

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.

## **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
код – наименование направления

**Реконструкция внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии» в связи  
с вводом в работу линии активации глины №3**  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
**доцент, к.т.н.**  
должность, ученая степень \_\_\_\_\_  
**А. В. Коловский**  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
**М.А. Кузнецов**  
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 Кузнецову Мақсиму Александровичу  
(фамилия, имя, отчество)

Группа 3ХЭн 15-01 (з-15)

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Реконструкция внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии» в связи с вводом в работу линии активации глины №3

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

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

Исходные данные для дипломного ВКР план ООО «Бентонит Хакасии» план ООО «Бентонит Хакасии» с экспликацией сооружений, ведомость потребителей линии активации глины №3, план расположения электроприемников линии активации глины №3, ведомость электроприемников.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

- 1 Теоретическая часть
  - 1.1 Нормативные требования к электроснабжению промышленных предприятий и цехов
  - 1.2 Характеристика объекта электроснабжения
  - 1.3 Анализ сети 6 кВ и предложения по реконструкции
  - 1.4 Обзор методик расчета электрических нагрузок
- 2 Аналитическая часть
  - 2.1 Расчет ЦЭН и выбор места новой ЦТП
  - 2.2 Выбор мест прокладки кабельных линий
  - 2.3 Расчет нагрузки на шинах НН трансформаторов и выбор мощности трансформаторов. Расчет нагрузки предприятия
  - 2.4 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок по силовым пунктам
  - 2.5 Светотехнический расчет системы освещения
  - 2.6 Электротехнический расчет системы освещения
- 3 Практическая часть. Проектирование электроснабжения
  - 3.1 Выбор коммутационных аппаратов ВН
  - 3.2 Выбор кабельно-проводниковой продукции ВН
  - 3.3 Выбор коммутационных аппаратов сети НН
  - 3.4 Выбор кабельно-проводниковой продукции сети НН
  - 3.5 Выбор силовых пунктов и прочих электрических устройств
  - 3.6 Расчет токов короткого замыкания. Проверка оборудования
  - 3.7 Проверка по допустимым потерям напряжения в силовой сети

Перечень обязательных листов графической части

- 1 План силовых электрических сетей ООО «Бентонит Хакасии» (существующие и после реконструкции)
- 2 Однолинейная схема электроснабжения после реконструкции
- 3 Электроосвещение линии глины №3

Руководитель ВКР

/ А. В. Коловский

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

/ М.А. Кузнецов

(подпись, инициалы и фамилия студента)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа по теме «Реконструкция внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии» в связи с вводом в работу линии активации глины №3» содержит 64 страниц текстового документа, 30 использованных источников, 3 листа графического материала, приложений нет.

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

Объект реконструкции – схема внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии».

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 внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии». Для этой схемы электроснабжения были выбраны удовлетворяющие всем техническим требованиям сечения кабелей и аппараты защиты. Проверка оборудования по токам короткого замыкания показала правильность выбора аппаратов защиты. В результате проектирования разработана система внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии», соответствующая всем современным требованиям.

## **THE ABSTRACT**

The final qualification work on the topic “Reconstruction of external power supply of LLC“ Bentonit Khakassia ”in connection with the commissioning of the clay activation line No. 3” contains 64 pages of a text document, 30 sources used, 3 sheets of graphic material, no applications.

**RECONSTRUCTION, ELECTRICAL SUPPLY, ELECTRICAL LOADS, LIGHTING, LIGHT-TECHNICAL CALCULATION, ELECTRO-TECHNICAL CALCULATION, SELECTION OF EQUIPMENT, CHECK OF EQUIPMENT, SHORT-CIRCUIT OF SHORT CIRCUIT OF RELIEF.**

The object of reconstruction is the external power supply scheme of Bentonit Khakassia LLC.

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, electrical loads were calculated for each level of power supply, after which the external power supply scheme of Bentonit Khakassia LLC was designed. For this power supply scheme, cable cross sections and protection devices meeting all the technical requirements were selected. Checking equipment for short-circuit currents showed the correct choice of protection devices. As a result of the design, an external power supply system was developed for Bentonit Khakassia LLC, which meets all modern requirements.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Теоретическая часть.....	9
1.1 Нормативные требования к электроснабжению промышленных предприятий и цехов .....	9
1.2 Характеристика объекта электроснабжения .....	14
1.3 Анализ сети 6 кВ и предложения по реконструкции .....	20
1.4 Обзор методик расчета электрических нагрузок .....	23
2 Аналитическая часть.....	28
2.1 Расчет ЦЭН и выбор места новой ЦТП .....	28
2.2 Выбор мест прокладки кабельных линий.....	29
2.3 Расчет нагрузки на шинах НН трансформаторов и выбор мощности трансформаторов. Расчет нагрузки предприятия .....	30
2.4 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок по силовым пунктам.....	35
2.5 Светотехнический расчет системы освещения .....	36
2.6 Электротехнический расчет системы освещения.....	37
3 Практическая часть. Проектирование электроснабжения.....	41
3.1 Выбор коммутационных аппаратов ВН.....	41
3.2 Выбор кабельно-проводниковой продукции ВН.....	42
3.3 Выбор коммутационных аппаратов сети НН .....	43
3.4 Выбор кабельно-проводниковой продукции сети НН .....	44
3.5 Выбор силовых пунктов и прочих электрических устройств .....	45
3.6 Расчет токов короткого замыкания. Проверка оборудования.....	46
3.7 Проверка по допустимым потерям напряжения в силовой сети .....	56
Заключение .....	62
Список использованных источников .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

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

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

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 предприятиях 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 система электроснабжения должна отвечать современному развитию науки и техники и опираться на самые актуальные технические разработки. Иначе, в результате применения ненадежного и не зарекомендовавшего себя электрооборудования на практике, а также нерациональная конфигурация системы электроснабжения, эта система может потерять свою устойчивость к различным факторам, способным спровоцировать аварию на производственном объекте. При этом требуемое качество электроэнергии, естественно, обеспечено не будет.

Любое производство, в том числе и по добыче полезных ископаемых, можно отнести к некоторому потенциально опасному производственному объекту со своей спецификой. В частности, такая опасность кроется в особенностях организации и осуществления технологических процессов, эксплуатации электрооборудования и других факторах. Поэтому правильная ор-

ганизация и эксплуатация всех систем предприятия, 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 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 – ООО «Бентонит Хакасии».

Предмет исследования – система внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии».

Цель ВКР – реконструкция схемы внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии» в связи с вводом в работу линии активации глины №3.

Задачи ВКР следующие:

- 1) дать общие сведения об объекте реконструкции;
- 2) произвести расчет ожидаемых электрических нагрузок предприятия;
- 3) выбрать трансформаторы на подстанциях с низшим напряжением 0,4 кВ с учетом компенсации реактивной мощности;
- 4) произвести выбор и обоснование схемы внешнего электроснабжения для групп цехов предприятия;
- 5) рассчитать токи короткого замыкания в спроектированной системе электроснабжения;
- 6) произвести расчет и выбор электрооборудования и проводников в системе электроснабжения предприятия.
- 7) проверить оборудование на действие токов КЗ и оценить потери напряжения в сети у конечных электроприемников.

## **1 Теоретическая часть**

### **1.1 Нормативные требования к электроснабжению промышленных предприятий и цехов**

Попытка экономии на проекте электроснабжения – достаточно сомнительное предприятие. Последствия в виде проверок надзорных органов, неправильной работы оборудования, разногласий с поставщиком электроэнергии – лишь малая часть проблем. При отсутствии проекта и халатном монтаже могут пострадать люди [21]. Поэтому грамотное проектирование с использованием актуальных версий нормативных документов является одним из факторов обеспечения дальнейшей нормальной работы промышленного объекта.

Проект электроснабжения – это комплект технической документации, разработанный и оформленный в соответствии с установленными нормами и правилами. Закупка оборудования, монтаж и пусконаладка системы производятся в соответствии с проектом, поэтому от его качества напрямую зависит эффективность и безопасность использования электроэнергии.

Порядок проектирования и содержание проекта определяет ряд нормативных документов:

НТП ЭПП-94 [10]. Этот документ включает в себя общие требования, руководство по делению потребителей электроэнергии по категориям, требования к выбору источников питания, руководство по выполнению схем распределения электроэнергии, методики расчета нагрузок, тока короткого замыкания, требования к автоматизированным схемам защиты, качеству электроэнергии, к внешним токоведущим сетям и другое.

НТП. Проектирование осветительных электроустановок промышленных предприятий. Внутреннее освещение, 1996 г. и проектирование силовых электроустановок промышленных предприятий, 1999 г. Эти нормы технологического проектирования содержат рекомендации и нормы по проектированию осветительных сетей и силового оборудования [22-23].

Также при составлении проекта обязательно нужно соблюдать правила, содержащиеся в ПУЭ [13] и различных СП. Например, это СП 76.13330.2016 Электротехнические устройства [26], устанавливающий требования к производству электромонтажных и пусконаладочных работ; СП 52.13330.2016, устанавливающий требования к искусственному и естественному освещению различных, в том числе, и промышленных объектов [27].

