,4 \cdot 10^6} \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 1,06 \text{ мОм,}$$

где  $S_c$  – мощность системы.

Приведенные сопротивления кабельной линии (между внешней сетью (системой) и трансформатором):

$$x_L = x_{\text{удЛ}} \ell_L \cdot \left( \frac{U_{\text{ср.к}}}{U_{\text{ср.ном}}} \right)^2 = 0,09 \cdot 0,16 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,06 \text{ мОм.}$$

$$r_L = r_{\text{удЛ}} \ell_L \cdot \left( \frac{U_{\text{ср.к}}}{U_{\text{ср.ном}}} \right)^2 = 0,62 \cdot 0,16 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,4 \text{ мОм.}$$

По [12, с. 167] при расчете токов КЗ в сетях рекомендуется учитывать сопротивление следующим образом: 0,02 Ом – для первичных цеховых СП, а также на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций или главных магистралей; 0,025 Ом – для вторичных цеховых СП, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных СП.

Определяем сопротивление трансформатора:

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}} \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.тр.}} \cdot 10^6; \quad (6.2)$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_{к.}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.тр.}} \cdot 10^6. \quad (6.3)$$

$$r_{mp} = \frac{12,2}{1000} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^6 = 1,95 \text{ мОм};$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{12,2}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^6 = 8,58 \text{ мОм}.$$

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

$$x_{\Sigma КЗ} = x_C + x_L + x_{mp} = 1,06 + 0,06 + 8,58 = 9,7 \text{ мОм}.$$

Суммарное активное сопротивление, кроме сопротивлений элементов системы электроснабжения высшего напряжения и трансформатора, должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этой цели в расчет вводим добавочное сопротивление, которое на шинах подстанции составляет 15 мОм:

$$r_{\Sigma КЗ} = r_{mp} + r_L + r_{доб} = 1,95 + 0,4 + 15 = 17,35 \text{ мОм}.$$

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

$$I_{КЗ} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma КЗ}^2 + r_{\Sigma КЗ}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{9,7^2 + 17,35^2}} = 11,62 \text{ кА}.$$

$$i_{вд КЗ} = \sqrt{2} \cdot k_{вд} \cdot I_{КЗ}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 6,29 = 8,9 \text{ кА}.$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К4.

$$x_{\Sigma К4} = x_{\Sigma КЗ} + x_{КЛ СП-1} \cdot l = 9,7 + 0,0298 \cdot 30 = 10,594 \text{ мОм},$$

$$r_{\Sigma К4} = r_{\Sigma КЗ} + r_{КЛ СП-1} \cdot l + r_{доб перв} = 17,35 + 0,0835 \cdot 30 + 5 = 24,855 \text{ мОм}.$$

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

$$I_{K4} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10,594^2 + 24,855^2}} = 8,547 \text{ кА,}$$

$$i_{y\delta K4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 8,547 = 12,087 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К5.

$$x_{\Sigma K5} = x_{\Sigma K4} + x_{\text{КЛуд}} \cdot l = 10,594 + 0,0602 \cdot 14 = 11,437 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma K5} = r_{\Sigma K4} + r_{\text{КЛуд}} \cdot l + r_{\text{доб втор}} = 24,855 + 0,326 \cdot 14 + 5 = 34,419 \text{ мОм,}$$

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

$$I_{K5} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K5}^2 + r_{\Sigma K5}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{11,437^2 + 34,419^2}} = 6,367 \text{ кА,}$$

$$i_{y\delta K5} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{K5}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 6,367 = 9,004 \text{ кА.}$$

Для остальных точек расчет аналогичен (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Расчет токов короткого замыкания

Точка КЗ	Кабель между СП и электроприемником №:			Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	г <sub>0</sub> , Ом/км	х <sub>0</sub> , Ом/км	Точка КЗ	R <sub>кл</sub> , мОм	X <sub>кл</sub> , мОм	R <sub>доб.</sub> , мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	I <sub>кз</sub> , кА	Ky	i <sub>уд</sub> , кА
1	2			3	4	5	6	7	1	8	9	10	11	12	13	14	15	16
К4	СП-1	-	Шины НН КТП	17,35	9,7	30	0,0835	0,0298	К4	2,505	0,894	20	24,855	10,594	27,019	8,547	1	12,087
К5	СП-1	-	1	24,855	10,594	14	0,326	0,0602	К5	4,564	0,843	25	34,419	11,437	36,269	6,367	1	9,004
К6	СП-1	-	12	24,855	10,594	8	0,443	0,0612	К6	3,544	0,490	25	33,399	11,084	35,190	6,563	1	9,281
К7	СП-1	-	15	24,855	10,594	18	1,94	0,0675	К7	34,920	1,215	25	64,775	11,809	65,843	3,507	1	4,960
К8	СП-1	-	3	24,855	10,594	16	0,258	0,0602	К8	4,128	0,963	25	33,983	11,557	35,894	6,434	1	9,099
К9	СП-1	-	4	24,855	10,594	11	7,74	0,095	К9	85,140	1,045	25	114,995	11,639	115,583	1,998	1	2,826
К10	СП-1	-	9	24,855	10,594	8	1,94	0,0675	К10	15,520	0,540	25	45,375	11,134	46,721	4,943	1	6,990
К11	СП-1	-	5	24,855	10,594	20	0,258	0,0602	К11	5,160	1,204	25	35,015	11,798	36,949	6,250	1	8,839
К12	СП-1	-	6	24,855	10,594	16	7,74	0,095	К12	123,840	1,520	25	153,695	12,114	154,172	1,498	1	2,118
К13	СП-2	-	Шины НН КТП	17,35	9,7	30	0,0835	0,0298	К13	2,505	0,894	20	24,855	10,594	27,019	8,547	1	12,087
К14	СП-2	-	7	24,855	10,594	16	0,258	0,0602	К14	4,128	0,963	25	33,983	11,557	35,894	6,434	1	9,099
К15	СП-2	-	8	24,855	10,594	12	7,74	0,095	К15	92,880	1,140	25	122,735	11,734	123,295	1,873	1	2,649
К16	СП-2	-	10	24,855	10,594	13	1,24	0,0662	К16	16,120	0,861	25	45,975	11,455	47,380	4,874	1	6,893
К17	СП-2	-	11	24,855	10,594	8	1,94	0,0675	К17	15,520	0,540	25	45,375	11,134	46,721	4,943	1	6,990
К18	СП-2	-	13	24,855	10,594	7	0,167	0,0596	К18	1,169	0,417	25	31,024	11,011	32,920	7,015	1	9,921
К19	СП-2	-	2	24,855	10,594	17	0,326	0,0602	К19	5,542	1,023	25	35,397	11,617	37,255	6,199	1	8,767
К20	СП-2	-	14	24,855	10,594	17	1,94	0,0675	К20	32,980	1,148	25	62,835	11,742	63,923	3,613	1	5,110
К21	СП-2	-	16	24,855	10,594	21	1,94	0,0675	К21	40,740	1,418	25	70,595	12,012	71,610	3,225	1	4,561



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

Для расчета токов однофазного к.з. по [7] рекомендуется следующая упрощенная формула:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{II}}, \quad (6.4)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение сети;  $Z_T/3$  – сопротивление силового трансформатора при однофазном замыкании на корпус;  $Z_{II}$  – полное сопротивление петли прямого и обратного провода линии или кабеля.