Естественно, при проектировании систем электроснабжения того или иного вида промышленных предприятий, руководствуются его спецификой как некоторого опасного производственного объекта, например, в плане повышенной пожаро- и взрывоопасности технологических процессов, агрегатов, установок и др. Например, можно выделить следующие документы:

ГОСТ 12.2.020-76 – стандарт по безопасности труда в отношении взрывозащищенного электрооборудования, его выбора, маркировки и пр. [24].

ГОСТ 30852.0-2002 – один из стандартов проектирования промышлен-

ных объектов, содержащий общие требования к взрывозащищенному электрооборудованию [25].

С другой стороны, представленные выше документы – это лишь нормативные документы, основывающиеся на следующих основных нормативных правовых актах РФ [28], основанных на Конституции РФ:

1) Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» [29];

2) Федеральный закон от 26.03.2003 № 36-ФЗ «Об особенностях функционирования электроэнергетики в переходный период и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых законодательных актов Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «Об электроэнергетике» [30];

3) 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» (в действующей редакции 2016) [31];

4) Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [32];

5) Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

6) «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ.

7) Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»

8) Постановление Правительства РФ от 24 февраля 2009 г. № 160 «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон».

Среди такой вышеупомянутой группы нормативных документов, таких как СП, РД, СО, ГОСТов, кроме указанных выше, можно отметить следующие актуальные документы (не считая требований нормативных документов в области пожарной безопасности к проектированию зданий и сооружений и документов общего характера):

1) СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.

2) РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.

3) НПБ 246-97\* Арматура электромонтажная. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний.

4) СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

5) СО 153-34.03.603-2003. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках.

- 6) ГОСТ 2.702-2011. Правила выполнения электрических схем.
- 7) ГОСТ 2.709-89 (СТ СЭВ 3754-82, СТ СЭВ 6308-88). Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах
- 8) ГОСТ 2.710-81 (СТ СЭВ 2182-80, СТ СЭВ 6306-88). Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
- 9) ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
- 10) ГОСТ 2.755-87. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.
- 11) Множество ГОСТов по электротехническим, кабельным и другим изделиям и электроустановкам, а также в области обеспечения электробезопасности различными видами защит;
- 12) другие документы.

Если говорить по сути, то от каждого проекта системы электроснабжения требуется соответствие актуальным архитектурным и градостроительным требованиям, требованиям законодательства в области пожаробезопасности, соображениям энергоэффективности. Такой современный проект должен отвечать не только формальным требованиям различных правил и нормативов. В XXI веке все чаще возникают вопросы проектной культуры, которая предполагает масштабируемость создаваемой системы и ее дальнейшее усиление без ущерба другим связанным с ней системам [28].

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

1. Простота и масштабируемость. Система электроснабжения промышленных предприятий не должна быть многоступенчатой, питающие сети не должны быть длинными, а способ прокладки сети должен быть максимально простым. Кроме того, система обязана обеспечивать возможность внедрения нового оборудования, то есть быть масштабируемой.

2. Отсутствие перегрузок. При проектировании цехов промышленных предприятий значение имеет как размещение оборудования в цехах, так и расположение трансформаторных подстанций. По возможности каждый участок должен быть снабжен отдельным распределительным устройством, которое устанавливается рядом с центром нагрузки. Другие потребители и участки не должны иметь возможности подключения к данному устройству во избежание перегрузки.

3. Обеспечение бесперебойного производственного процесса. На производствах с параллельными технологическими потоками сеть должна быть построена так, чтобы при необходимости отключения одного элемента сети (в случае аварии, с целью ремонта) отключались только те механизмы, которые относятся к данному потоку. Другие технологические потоки при этом должны оставаться в рабочем состоянии.

4. Безопасность. Все используемое электрооборудование должно обла-

дать степенью защиты, соответствующей условиям работы конкретного цеха.

Производственные помещения делятся на несколько классов опасности. Бывают помещения со взрыво- и пожароопасными зонами, с химически активной или органической средой. Выделяют также сухие, влажные, сырье, жаркие, пыльные помещения. Рекомендации по степени защиты электрооборудования в зависимости от среды приводятся в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) [13]. В свою очередь, производственные предприятия отличает большое количество высоко и низковольтных потребителей разных категорий, наличие электроприемников высокой мощности, что обуславливает высокие требования к безопасности [20].

Если все эти факторы учтены на этапе проектирования системы, повышаются возможности расширения производства, внедрения новых технологий, применения инновационного оборудования.

К основным элементам системы электроснабжения относятся:

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

Основными составными частями системы электроснабжения являются питающая и распределительная сети. Питающая сеть – это линии, отходящие от источника питания к пункту приема электрической энергии. Распределительные сети – это линии, подводящие электроэнергию от пунктов приема непосредственно к электрооборудованию. При этом схемы питания могут быть радиальными, магистральными или смешанными.

Магистральная схема подразумевает питание узлов и мощных потребителей по отдельным линиям, присоединенным к магистрали в различных точках. Магистральная схема актуальна для энергоемких производств в машино- и приборостроении, цветной металлургии, экспериментальном производстве. Магистральные схемы электроснабжения предприятий являются высоконадежными, применяются в помещениях с нормальной средой и достаточно равномерным распределением оборудования.

Радиальные схемы питания применяются в помещениях с любой средой. При данной схеме каждый потребитель соединяется с подстанцией или распределительным пунктом по отдельной линии. При смешанной схеме каждая магистраль питает ряд пунктов, от которых отходят радиальные линии непосредственно к приемникам. Радиальные схемы используют для питания сосредоточенных нагрузок и мощных электродвигателей.

Помимо озвученных выше принципов электроснабжения промышленных предприятий (бесперебойность, экономичность, гибкость, приближенность к источникам питания, минимальное число ступеней трансформации, использование надежных магистральных схем и пр.), существуют также определенные нормативные требования к электросетям промышленных объектов [10, 12].

На промышленных предприятиях источник питания может представлять собой электрическую станцию центральной системы электроснабжения или собственную станцию предприятия. Собственная электростанция необходима при большом потреблении энергии, при наличии специальных требований к надежности системы электроснабжения, при удаленности предприятия от энергосистем.

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

1. На предприятиях с электроприемниками I и II категорий должно быть два и более независимых взаимно резервируемых источника питания.

2. Для электроприемников особой группы I категории должен быть предусмотрен третий независимый источник питания.

3. Питание энергоемких предприятий от сетей энергосистемы следует осуществлять при напряжении 110 или 220 кВ.

4. Предприятия с незначительной нагрузкой могут работать при напряжении 6, 10 и реже 35 кВ.

5. При малой нагрузке достаточно напряжения 0,4 кВ от сетей энергосистемы либо соседнего предприятия.

6. Распределительная сеть промышленных предприятий должна работать на напряжении 10 кВ, в некоторых случаях – 6 кВ, энергоемких – на напряжении 35-110 кВ (иногда даже больше).

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

– при наличии на предприятии двух и более относительно мощных обособленных групп потребителей;

– при повышенных требованиях к надежности питания электроприемников I категории;

– при поэтапном развитии предприятия для питания нагрузок второй очереди.

При проектировании системы электроснабжения в первую очередь определяются следующие параметры: электротехнические нагрузки групп электротехнических приемников, узлов нагрузок и всего предприятия в целом; структура системы электроснабжения – число и место размещения всех элементов системы; рациональное напряжение питающей и распределительной сетей; способ транспорта электроэнергии в сетях питания и распределения; конструктивное исполнение электроустановок и электрооборудования; технические средства для обеспечения электробезопасности при эксплуатации системы электроснабжения.

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

Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения промышленных предприятий – задача многофункциональная и трудоемкая. Данная

сфера постоянно совершенствуется и усложняется в силу появления новых технологий и оборудования. Требования к качеству электрической энергии и надежности электроснабжения также повышаются. Для решения поставленных задач в данной сфере необходимо применение вычислительной техники, а также высокий профессионализм.

## **1.2 Характеристика объекта электроснабжения**

В середине 60-х годов прошлого века на юге Красноярского края, в Хакасии, вблизи месторождения бентонита «10-й хутор» для обеспечения бентонитовым глинопорошком буровых предприятий Министерства Геологии СССР был построен Черногорский Завод Глинопорошка.

В 1994 году в результате приватизации, Черногорский завод глинопорошка был преобразован в ОАО «Хакасский бентонит».

В 1999 году для добычи и переработки бентонита этого же месторождения было образовано еще одно предприятие — ООО «Аргиллит», на котором в кратчайшие сроки была построена эффективная технологическая линия по активации бентонитовой глины кальцинированной содой (Soda ash activation).

В 2014 году произошло слияние двух предприятий: ООО «Аргиллит» и ОАО «Хакасский Бентонит» в ООО «Бентонит Хакасии».

ООО «Бентонит Хакасии» — российский лидер в производстве бентонитовой продукции. Сырьевой базой предприятия является лучшее в России месторождение бентонитовой глины — «10-й Хутор». Наш 50-летний опыт работы в отрасли и высокое качество сырья — залог успешной работы предприятия с потребителем.

Основными потребителями продукции ООО «Бентонит Хакасии» являются предприятия ведущих отраслей российской экономики: металлургической, литейной, нефтегазовой и строительной. В этих отраслях бентонит применяется для окомкования железорудных концентратов, для приготовления формовочных смесей и буровых растворов. В настоящее время расширяется применение бентонита в химической промышленности, в сельскохозяйственной и животноводческой отраслях, в виноделии.

«Роснефть» заинтересована в использовании хакасского бентонита для бурения скважин. По оценке руководителя компании, бентонит из Хакасии самый качественный в стране». Подразделения ПАО «НК «Роснефть» являются потребителями бентонитовой продукции ООО «Бентонит Хакасии» с 2014г.

Предприятие работает в три смены.

Вид лицензируемой деятельности: Разведка и добыча полезных ископаемых, в том числе использование отходов горнодобывающего и связанных с ним перерабатывающих производств.

Месторождение бентонита «10-Хутор» находится в Усть-Абаканском районе Республики Хакасия в районе города Черногорска. По результатам детальной разведки месторождения «10-й Хутор» было выявлено восемь пла-

стов бентонита.

Это месторождение относится к наиболее высококачественным в России. Благодаря высокому качеству основного породообразующего минерала — монтмориллонита, бентонит месторождения «10-й Хутор» имеет широкий спектр применения в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Особо следует выделить высокую термостойкость этого бентонита, что обеспечивает существенное повышение эффективности его использования во многих областях применения, особенно в формовочных смесях для производства отливок.

Бентонит месторождения «10-й Хутор» является экологически чистым продуктом. На месторождении проводится мониторинг состояния окружающей среды и выполняются мероприятия по исключению техногенного влияния горных работ, ведутся рекультивационные работы по восстановлению нарушенных земель и ландшафта.

Минеральный состав: монтмориллонит, каолинит, гидрослюдя, кварц, щелочной полевой шпат, слюда, кальцит.

ООО «Бентонит Хакасии» производит добычу бентонитовой глины в карьере открытым способом. Практически весь добытый бентонит во влажном состоянии активируется кальцинированной содой и сушится. Бентопорошок производится помолом в ролико-маятниковых мельницах.

Производственные мощности предприятия обеспечивают переработку 438 тысяч тонн бентонита в год в следующие виды продукции:

Активированная глина — до 335 тыс. тн./год

Бентонитовый глинопорошок — до 103 тыс. тн./год

Юридический адрес:

655162, республика Хакасия, город Черногорск, улица Максима Горького, 11а.

Приоритетной целью ООО «Бентонит Хакасии» является обеспечение стабильного качества продукции, соответствующей требованиям потребителей.

В ООО «Бентонит Хакасии» ведется подготовка к сертификации соответствия системы менеджмента качества требованиям ГОСТ ISO 9001-2015, применительно к производству и реализации бентонитовой глины и глинопорошков. Также ведется подготовка СМК к сертификации Американским Нефтяным Институтом (API) по спецификации Q1.

Качество продукции контролируется заводской лабораторией, аттестованной Росстандартом. Технологии производства основной продукции защищены патентами Российской Федерации.

ООО «Бентонит Хакасии» имеет полный цикл производства: от добычи глин до упаковки готового глинопорошка. Продукция завода используется в приготовлении формовочных смесей на автоматизированных линиях 36 непрерывного литья и приготовления буровых растворов. Предприятие не только успешно конкурирует с производителями бентопорошков на внутреннем рынке, но и экспортирует свою продукцию за рубеж. По экономическим показателям работы, предприятие входит в десятку самых успешных пред-

приятий Хакасии.

Организационная структура управления ООО «Бентонит Хакасии» показана на рисунке 1.1.

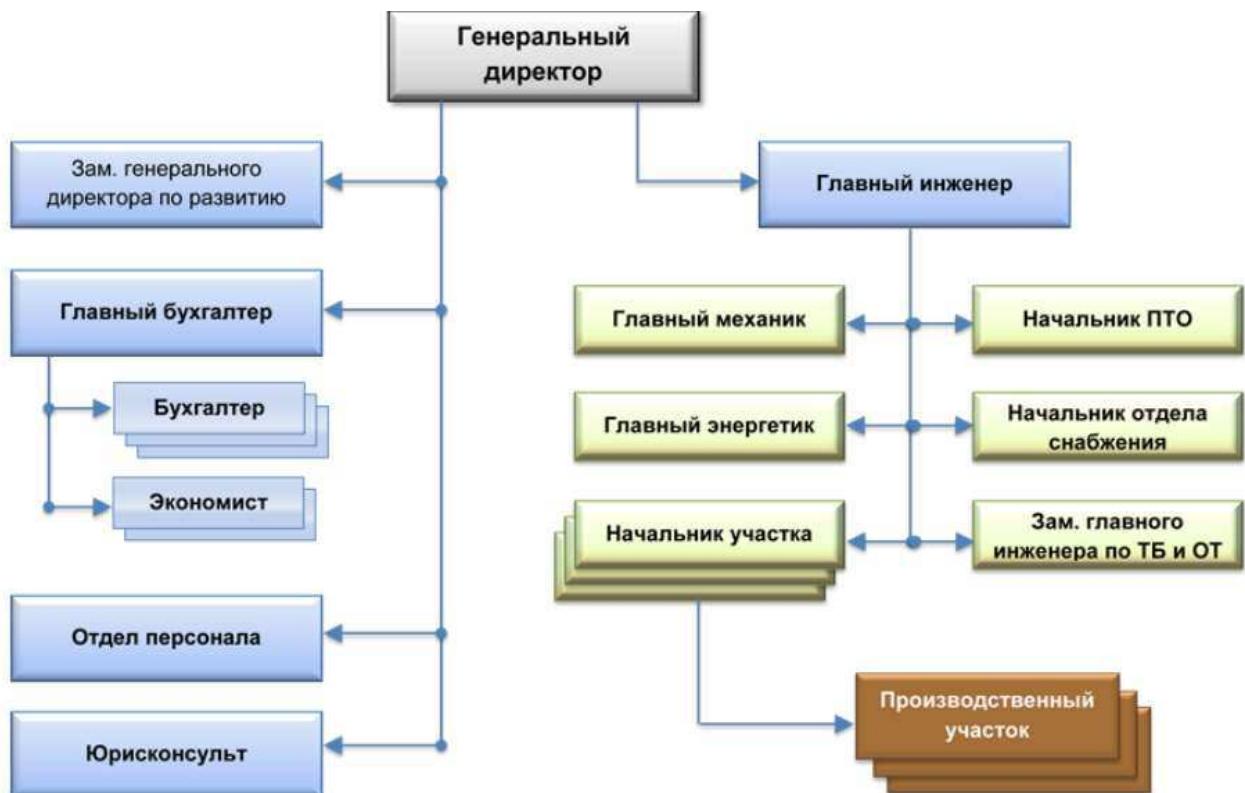


Рисунок 1.1 – Организационная структура управления  
ООО «Бентонит Хакасии»

Электроприемники новой линии глины №3 показаны на рисунке 1.2. Технологическая схема производства представлена на рисунке 1.3.