Полное сопротивление петли «фазный - нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_d + R_n + R_{TT} + R_A)^2 + (X' + X'' + X_c + X_{TT} + X_A)^2}, \quad (6.5)$$

где  $R_{\phi}$ ,  $R_n$  – суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов всех участков рассчитываемой цепочки (ТП - ЭП - ТП).

$R_d$  - сопротивление дуги в точке КЗ принимается равным 0,03 Ом;

$R_{TT}$ ,  $X_{TT}$  – активное и индуктивное сопротивление трансформатора тока:

$R_{TT} = 0,00015$  Ом;  $X_{TT} = 0,00021$  Ом;

$R_A$ ,  $X_A$  - активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей [13, таблица 1.9.3, с. 61];

$X_c$  - сопротивление питающей системы, принимается равным ранее рассчитанному приведенному сопротивлению системы  $x_c$ ;  $X'$  - внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, принимается равным 0,6 Ом/км;  $X''$  - внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления (учитывается только для проводов, выполненных из стали).

Выполним расчет тока однофазного короткого замыкания для СП-1:

По [13, таблица 1.9.1, с. 61] определяем полное сопротивление выбранного в п.12 трансформатора:

$$Z_T = 81 \text{ мОм} = 0,81 \text{ Ом (при мощности 1000 кВА)}.$$

Полное сопротивление петли «фазный – нулевой провод»:

$$\begin{aligned} Z_n &= \sqrt{(30 \cdot 0,0835 + 30 + 30 \cdot 0,0835 + 0,15 + 0,37)^2 + (0,6 \cdot 30 + 1,06 + 0,21 + 0,13)^2} = \\ &= 40,481 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

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

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_T / 3 + Z_{II}} = \frac{400 / \sqrt{3}}{0,081 / 3 + 0,040481} = 3422,3 \text{ A.}$$

Расчет однофазных коротких замыканий на шинах каждого СП производится аналогичным образом. Для отдельных электроприемников расчет однофазного короткого замыкания делается с учетом сопротивлений на СП. Расчеты сведем в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Расчет токов однофазного к.з.

Номер СП или ЭП	Сопротивление трансформатора однофазному к.з., Z <sub>T</sub> , мОм	Длина провода или кабеля, м	Сопротивления фазного, нулевого провода, Ом/км	Сопротивление дуги R <sub>д</sub> , мОм	Сопротивление первичной обмотки ТТ, R <sub>ТТ</sub> , мОм	Активное сопротивление автомата, мОм	Внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом/км	Сопротивление питающей системы, мОм	Индуктивное сопротивление первичной обмотки ТТ, X <sub>ТТ</sub> , мОм	Индуктивное сопротивление автомата, мОм	Результирующее активное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм	Результирующее реактивное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм	Результирующее полное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм	Ток однофазного к.з., А
СП-1	81	30	0,0835	30	0,15	0,37	0,6	1,06	0,21	0,13	35,53	19,4	40,481	3422,3
1	81	14	0,326	30		15	0,6			1,4	54,13	9,8	55,01	2816
12	81	8	0,443	30		7	0,6			2,05	44,09	6,85	44,619	3224,56
15	81	18	1,94	30		6	0,6			6,8	105,84	17,6	107,293	1719,67
3	81	16	0,258	30		15	0,6			1	53,26	10,6	54,305	2840,42
4	81	11	7,74	30		3	0,6			15	203,28	21,6	204,424	997,91
9	81	8	1,94	30		6	0,6			6,8	67,04	11,6	68,036	2430,03
5	81	20	0,258	30		15	0,6			1	55,32	13	56,827	2754,96
6	81	16	7,74	30		3	0,6			15	280,68	24,6	281,756	747,97
СП-2	81	30	0,0835	30	0,15	0,37	0,6	1,06	0,21	0,13	35,53	19,4	40,481	3422,3
7	81	16	0,258	30		15	0,6			1	53,26	10,6	54,305	2840,42
8	81	12	7,74	30		3	0,6			15	218,76	22,2	219,884	935,42
10	81	13	1,24	30		6	0,6			3,4	68,24	11,2	69,153	2401,8
11	81	8	1,94	30		6	0,6			6,8	67,04	11,6	68,036	2430,03
13	81	7	0,167	30		15	0,6			0,74	47,34	4,94	47,597	3095,84
2	81	17	0,326	30		15	0,6			1,4	56,08	11,6	57,267	2740,58
14	81	17	1,94	30		6	0,6			6,8	101,96	17	103,368	1771,45
16	81	21	1,94	30		6	0,6			6,8	117,48	19,4	119,071	1581,01

## 6.4 Проверка элементов цеховой сети

Проверка на отключающую способность автоматических выключателей осуществляется по выражению:

$$I_{\text{отклном}} \geq I_{\text{кзмах}} \cdot \quad (6.6)$$

Проверка автоматических выключателей производится в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Проверка автоматических выключателей

Место установки (СП или № ЭП)	Тип автоматического выключателя	Предельная отключающая способность, кА	Номер точки к.з.	$I_{\text{кз}}^{(3)}$ , кА
1	2	3	4	5
Автомат защиты ЩО	ВА 47-29	15	К3	11,62
Автомат защиты СП-1	ВА 51-39	35	К4	8,547
Автомат защиты ЭП 1	ВА 51-35	15	К5	6,367
Автомат защиты ЭП 12	ВА 51-31	7	К6	6,563
Автомат защиты ЭП 15	ВА 51-31	6	К7	3,507
Автомат защиты ЭП 3	ВА 51-35	15	К8	6,434
Автомат защиты ЭП 4	ВА 51-25	3	К9	1,998
Автомат защиты ЭП 9	ВА 51-31	6	К10	4,943
Автомат защиты ЭП 5	ВА 51-35	15	К11	6,25
Автомат защиты ЭП 6	ВА 51-25	3	К12	1,498
Автомат защиты СП-2	ВА 51-39	35	К13	8,547
Автомат защиты ЭП 7	ВА 51-35	15	К14	6,434
Автомат защиты ЭП 8	ВА 51-25	3	К15	1,873
Автомат защиты ЭП 10	ВА 51-31	6	К16	4,874
Автомат защиты ЭП 11	ВА 51-31	6	К17	4,943
Автомат защиты ЭП 13	ВА 51-35	15	К18	7,015
Автомат защиты ЭП 2	ВА 51-35	15	К19	6,199
Автомат защиты ЭП 14	ВА 51-31	6	К20	3,613
Автомат защиты ЭП 16	ВА 51-31	6	К21	3,225

Так, как  $I_{\text{отклном}} > I_{\text{к}}^{(3)}$ , кА, то все автоматы выбраны правильно, и подхо-

дят по отключающей способности к токам к.з.

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

$$\frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{рц.ном}}} \geq 3. \quad (6.7)$$

(для автоматов с обратозависимой характеристикой). Проверим данное условие для всех автоматов (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ

Место установки (КТП, СП или ЭП)	Номер точки КЗ	Тип выключателя	$I_{\text{рц.ном}}$ , А	$I_{\text{кз(1)}}$ , А	$I_{\text{кз(1)}}/I_{\text{рц.ном}}$
1	2	3	4	5	6
Автомат защиты ШО	К3	ВА 47-29	25	10458	418,32
Автомат защиты СП-1	К4	ВА 51-39	630	3422,3	5,43
Автомат защиты ЭП 1	К5	ВА 51-35	160	2816	17,6
Автомат защиты ЭП 12	К6	ВА 51-31	125	3224,56	25,8
Автомат защиты ЭП 15	К7	ВА 51-31	50	1719,67	34,39
Автомат защиты ЭП 3	К8	ВА 51-35	200	2840,42	14,2
Автомат защиты ЭП 4	К9	ВА 51-25	20	997,91	49,9
Автомат защиты ЭП 9	К10	ВА 51-31	50	2430,03	48,6
Автомат защиты ЭП 5	К11	ВА 51-35	200	2754,96	13,77
Автомат защиты ЭП 6	К12	ВА 51-25	20	747,97	37,4
Автомат защиты СП-2	К13	ВА 51-39	630	3422,3	5,43
Автомат защиты ЭП 7	К14	ВА 51-35	200	2840,42	14,2
Автомат защиты ЭП 8	К15	ВА 51-25	20	935,42	46,77
Автомат защиты ЭП 10	К16	ВА 51-31	63	2401,8	38,12
Автомат защиты ЭП 11	К17	ВА 51-31	50	2430,03	48,6
Автомат защиты ЭП 13	К18	ВА 51-35	250	3095,84	12,38
Автомат защиты ЭП 2	К19	ВА 51-35	160	2740,58	17,13
Автомат защиты ЭП 14	К20	ВА 51-31	50	1771,45	35,43
Автомат защиты ЭП 16	К21	ВА 51-31	50	1581,01	31,62

Условие чувствительности автоматов выполняется.

## 7 Проверка сети по допустимым отклонениям напряжения

Наиболее наглядно анализ качества напряжения отражается эapurой отклонения напряжения. Общее отклонение напряжения характеризуется исходной схемой электроснабжения. Величина напряжения на источнике питания за счет встречного регулирования напряжения в зависимости от режима работы следующая:

в максимальном режиме  $1,05U_{\text{НОМ}}$

в минимальном режиме  $U_{\text{НОМ}}$

На цеховых трансформаторных подстанциях устанавливают трансформаторы, которые имеют устройства ПБВ с пределом регулирования  $\pm 2 \times 2,5\%$ .

Расчет будем производить:

1. Для самого мощного электроприемника (ЭП № 13, от СП-2);
2. Для самого удаленного (ЭП № 16, от СП-2).

Величина отклонения напряжения рассчитывается по формуле:

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

Потери в питающей линии определяются выражением:

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

Потери в трансформаторе КТП определяются выражением:

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

где  $\beta$  – коэффициент загрузки,  $U_a, U_p$  – соответственно активная и реактивная составляющие напряжение короткого замыкания:

$$U_p = \sqrt{U_{\text{К}}^2 - U_a^2},$$

$$U_a = \Delta P_{\text{К.З.}} / S_{\text{НОМ.тр.}} \cdot 100.$$

Оценка качества напряжения для самого мощного электроприемника.

При расчетах используем данные из предыдущих расчетов.

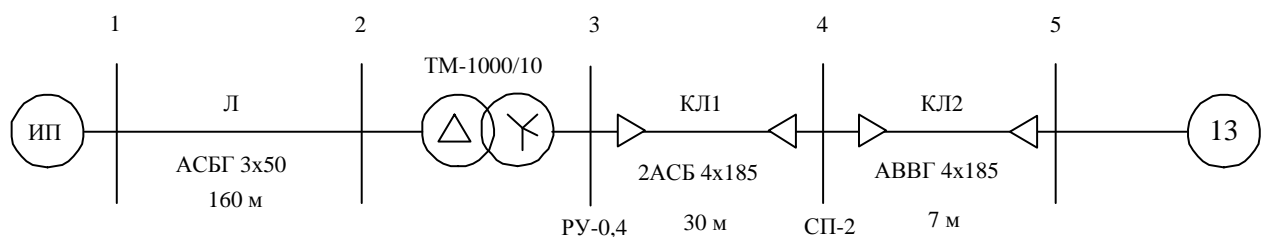


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

Максимальный режим.

$U_{\text{ном}} = 6300 \text{ В}$  – напряжение источника питания в максимальном режиме (на шинах РУСН 6 кВ).

Максимальный режим.

Потери напряжения в высоковольтной линии Л, питающей один трансформатор, определены в процентах по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) \cdot 100\%}{U_{\text{ном}}}. \quad (7.1)$$

где  $l$  – длина линии, км;  $r_{\text{уд}}$ ,  $x_{\text{уд}}$  – удельное активное и реактивное сопротивление провода, Ом/км;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети, В;  $I_p$  – расчетный ток электроприемника, А.

Удельное активное и индуктивное сопротивления провода при напряжении 6 кВ определяются согласно [12, с. 54].

Таким образом, потери напряжения в питающей линии:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 31.54 \cdot 0.16 \cdot (0.62 \cdot 0.93 + 0.09 \cdot 0.37) \cdot 100\%}{6000} = 0.09.$$

Тогда в вольтах это отклонение составит:

$$\Delta U_{\text{Л}} = 0,09 \cdot 6000/100 = 5,4 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения относительно номинального в линии Л:

$$V = \frac{(6300 - 5,4) - 6000}{6000} \cdot 100\% = 4,91\%.$$

тогда напряжение в конце линии Л составит:

$$U_2 = 6300 - 5,4 = 6294,6 \text{ В}.$$

Вычислим потери напряжения в трансформаторе.

$$\Delta P_{\text{к.з.}} = 12,2 \text{ кВт}; S_{\text{ном.тр.}} = 1000 \text{ кВА}.$$

$$U_a = \Delta P_{\text{к.з.}} / S_{\text{ном.тр.}} \cdot 100 = 12,2 / 1000 \cdot 100 = 1,22 \%$$

$$U_k = 5,5\%,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36 \%$$

Мощность третьего уровня:

$$S_{III} = 1060,74 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{III}}{2S_{\text{ном.тр}}} = \frac{1060,74}{2 \cdot 1000} = 0,53.$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) = \\ = 0,53 \cdot (1,22 \cdot 0,93 + 5,36 \cdot 0,37) = 1,65 \text{ \%}.$$

$$\Delta U_{\text{тр1}} = \Delta U_{\text{тр}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{100} = 1,65 \cdot \frac{6300}{100} = 99 \text{ В.}$$