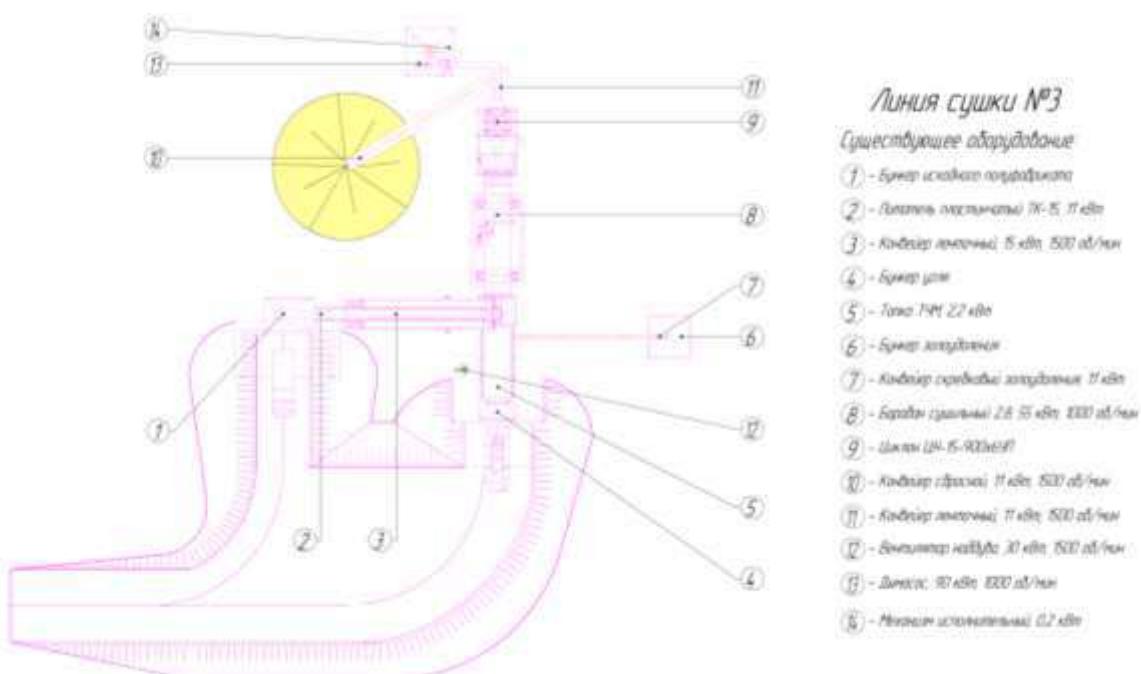
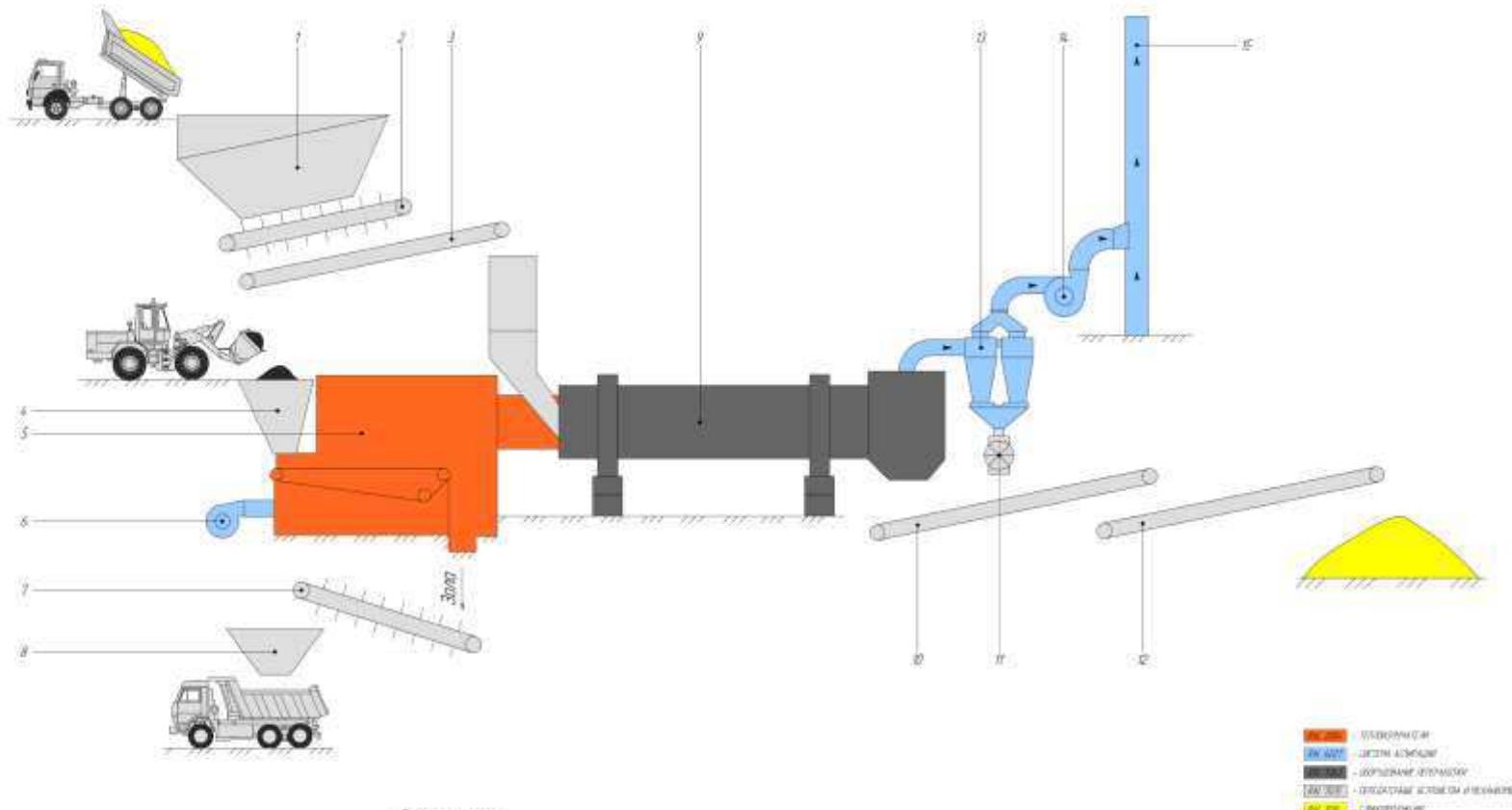


Рисунок 1.2 – Электроприемники новой линии глины №3

*Схема цепи аппаратов  
Линия сушки №3  
Завод по переработке глины*



*Спецификация*

Номер позиции	Год выпуска	Производительство (г/д)	Номер позиции	Год выпуска	Производительство (г/д)	Номер позиции	Год выпуска	Производительство
1 Бункер исходной глины	25 т		6 Вибропечь	ВЭЧ-10	34000 н/час	11 Котел-паровоз		
2 Диспенсер пасторизации	ДП-1-10-60	120 л/час	7 Комбикорм скруббинг	КС-2-10	5 кг/час	12 Конвейер пневматич	КП-650	20 т/час
3 Конвейер пневматич	КР-1000	120 м³/час	8 Брикет глины	БГ-5		13 Шнеки	ШН 15-900x650	54 800 н/час
4 Бункер соли	10 т		9 Брикет сушимый	БС-2,5	20 н/час	14 Дисковые	ДН-15	90000 н/час
5 Дробилка	ДМД-12/5,5	0,5 Мт/ч	10 Кильблок пневматич	КП-650	30 н/час	15 Грохот донный	Д-1000 тт	

Рисунок 1.3 – Технологическая схема производства

Общий вид новой линии глины №3 представлен на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Общий вид новой линии глины №3

Состав и характеристика потребителей в соответствии с категорией их надежности электроснабжения, а также установленная мощность каждого объекта (цеха) ООО «Бентонит Хакасии» в киловаттах, коэффициенты мощности и использования [4] представлены в таблице 1.1.

Генплан предприятия представлен на рисунке 1.5. Нумерация группы объектов соответствует принятой нумерации в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Состав и характеристика зданий и сооружений

№ цеха	Наименование цеха	Категория надежности	Установленная мощность, кВт	Kи	cosφ
1	Линия сушки глины №3	II	237	0,5	0,75
2	Гаражи	II	42	0,3	0,7
3	Бытовки	II	30	0,7	0,8
4	АБК	II	154	0,5	0,8
5	Лаборатория	II	25	0,5	0,8
6	Мехцех	II	127	0,3	0,7
7	Технологическая линия №1	II	694	0,5	0,75
8	Технологическая линия №2	II	688	0,5	0,75
9	Котельная	II	176	0,6	0,8
10	КПП	II	15	0,7	0,8
	Итого		2188		

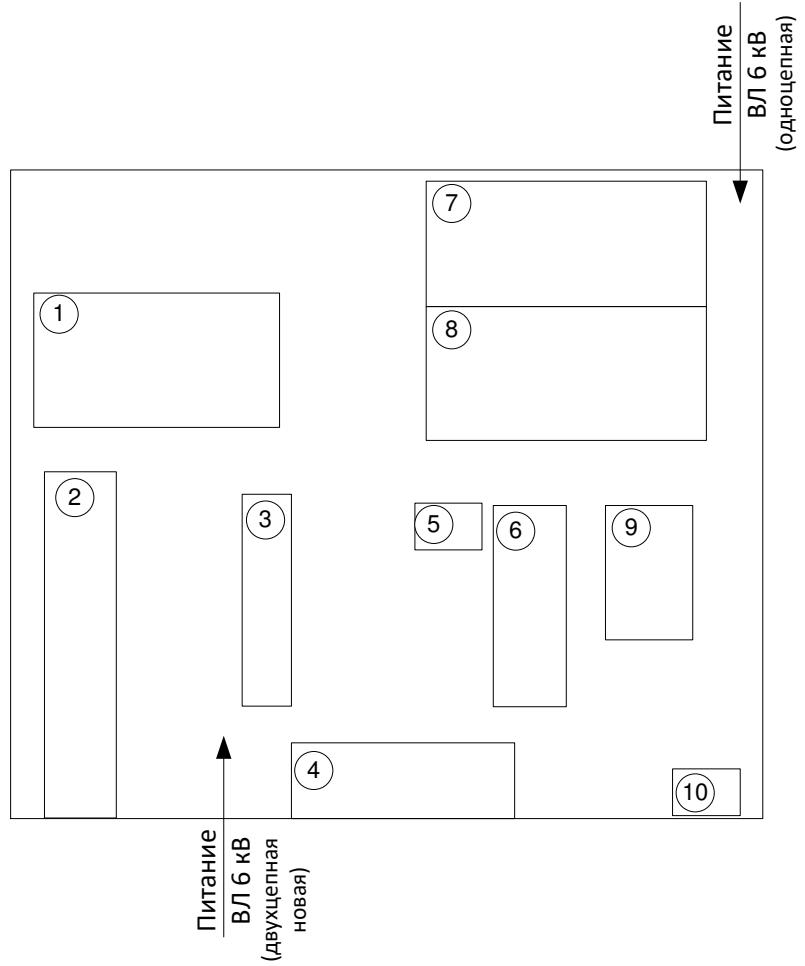


Рисунок 1.5 – Генплан предприятия

Габаритные размеры зданий и сооружений по внутреннему обмеру для вычисления мощности электрического освещения по удельной нагрузке на единицу площади цеха, представлены в таблице 1.2.