Напряжение на шинах НН трансформатора, приведенное к ВН:

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{\text{тр1}} = 6294,6 - 99 = 6195,6 \text{ В.}$$

Коэффициент трансформации:

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

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

$$U_{2\text{НН}} = 6195,6 \cdot 0,038 = 392,39 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения относительно номинального:

$$V_3 = \frac{U_{2\text{НН}} - U_{\text{ном НН}}}{U_{\text{ном НН}}} \cdot 100 = \frac{392,39 - 380}{380} \cdot 100 = 3,26 \text{ \%}.$$

Потеря напряжения в линии КЛ1, соединяющем РУ-0,4 и СП-2 (таблица 5.4):

$$\Delta U_{3-4} = 1,71 \text{ В.}$$

Напряжение в конце кабеля КЛ1, у СП-2:

$$U_4 = U_{2\text{НН}} - \Delta U_{3-4} = 392,39 - 1,71 = 390,68 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения в конце кабеля относительно номинального:

$$V_4 = \frac{390,68 - 380}{380} \cdot 100 = 2,81 \text{ \%}.$$

Потери напряжения в линии КЛ2 от СП-2 до ЭП №13 (таблица 5.3):

$$\Delta U_{4-5} = 0,34 \text{ В.}$$

Напряжение в месте присоединения линии КЛ2, питающего ЭП №13:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{4-5} = 390,68 - 0,34 = 390,34 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения в конце кабеля относительно номинального:

$$V_5 = \frac{390,34 - 380}{380} \cdot 100 = 2,72 \text{ \%}.$$

2,72% < 10%. Условие выполняется, потери допустимы.

Расчеты для минимального и послеаварийного режимов для самого мощного электроприемника аналогичны (таблица 7.1). Нагрузка в минимальном режиме принята равной 70% от нагрузки максимального режима, послеаварийный режим подразумевает выход из строя одного из трансформаторов. Все необходимые параметры для расчета представлены в таблице 7.1.

Оценка качества напряжения для самого удаленного электроприемника.

При расчетах используем данные из предыдущих расчетов.

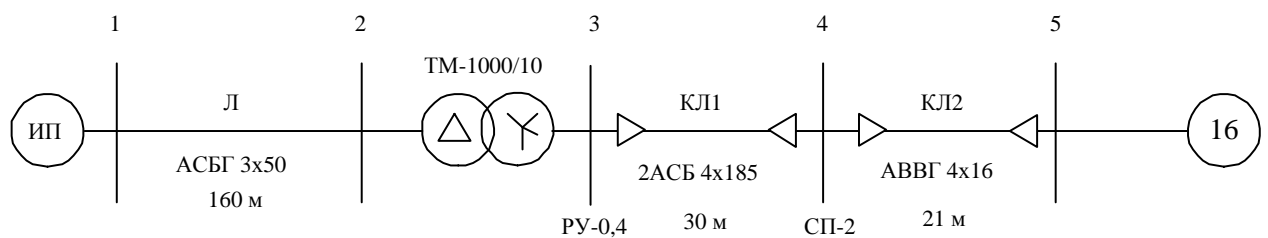


Рисунок 7.2 – Расчетная схема

Расчеты для трех режимов для самого удаленного электроприемника аналогичны (таблица 7.2). Нагрузка в минимальном режиме принята равной 70% от нагрузки максимального режима, послеаварийный режим подразумевает выход из строя одного из трансформаторов.

Все необходимые параметры для расчета представлены в таблице 7.2.

Эпюры отклонений напряжения для мощного ЭП и удаленно ЭП представлены на рисунках 7.3-7.4 соответственно.



Таблица 7.1 – Анализ качества напряжения (расчет отклонений напряжения) для самого мощного электроприемника

Режим	Участок	cosφ	sinφ	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>p</sub> , А				ΔU, %	ΔU, В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Максимальный режим	1-2	0,93	0,37	0,16	0,62	0,09	31,54				0,09	5,4	6294,6		4,91
	Участок	cos (φ)	sin (φ)	Kз(β)	ΔPк.з., кВт	S <sub>III</sub> , кВА	Ст.ном, кВА	Ua, %	Uк, %	Up, %	ΔU, %	ΔU, В	Uвн, В	Uнн, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,53	12,2	530,37	1000	1,22	5,5	5,36	1,65	99	6195,6	392,39	3,26
	Участок	cosφ	sinφ	I, А	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км				ΔU, %	ΔU, В	U, В		
	3-4	0,88	0,47	375,79	0,03	0,0835	0,0298				0,45	1,71	390,68		2,81
	4-5	0,91	0,41	160,03	0,007	0,167	0,0596				0,09	0,34	390,34		2,72
Режим	Участок	cosφ	sinφ	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>p</sub> , А				ΔU, %	ΔU, В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Минимальный режим	1-2	0,93	0,37	0,16	0,62	0,4	22,078				0,063	3,97	5996,03		-0,063
	Участок	cos (φ)	sin (φ)	Kз(β)	ΔPк.з., кВт	S <sub>III</sub> , кВА	Ст.ном, кВА	Ua, %	Uк, %	Up, %	ΔU, %	ΔU, В	Uвн, В	Uнн, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,37	12,2	371,26	1000	1,22	5,5	5,36	1,15	69	5927,03	375,38	-1,22
	Участок	cosφ	sinφ	I, А	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км				ΔU, %	ΔU, В	U, В		
	3-4	0,88	0,47	375,79	0,03	0,0835	0,0298				0,315	1,197	374,183		-1,53
	4-5	0,91	0,41	160,03	0,007	0,167	0,0596				0,063	0,238	373,945		-1,59
Режим	Участок	cosφ	sinφ	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>p</sub> , А				ΔU, %	ΔU, В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Последварийный режим	1-2	0,93	0,37	0,16	0,62	0,4	63,08				0,18	11,34	6288,66		4,82
	Участок	cos (φ)	sin (φ)	Kз(β)	ΔPк.з., кВт	S <sub>III</sub> , кВА	Ст.ном, кВА	Ua, %	Uк, %	Up, %	ΔU, %	ΔU, В	Uвн, В	Uнн, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	1,06	12,2	1060,74	1000	1,22	5,5	5,36	3,3	198	6090,66	385,74	1,51
	Участок	cosφ	sinφ	I, А	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км				ΔU, %	ΔU, В	U, В		
	3-4	0,88	0,47	375,79	0,03	0,0835	0,0298				0,45	1,71	384,03		1,06
	4-5	0,91	0,41	160,03	0,007	0,167	0,0596				0,09	0,34	383,69		0,97

Таблица 7.2 – Анализ качества напряжения (расчет отклонений напряжения) для самого удаленного электроприемника

Режим	Участок	cosφ	sinφ	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>p</sub> , А				ΔU, %	ΔU, В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Максимальный режим	1-2	0,93	0,37	0,16	0,62	0,09	31,54				0,09	5,4	6294,6		4,91
	Участок	cos (φ)	sin (φ)	Kз(β)	ΔРк.з., кВт	S <sub>III</sub> , кВА	Ст.ном., кВА	U <sub>a</sub> , %	U <sub>к</sub> , %	U <sub>p</sub> , %	ΔU, %	ΔU, В	U <sub>вн</sub> , В	U <sub>нн</sub> , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,53	12,2	530,37	1000	1,22	5,5	5,36	1,65	99	6195,6	392,39	3,26
	Участок	cosφ	sinφ	I, А	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км				ΔU, %	ΔU, В	U, В		
	3-4	0,88	0,47	375,79	0,03	0,0835	0,0298				0,45	1,71	390,68		2,81
4-5	0,88	0,47	35,5	0,021	1,94	0,0675				0,59	2,24	388,44		2,22	
Режим	Участок	cosφ	sinφ	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>p</sub> , А				ΔU, %	ΔU, В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Минимальный режим	1-2	0,93	0,37	0,16	0,62	0,09	22,078				0,063	3,78	5996,22		-0,063
	Участок	cos (φ)	sin (φ)	Kз(β)	ΔРк.з., кВт	S <sub>III</sub> , кВА	Ст.ном., кВА	U <sub>a</sub> , %	U <sub>к</sub> , %	U <sub>p</sub> , %	ΔU, %	ΔU, В	U <sub>вн</sub> , В	U <sub>нн</sub> , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	0,37	12,2	371,26	1000	1,22	5,5	5,36	1,15	69	5927,22	375,39	-1,21
	Участок	cosφ	sinφ	I, А	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км				ΔU, %	ΔU, В	U, В		
	3-4	0,88	0,47	375,79	0,03	0,0835	0,0298				0,315	1,197	374,193		-1,53
4-5	0,88	0,47	35,5	0,021	1,94	0,0675				0,413	1,568	372,625		-1,94	
Режим	Участок	cosφ	sinφ	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	I <sub>p</sub> , А				ΔU, %	ΔU, В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Послеаварийный режим	1-2	0,93	0,37	0,16	0,62	0,09	63,08				0,18	11,34	6288,66		4,82
	Участок	cos (φ)	sin (φ)	Kз(β)	ΔРк.з., кВт	S <sub>III</sub> , кВА	Ст.ном., кВА	U <sub>a</sub> , %	U <sub>к</sub> , %	U <sub>p</sub> , %	ΔU, %	ΔU, В	U <sub>вн</sub> , В	U <sub>нн</sub> , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,93	0,37	1,06	12,2	1060,74	1000	1,22	5,5	5,36	3,3	198	6090,66	385,74	1,51
	Участок	cosφ	sinφ	I, А	l, км	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км				ΔU, %	ΔU, В	U, В		
	3-4	0,88	0,47	375,79	0,03	0,0835	0,0298				0,45	1,71	384,03		1,06
4-5	0,88	0,47	35,5	0,021	1,94	0,0675				0,59	2,24	381,79		0,47	