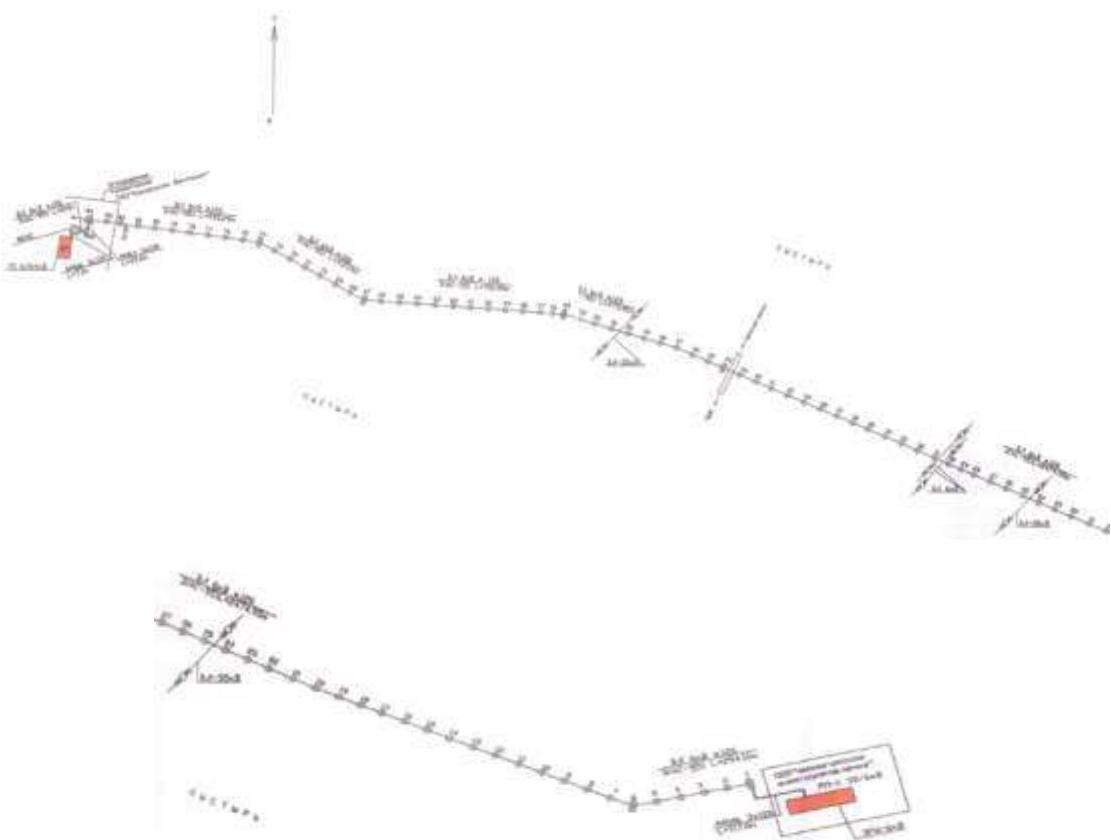
Таблица 1.2 – Размеры цехов по внутреннему обмеру для вычисления мощности электрического освещения по удельной нагрузке на единицу площади здания или сооружения

№	Наименование	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м <sup>2</sup>
1	Линия сушки глины №3	67	37	2479
2	Гаражи	95	20	1900
3	Бытовки	58	12	696
4	АБК	60	20	1200
5	Лаборатория	18	12	216
6	Мехцех	55	20	1100
7	Технологическая линия №1	77	34	2618
8	Технологическая линия №2	80	32	2560
9	Котельная	36	24	864
10	КПП	12	10	120

### 1.3 Анализ сети 6 кВ и предложения по реконструкции

Источником питания электроэнергией ООО «Бентонит Хакасии» является ПС 35/6 кВ РП-1, которая вместе с электрооборудованием принадлежит ООО «СУЭК-Хакасия», ООО «Энергосервис». Источник питания расположен в 5 км от производства. Основной участок питающей линии выполнен проводом 3 АС 1x95 (двуихцепная линия), а отдельные участки или сегменты, расположенные вблизи производства ООО «Бентонит Хакасии», выполнены проводами 3хСИП-3 1x95.

План новой питающей ЛЭП 6 кВ для ТП и сведения об ее элементах представлены на рисунке 1.6.



#### Сведения о линейном объекте:

- воздушная линия электропередачи от опоры № 1 до опоры № 84 и от опоры № 85 до ЯКНО – 4959,37 метра;

- кабельная линия электропередачи от ячейки №126 ЗРУ – 6кВ РП-1 35/6кВ до опоры № 1; от опоры № 84 до опоры № 85 и от ЯКНО до ТП 6/0,4кВ – 169,0 метров.

Опоры железобетонные всего – 85 штук

В том числе:

- круглого сечения опора № 52-85 – 34 штуки

- квадратного сечения опора № 1-51 – 51 штука

Опоры № 84,74,67,55,6 марки УП 10-1 – 5 штук

Опора № 85 марки А 10-1 – 1 штука

Опоры № 1-5, 7-54, 56-66, 68-73, 75-83 марки П 10-1 – 79 штук

Провод марки 3 АС-95 – 4959,37 метра

Кабель марки ААШв 3х120 – 124,0 метра

ААБЛ 3х120 – 45,0 метров

Рисунок 1.6 – План новой питающей двухцепной ЛЭП для ТП

В связи с вводом в работу линии активации глины №3 потребовалась реконструкция схемы электроснабжения. Существующий план расположения ТП показан на рисунке 1.7, а Существующая схема внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии» (однолинейная схема) – на рисунке 1.8. Новая ТП  $2 \times 1000$  кВА напряжением 6/0,4 кВ будет питать всё оборудование, включая линию №3, кроме потребителей ТП 400 кВА. Все ТП, кроме ТП на 400 кВА, будут демонтированы. ТП  $2 \times 1000$  кВА напряжением 6/0,4 кВ будут запитываться по 2-х цепной линии. ТП на 400 кВА остаётся запитана по 6 кВ по одноцепной линии.



Рисунок 1.7 – Существующий план расположения ТП  
ООО «Бентонит Хакасии»

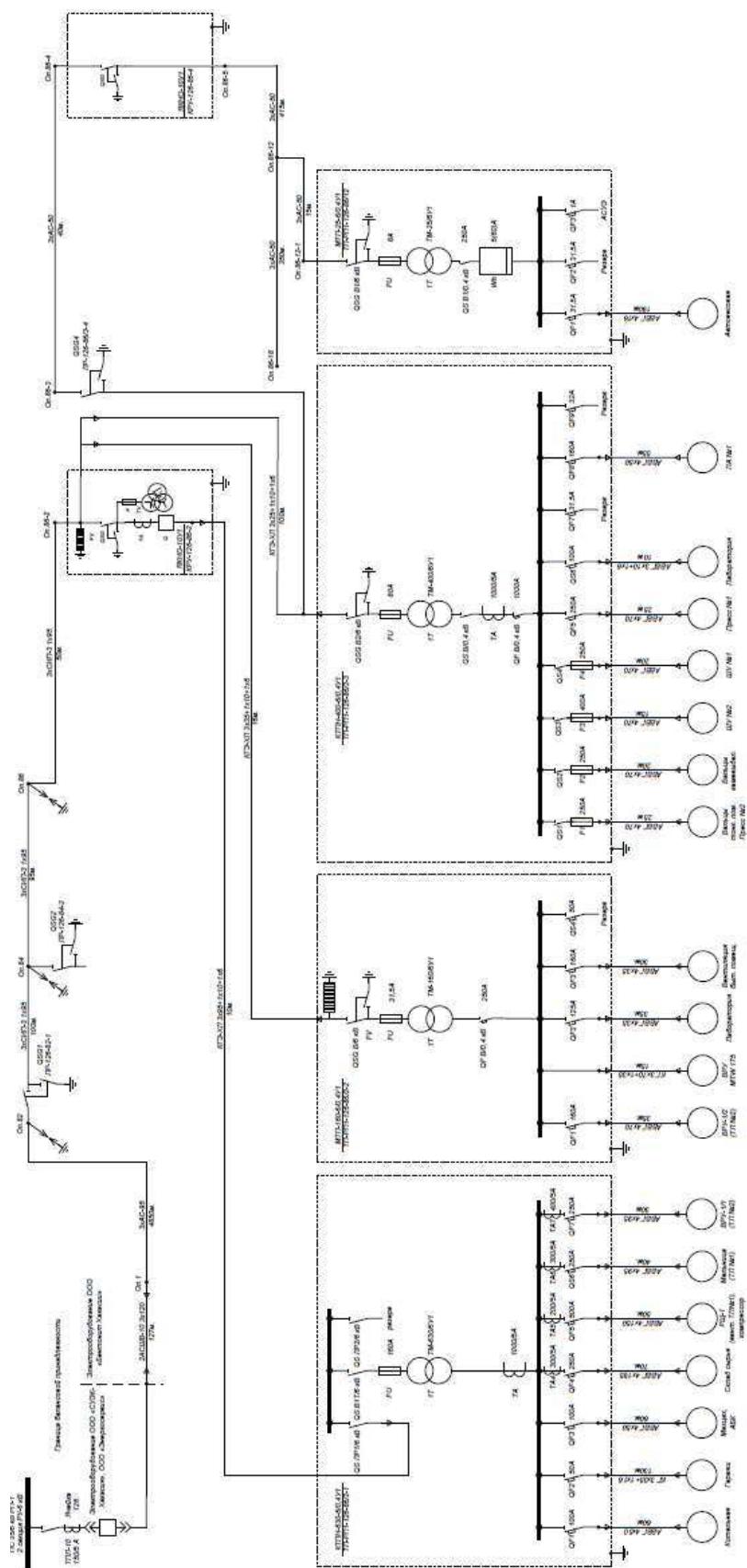


Рисунок 1.8 – Существующая схема внешнего электроснабжения  
ООО «Бентонит Хакасии»

## 1.4 Обзор методик расчета электрических нагрузок

Целью расчета электрических нагрузок является определение токов, протекающих через токонесущие элементы, с точки зрения их допустимости в условиях нагрева элементов. Расчет электрических нагрузок имеет решающее значение для уровня затрат в промышленных компаниях СЭС.