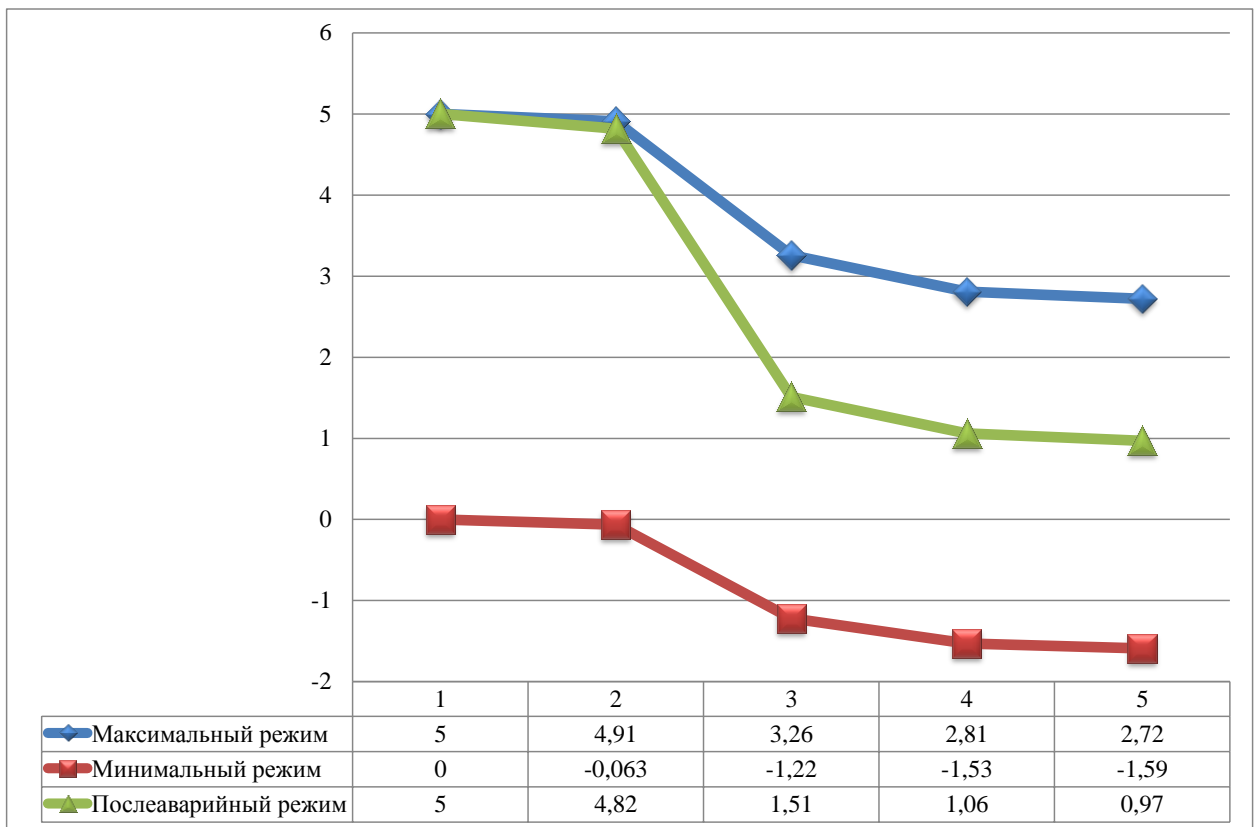


Рисунок 7.3 – Эпюры отклонений напряжения для мощного ЭП

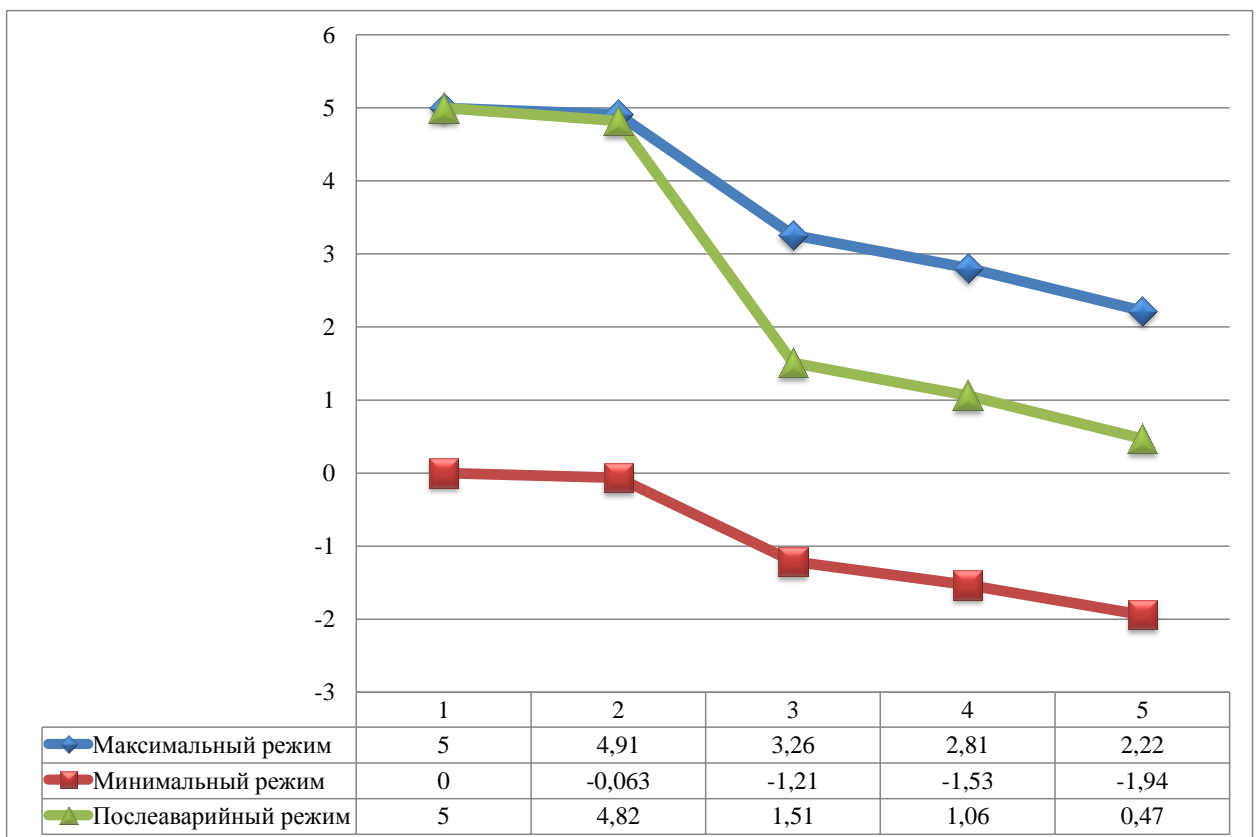


Рисунок 7.4 – Эпюры отклонений напряжения для удаленного ЭП

Отклонения у электроприемников не превышают установленных норм.

## 8 Расчет заземления и молниезащиты

### 8.1 Расчет молниезащиты цеха

Цех вагоноопрокидывателя является отдельно стоящим сооружением, поэтому его необходимо защитить молниеотводами.

Двойной стержневой молниеотвод имеет объединенную зону защиты двух одиночных стержневых молниеотводов, рисунок 8.1 [13], где  $h_1 = h_2 = 15$  м.

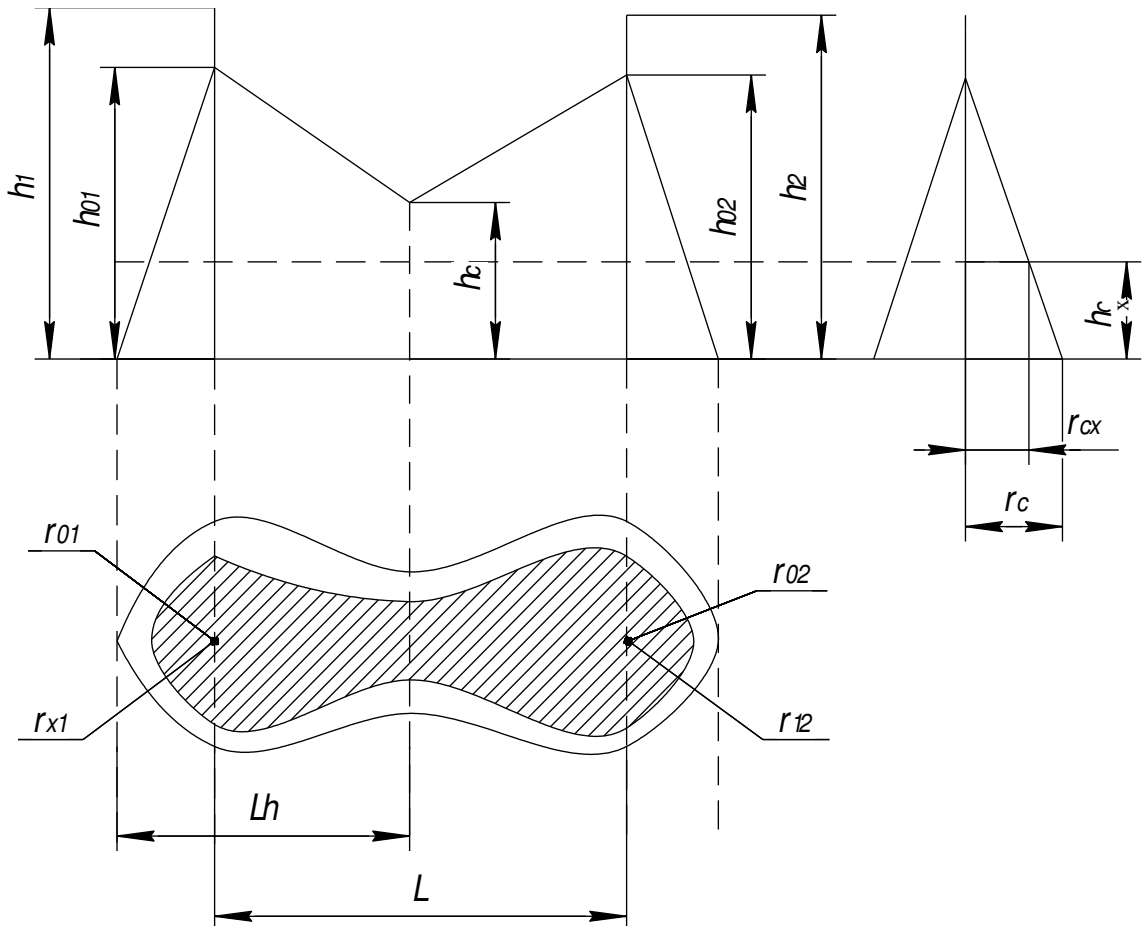


Рисунок 8.1 – Двойной стержневой молниеотвод

Для двойных стержневых молниеотводов в данном случае рассчитывается наиболее надежная зона Б [13]:

при  $h \leq L \leq 6h$  или  $15 \leq 30 \leq 90$  м.

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 20 = 18,4 \text{ м};$$

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h) = 18,4 - 0,14(30 - 20) = 17 \text{ м};$$

$$r_c = r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 20 = 30 \text{ м};$$

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,1 \cdot h_x) = 1,5 \cdot (20 - 1,1 \cdot 10) = 13,5 \text{ м};$$

$$r_{cx} = \frac{r_0 \cdot (h_c - h_x)}{h_c} = \frac{30 \cdot (17 - 10)}{17} = 12,4 \text{ м.}$$

Объект высотой в 10 м полностью входит в зону действия молниеотвода на уровне  $h_x = 10$  м, а зона Б защиты двойного стержневого молниеотвода представлена на рисунке 8.2.

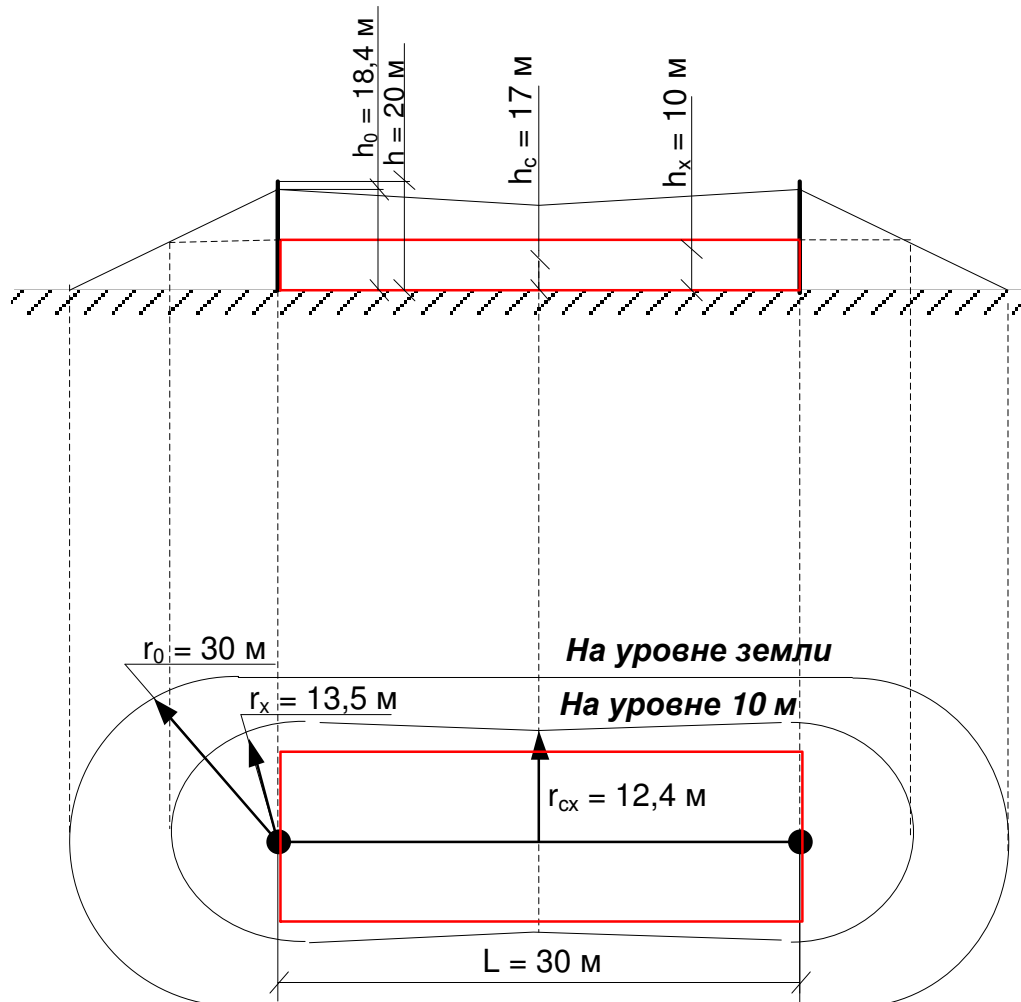


Рисунок 2 – Зона Б защиты двойного стержневого молниеотвода

## 8.2 Расчет заземления цеха

Климатическая зона для расчета заземляющего устройства (ЗУ) – III, глубина заложения горизонтального заземлителя  $b=0.3 \div 0.8$  м.

1) Определяется расчётное сопротивление одного электрода

$$r_г = 0,3 \cdot \rho \cdot \kappa_{сез.б},$$

$$r_г = 0,3 \cdot 300 \cdot 1,7 = 153 \text{ Ом.}$$

2) Определяем предельные сопротивления совмещённого ЗУ

На ВН

$$I_3 = \frac{U_{Л} \cdot L_{КЛ}}{350}, A,$$

$$I_3 = \frac{6 \cdot 60}{350} = 1,14 A,$$

$$R_{з\gamma} \leq \frac{125}{I_3}, Ом,$$

$$R_{з\gamma} \leq \frac{125}{1,14} = 109,65 Ом,$$

По ПУЭ необходимо 4 Ом.

Выбирается наименьшее сопротивление  $R_{з\gamma} = 4 Ом$ .

Но т.к.  $\rho > 100$ , то для расчета принимается

$$R_{з\gamma} \leq 4 \frac{\rho}{100} = 4 \cdot \frac{300}{100} = 12 Ом.$$

3) Расчётное удельное сопротивление грунта

$$\rho_p = \kappa_{сез} \cdot \rho,$$

$$\rho_p = 1,5 \cdot 300 = 450 Ом.$$

4) Сопротивление горизонтального электрода

$$r_{Г} = \frac{0,4 \cdot \rho_p}{L_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_n^2}{b \cdot t}, Ом,$$

$$r_{Г} = \frac{0,4 \cdot 450}{0,04} \cdot \lg \frac{2 \cdot 0,04^2}{0,004 \cdot 0,6} = 562,2 Ом$$

$$r_B = 0,3 \cdot \rho_p, Ом,$$

$$r_B = 0,3 \cdot 450 = 135 Ом.$$

Коэффициент  $\eta$  зависит от типа ЗУ, вида заземлителя,

$$\eta = \frac{a}{L}; N_B,$$

где  $a$  – расстояние между вертикальными заземлителями;  
 $L$  – длина вертикального заземлителя;

$N_B$  – число вертикальных заземлителей.

$$N_{BP} = \frac{r_B}{R_{3y}}, \text{шт.},$$

Без учета экранирования

$$N_{BP} = \frac{135}{12} = 11,25 \text{ шт.}, \text{ принимаем } 12 \text{ шт.}$$

С учетом экранирования:

$$N_{BP} = \frac{12}{0,43} = 27,9 \text{ шт.}, \text{ принимаем } 28 \text{ шт.}$$

Определяем по табл.1.13.5 [8] значения коэффициентов  $\eta_B = 0,43$ ,  $\eta_\Gamma = 0,31$ .