В условиях эксплуатации средняя нагрузка учитывается для заданного интервала времени, например, в течение одного цикла согласно показаниям счетчиков. Нагрузка в наиболее интенсивно используемый период времени приобретает актуальный смысл.

Номинальная нагрузка для допустимого нагрева - это длительная нагрузка с постоянным временем воздействия на элемент СЭС (КТП, ЛЭП и т.п.). Она соответствует ожидаемой изменяющейся нагрузке при самых значимых тепловых условиях: максимальной температуре нагрева проводников или тепловом износе изоляции.

Для практических расчетов в качестве расчетного значения используется интервал времени тридцать минут при максимальной нагрузке.

Электронагрузки предприятий в зависимости от экспертных предпочтений принято считать по одному из четырех стандартных методов:

- по методу расчетных коэффициентов (с применением специальных таблиц и эмпирических графиков);
- в соответствии с удельным потреблением энергии;
- методом коэффициента спроса,
- по удельной нагрузке на единицу площади помещения и других строительных единиц зданий.

Расчет электронагрузок по методу расчетных коэффициентов производится в соответствии с РТМ 36.18.32.4 – 92 [15].

Расчет по методу удельного энергопотребления на единицу выпускаемой продукции применяется для элементов системы электроснабжения с постоянной или слегка модифицирующейся во времени нагрузкой (компрессоры, дробилки и пр.). Расчетная нагрузка совпадает со средним значением наиболее загруженного слоя и должна определяться удельным потреблением энергии на единицу продукции для данного объема обслуживания в течение определенного периода времени.

Годовое потребление электроэнергии всей энергокомпанией или в отдельных цехах промышленных предприятий определяется формулой

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

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

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

Мощность в период прохождения графиком нагрузки предприятия максимума нагрузки энергосистемы определяется формулой

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

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

Для определения расчетных нагрузок в соответствии с методом коэффициентов спроса чрезвычайно важно знать установленную пропускную способность  $P_{\text{ном}}$  группы электроприемников и справочные коэффициенты –  $\cos\phi$ ,  $\tg\phi$ ,  $K_c$  для данной группы.

Нагрузка выделенной в ходе проектирования группы однородных электроприемников в соответствии с методом коэффициента спроса определяется по формулам:

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

$$Q_p = P_p \cdot \tg\phi; \quad (1.4)$$

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

Расчетная нагрузка узла СЭС, может включать в себя группы разнохарактерных электроприемников по режимам работы. В этой связи определяют нагрузки отдельных групп с учетом того, что максимумы выделенных групп электроприемников не совпадают [23]:

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

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

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

В этом случае общая расчетная нагрузка в узле системы электроснабжения предприятия не должна быть меньше его нагрузки за среднезагруженную смену.

Метод удельной нагрузки на единицу используется при проектировании стандартных сетей машиностроения, которые характеризуются большим количеством малых и средних электроприемников, равномерно распределенных по всей цеховой площади. Статистика удельных нагрузок отражается в справочной литературе и принимается по специальным таблицам.

Удельная нагрузка определяется статистическими данными. Ее величина зависит от типа производства, ассортимента продукции цехов, обслуживаемой главной питающей шиной. Имеет смысл использовать такой метод для определения электронагрузки на этапе проектирования при сопоставлении вариантов разработанных схем электроснабжения и приблизительных расчетов. Средняя мощность и отклонение расчетной нагрузки от средней, а также метод расчета по средней мощности и коэффициенту формы зависимости нагрузки от времени являются также достаточно распространенными методами.

Система независимых случайных нагрузок отдельных потребителей энергии, которых часто бывает много, определяется нормальным законом распределения случайных величин при вычислении групповой нагрузки. Это является основой метода расчета средней нагрузки электронагрузок и отклонения расчетной нагрузки согласно статистическим данным.

Согласно этой методике расчета нагрузка группы электроприемников определяется двумя показателями: общей средней нагрузкой и общим квадратическим отклонением. Если учитывать готовый анализ электрооборудования цехов при напряжении до 1000 В, то для отдельных групп и узлов СЭС эта методика расчета вполне может быть использована.

Существуют стандартные зависимости, которые позволяют определить расчетный ток и расчетную мощность в киловольтамперах для отдельно взятой совокупности электроприемников [4, 10, 12-15].

В методе расчета средней нагрузки электрической нагрузки и коэффициента формы кривой графика нагрузки рассчитанная нагрузка группы электроприемников является ее эффективной величиной, поэтому для большого числа разнохарактерных по своим режимам работы приемников энергии это обстоятельство может быть использовано.

С помощью этого метода расчетные нагрузки сборных шин распределительных устройств цехов могут быть определены на низковольтных шинах подстанций этих же питаемых объектов и на шинах высоковольтного электропитания.

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

Правильная реализация осветительного оборудования способствует рациональному использованию электроэнергии, улучшает качество продукции, повышает производительность труда, снижает количество несчастных случаев и травм, а также снижает работников, работающих во вредных условиях труда и ненормированного рабочего времени.

Системы освещения можно правильно спроектировать за счет определения согласно сводам правил нормированной освещенности для тех или иных помещений в люксах [27]. Для этого существуют стандарты на освещение промышленных цехов и других подобных объектов. Аналогичным образом проектируют системы освещения, служащие для реализации производственных действий в рабочем режиме, в случае вынужденной эвакуации по каким-либо причинам людей из здания, а также при аварийной ситуации. т.е. соответственно проектируют рабочее, эвакуационное и аварийное освещение объектов предприятий. Основные методы расчета электрического освещения – это метод коэффициента использования светового потока и удельная осветительная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> производственной поверхности пола цеха (будет рассмотрен ниже).

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

справочникам коэффициенты мощности и использования.

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

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

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

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

$K_i$  – групповой коэффициент использования;

$P_H$  – номинальная активная мощность этой группы.

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

Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников принимается [4]:

при  $n_{\exists} \leq 10$

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

при  $n_{\exists} > 10$

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

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

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

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

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

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

По удельной мощности освещения определяется электронагрузка искусственного освещения цехов:

$$\begin{aligned} P_o &= F_n \cdot \delta \cdot K_{CO} \cdot 10^{-3}, \\ Q_o &= Po \cdot \operatorname{tg} \phi, \end{aligned} \quad (1.11)$$

где  $K_{CO}$ ,  $\delta$  определяются по [9],

$F_n$  – площадь здания (сооружения);

$\operatorname{tg} \phi$  – коэффициент мощности по реактивной мощности осветительной нагрузки.

Светильники со светодиодными, люминесцентными лампами и лампами ДРЛ используются на большом количестве предприятий, поэтому целесообразно бытовые и складские помещения оснастить светильниками с люминесцентными лампами, а прочие цеха – светильниками с дугоразрядными или светодиодными лампами. Соответственно для первых и вторых источников света принимаются соответствующие коэффициенты реактивной и активной мощности.

## 2 Аналитическая часть

### 2.1 Расчет ЦЭН и выбор места новой ЦТП

Построение картограммы электрических нагрузок цехов определяется координатами ЦЭН [4]:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (2.1)$$

где  $p_i$  - мощность  $i$ -го цеха,  $x_i$  и  $y_i$  - координаты цеха в осях рисунка 2.1.

Диаметры нагрузок можно определить по формуле через их радиусы и расчетную активную мощность:

$$D_i = 2r_i = 2\sqrt{\frac{P_{mi}}{\pi \cdot m}} \quad (2.2)$$

Расчет параметров картограммы нагрузок представим в виде таблицы 2.1. При построении картограммы используем расчетные мощности из п.2.3 (т.е. силовые и осветительные нагрузки). Центр электрических нагрузок предприятия изображен на рисунке 4.1, откуда видно, что ЦТП можно расположить максимально близко к нему, произведя небольшое смещение, вызванное расположением цехов.

Таблица 2.1 – Расчет фактического расположения ЦЭН

№ цеха	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	X <sub>i</sub> , м	Y <sub>i</sub> , м	P <sub>i</sub> X <sub>i</sub> , кВт.м	P <sub>i</sub> Y <sub>i</sub> , кВт.м	Q <sub>i</sub> X <sub>i</sub> , кВар.м	Q <sub>i</sub> Y <sub>i</sub> , кВар.м	m	R <sub>i</sub> , м	D <sub>i</sub> , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	130,2	105,15	43	125	5598,6	16275	4521,45	13143,75	0,2	14,4	28,8
2	23,37	17,68	18	49	420,66	1145,13	318,24	866,32	0,2	6,1	12,2
3	27,46	18,34	70	60	1922,2	1647,6	1283,8	1100,4	0,2	6,61	13,22
4	87,05	59,46	108	12	9401,4	1044,6	6421,68	713,52	0,2	11,77	23,54
5	15,46	10,66	120	80	1855,2	1236,8	1279,2	852,8	0,2	4,96	9,92
6	51,16	44,1	141	59	7213,56	3018,44	6218,1	2601,9	0,2	9,03	18,06
7	324,8	273,89	153	158	49694,4	51318,4	41905,17	43274,62	0,2	22,74	45,48
8	321,58	271,32	153	122	49201,74	39232,76	41511,96	33101,04	0,2	22,63	45,26
9	107,43	77,79	175	69	18800,25	7412,67	13613,25	5367,51	0,2	13,08	26,16
10	11,72	8,21	190	8	2226,8	93,76	1559,9	65,68	0,2	4,32	8,64
ИТОГО	1100,23	886,6			146334,8	122425,2	118632,75	101087,54			
Координаты ЦЭН предприятия					133,004	111,272	133,806	114,017			
					X <sub>p</sub>	Y <sub>p</sub>	X <sub>q</sub>	Y <sub>q</sub>			

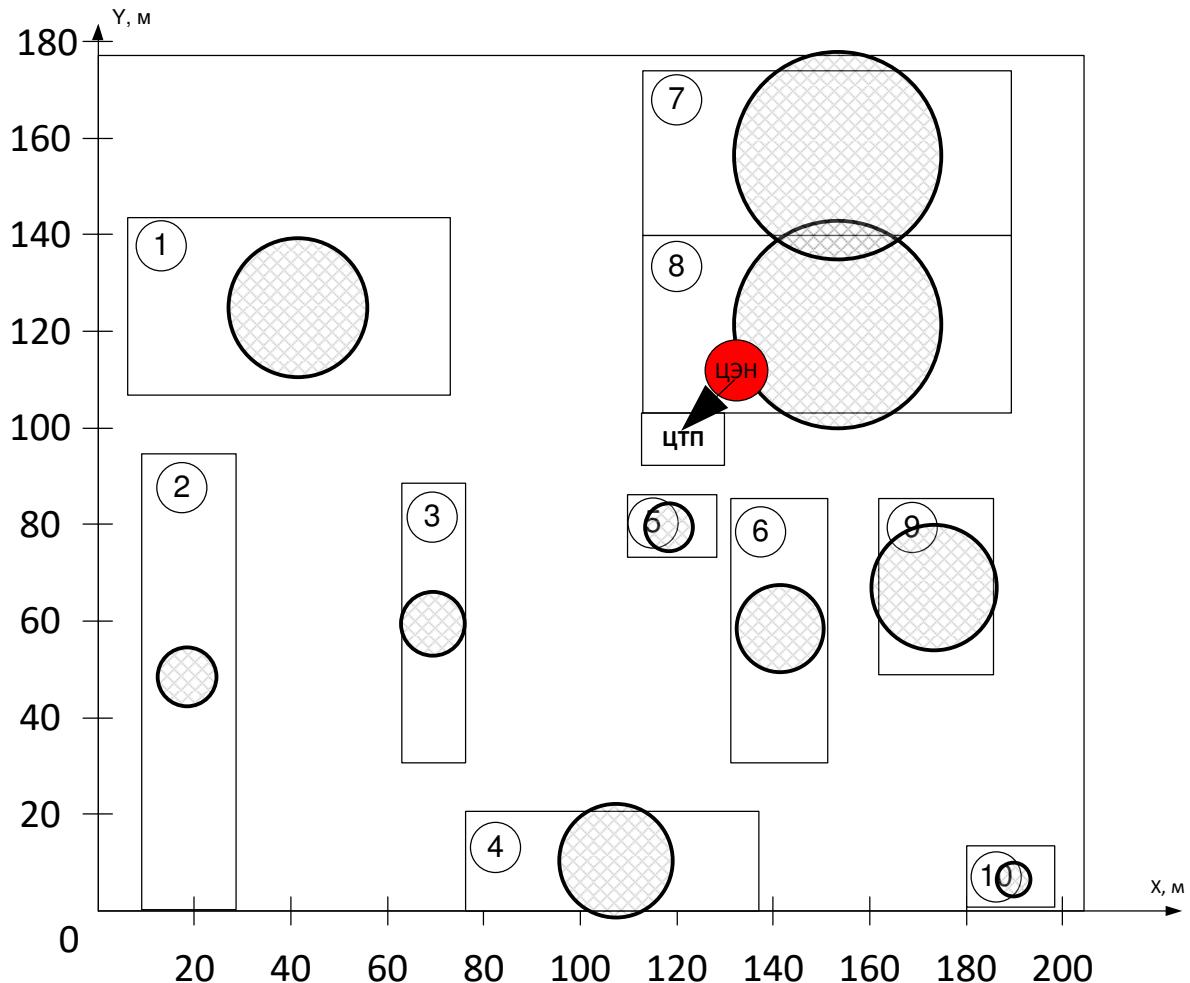


Рисунок 2.1 – Расположение предполагаемого центра питания

ЦП располагаем около цехов, поскольку по условиям технологических процессов нет места для их установки внутри технологических линий.

## 2.2 Выбор мест прокладки кабельных линий

Прокладку кабельных линий осуществляем в земле, в траншеях. КТП питается, как указывалось, от двухцепной воздушной линии. Согласно [16] допустимо выбрать проводники из алюминия, поэтому принимаем кабели марки АВВГ. Места прокладки кабелей изображены на рисунке 2.2.

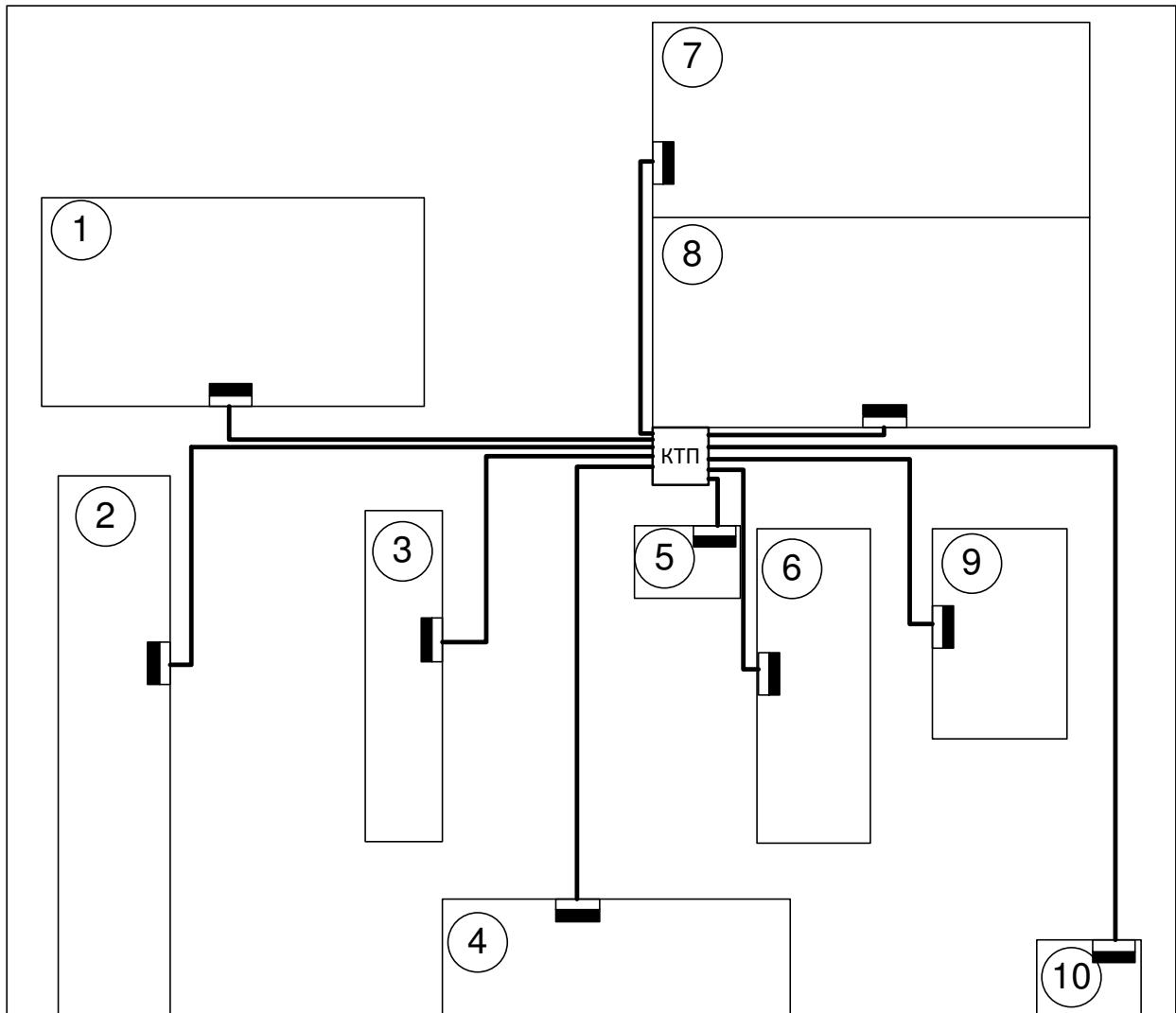


Рисунок 2.2 – Места прокладки кабельных линий

### **2.3 Расчет нагрузки на шинах НН трансформаторов и выбор мощности трансформаторов. Расчет нагрузки предприятия**

Расчет электрической нагрузки предприятия производим, исходя из методики, указанной в п.1.4 и основных положений по проектированию, отраженных в п.1.1. Расчет начинается с учетом  $P_{уст}$  для каждого цеха в п.1.2 (таблица 1.1), где в таблице 1.1 уже определены по справочникам коэффициенты мощности и использования [4, 18]. Результаты отображаются в таблице 2.2.