Сопротивления горизонтального и вертикального электрода с учётом коэффициента использования  $\eta_\Gamma, \eta_B$  вертикальных и горизонтальных электродов.

$$R_B = \frac{r_B}{\eta_B}, \text{ Ом.},$$

$$R_\Gamma = \frac{r_\Gamma}{\eta_\Gamma}, \text{ Ом.},$$

$$R_B = \frac{135}{0,43} = 313,95 \text{ Ом.},$$

$$R_\Gamma = \frac{562,2}{0,31} = 1813,55 \text{ Ом.},$$

Определяем уточненное значение сопротивления

$$R_{3y} = \frac{R_B R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma} = \frac{313,95 * 1813,55}{313,95 + 1813,55} = 267,62 \text{ Ом.}$$

Для равномерного распределения электродов окончательно принимается число электродов 28.

Вычисляем параметры ЗУ:

$$S = A \times B = 30 \cdot 12 = 360 \text{ м}^2;$$

$$L_r = a(N_B - 1) = 2,5 \cdot (28 - 1) = 67,5 \text{ м.}$$

Определяем уточнённые значения горизонтальных и вертикальных электродов

$$R_\Gamma = \frac{0,4}{L_r \cdot \eta_\Gamma} \cdot \rho \cdot \kappa_{\text{сез}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_r}{b \cdot t}, \text{ Ом,}$$

$$R_\Gamma = \frac{0,4}{67,5 \cdot 0,31} \cdot 450 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{2 \cdot 67,5}{0,004 \cdot 0,6} = 94 \text{ Ом;}$$

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \cdot \eta_B}, \text{ Ом,}$$

$$R_B = \frac{135}{28 \cdot 0,43} = 11,2 \text{ Ом,}$$

$$R_{\text{зф}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \text{ Ом,}$$

$$R_{\text{зф}} = \frac{11,2 \cdot 94}{11,2 + 94} = 10 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом,}$$

значит, ЗУ будет эффективным.

Вывод: рассчитано заземляющее устройство для сети с изолированной нейтралью. Определено количество вертикальных и длина горизонтальных заземлителей. Определено фактическое значение сопротивления заземляющего устройства.

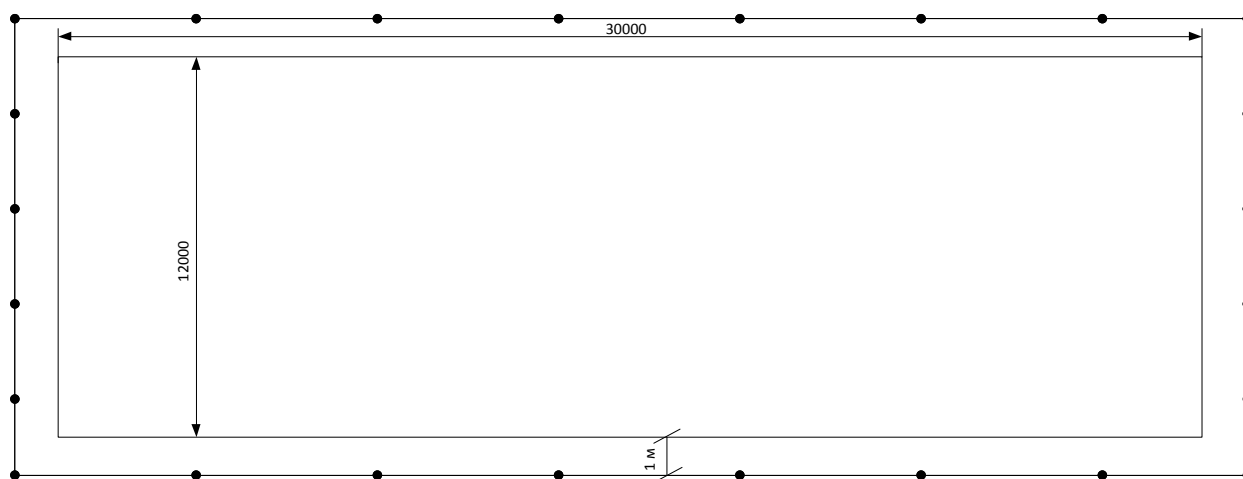


Рисунок 1 – План ЗУ



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данной ВКР является реконструированная система электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя Абаканской ТЭЦ. Система электроснабжения проектировалась с учетом современным требованиям к системам, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды.

Было обосновано питающее напряжение, рассчитаны электрические нагрузки по уровням электроснабжения. Разработана радиальная схема на распределительных пунктах на стороне НН, выбрано соответствующее оборудование.

Проведены светотехнический и электротехнический расчеты освещения. Выбранное электротехническое оборудование проверено на действие токов короткого замыкания.

Анализ качества напряжения у характерных электроприемников, проведенный для различных режимов работы, показал, что отклонения напряжения лежат в допустимых пределах.

рассчитанные конфигурации заземления и молниезащиты цеха надежно защищают его от прямых ударов молнии и обеспечивают хорошую метал-лосвязь между электрооборудованием и заземляющим устройством.

## 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.: АО ОТ 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. отделение, 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 про-

ектирования по электроснабжению промышленных предприятий [Электронный ресурс] / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоаомоиздат, 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-proektirovanie-shemzlekquysnabzheniya.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://electronpro.ru/production> (дата обращения 20.05.2020).

16. Официальный сайт компании «Навигатор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.navigator-light.ru](http://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 энергетике 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](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](https://grantek-svet.ru/catalog/avtomaticheskij_vyklyuchatel.php) (дата обращения 20.05.2020).

24. Электrolампа 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/](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\\_](http://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 32 наименований.

Электронный экземпляр сдан на кафедру.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_  
(дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(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  
« 29 » « 06 » 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция схемы электроснабжения цеха вагоноопрокидывателя  
Абаканской ТЭЦ

тема

Руководитель Е.В. Платонова доцент, к.т.н.  
подпись, дата должность, ученая степень

Е. В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник 26.06.20 Тарабанов М.А.  
подпись, дата

Тарабанов М.А.  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А. Кычакова  
подпись, дата

И.А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2020