Расчетные кривые и таблицы для определения коэффициента расчетной мощности  $K_p = f(n_3, K_i)$  приводятся в РТМ 36.18.32.4-92 и второй редакции пособий [13, 18]. В графах 18-20 отображаются суммы согласно треугольнику мощностей и затем с учетом коэффициента одновременности ( $K_o = 0,85$ ) при числе присоединений более 25 шт. и средневзвешенном коэффициенте использования  $0,5 \leq K_i = 0,5 < 0,8$  определяется расчетная нагрузка на шинах 6 кВ ЦТП предприятия, в качестве которого будут выступать шины подстанции 10/0,4 кВ. Непосредственно высоковольтных электроприемников

на предприятии не имеется.

Осветительные сети определяются расчетными мощностями, определяемыми в соответствии с формулой (1.11).

Для всех зданий и сооружений предприятия применяем светильники со светодиодными лампами, коэффициент мощности которых составляет достаточно высокую величину 0,9. Расчет мощности освещения представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.2 – Расчет мощности освещения

$\text{№ п/п}$	Наименование	$F, \text{м}^2$	$\delta, \frac{Bm}{\text{м}^2}$	$K_{co}$	$Po, \text{kBm}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$Qo, \text{kVar}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Линия сушки глины №3	2479	10	0,95	23,55	0,9	0,48	11,3
2	Гаражи	1900	10	0,6	11,4	0,9	0,48	5,47
3	Бытовки	696	20	0,6	8,35	0,9	0,48	4,01
4	АБК	1200	20	0,9	21,6	0,9	0,48	10,37
5	Лаборатория	216	20	0,8	3,46	0,9	0,48	1,66
6	Мехцех	1100	16	0,85	14,96	0,9	0,48	7,18
7	Технологическая линия №1	2618	12	0,95	29,85	0,9	0,48	14,33
8	Технологическая линия №2	2560	12	0,95	29,18	0,9	0,48	14,01
9	Котельная	864	14	0,85	10,28	0,9	0,48	4,93
10	КПП	120	20	0,9	2,16	0,9	0,48	1,04

Таблица 2.2 – Расчет низковольтных электрических нагрузок предприятия

№	Наименование ЭП	Количество Э.П.		Номинальная мощность				Коэффициент использования, КИ	cosφ	tgφ	Расчетные величины				Расчетная мощность силовых нагрузок, освещения и суммарная					
		Pmin, кВт	Pmax, кВт	Rnom, общая	Kи*Rnom, кВт	Kи*Rnom*tgφ, кВар	PR <sup>2</sup> nom				Эффективное число Э.П., пЭ	Коэффициент расчетной нагрузки Kр	РсилP, кВт	QсилP, кВар	Po, кВт	Qo, кВар	Pp, кВт	QP, кВар	Sp, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Линия сушки глины №3	10	0,2	55	237	0,5	0,75	0,88	118,5	104,28	561690	9	0,9	106,65	93,85	23,55	11,3	130,2	105,15	167,36
2	Гаражи	16	1	10	42	0,3	0,7	1,02	12,6	12,85	28224	8	0,95	11,97	12,21	11,4	5,47	23,37	17,68	29,3
3	Бытовки	24	0,5	8	30	0,7	0,8	0,75	21	15,75	21600	8	0,91	19,11	14,33	8,35	4,01	27,46	18,34	33,02
4	АБК	38	0,8	16	154	0,5	0,8	0,75	77	57,75	901208	19	0,85	65,45	49,09	21,6	10,37	87,05	59,46	105,42
5	Лаборатория	8	0,45	11	25	0,5	0,8	0,75	12,5	9,38	5000	5	0,96	12	9	3,46	1,66	15,46	10,66	18,78
6	Мехцех	18	1	32	127	0,3	0,7	1,02	38,1	38,86	290322	8	0,95	36,2	36,92	14,96	7,18	51,16	44,1	67,54
7	Технологическая линия №1	16	1	75	694	0,5	0,75	0,88	347	305,36	7706176	16	0,85	294,95	259,56	29,85	14,33	324,8	273,89	424,87
8	Технологическая линия №2	18	1	75	688	0,5	0,75	0,88	344	302,72	8520192	18	0,85	292,4	257,31	29,18	14,01	321,58	271,32	420,75
9	Котельная	14	0,2	55	176	0,6	0,8	0,75	105,6	79,2	433664	6	0,92	97,15	72,86	10,28	4,93	107,43	77,79	132,64
10	КПП	6	0,6	2,2	15	0,7	0,8	0,75	10,5	7,88	1350	6	0,91	9,56	7,17	2,16	1,04	11,72	8,21	14,31
<b>ИТОГО</b>		168	0,2	75	2188	0,5	0,76	0,86	1086,8	934,03	804273792	58	0,85	945,44	812,3	154,79	74,3	1100,23	946,2	1330,37

Согласно [4], при этом предполагается, что плотность электрической нагрузки цехов  $\sigma$  определяется делением суммарной расчетной полной мощности цехов из таблицы 2.1 на его площадь из таблицы 1.2.

Двухтрансформаторные подстанции применяются для питания потребителей 1-й и 2-й категорий, а для питания потребителей 3-й категории – однотрансформаторные подстанции.

Количество трансформирующих устройств КТП [4]:

$$N_0 = \frac{P_p}{K_3 \cdot S_{\text{ном.т}}}, \quad (2.3)$$

где  $P_p$  – мощность из таблицы 2.1;  $K_3$  – загрузка трансформирующего устройства КТП (по рекомендациям [4] принимается равным 0,7 для двухтрансформаторных подстанций и 0,9 – для однотрансформаторных подстанций);  $S_{\text{ном.т}}$  – выбранная номинальная мощность цеховых ТП.

С учетом изложенного, выбор числа и мощности трансформаторов на предприятии осуществим по формуле (3.1):

$$N_0 = \frac{1100,23}{0,7 \cdot 1000} = 1,6.$$

К установке принимается ближайшее большее целое число  $N = 2$ . Принимается стандартная КТП с двумя трансформаторами типа ТМ-1000/6/0,4 кВ. Параметры трансформаторов представим в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры выбранных трансформаторов

$S_{\text{ном.т}}, \text{kVA}$	$\Delta P_x, \text{kVt}$	$\Delta P_k, \text{kVt}$	$U_k, \%$	$I_x, \%$
1000	2,45	12,2	5,5	1,4

Реактивная электронагрузка передачи мощности из сетей разных классов напряжений [4]:

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot K_3 \cdot S_{\text{ном.т}})^2 - P_p^2}. \quad (2.4)$$

На напряжение 380 В мощность низковольтных батарей конденсаторов можно найти по формуле:

$$Q_{\text{НБК.расч}} = 0,5 \cdot (Q_p - Q_1), \quad (2.5)$$

где коэффициент 0,5 говорит о том, что НБК устанавливается на каждую секцию из двух имеющихся секций шин НН КТП.

По формулам (2.4)-(2.5) находим мощность низковольтных батарей конденсаторов:

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1100,23^2} = 1077,54 \text{ кВАр.}$$

Определяем мощность НБК на напряжение 0,4 кВ:

$$Q_{\text{ку}} = 0,5 (946,2 - 1077,54) = -65,67 \text{ кВАр.}$$

Исходя из этих соображений, поскольку мощность компенсирующих устройств получилась меньше нуля, то установка КУ не требуется. Однако экономическое значение коэффициента реактивной мощности в часы максимума нагрузки при напряжении 6-20 кВ составляет 0,4 (Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии»).

В нашем случае коэффициент реактивной мощности:

$$\operatorname{tg}\varphi = Q_p / P_p = 946,2 / 1100,23 = 0,86.$$

поэтому для обеспечения надлежащего качества электроэнергии и выполнения договорных условий выбираем следующие две конденсаторные установки для подключения на каждую секцию 0,4 кВ КТП: АУКРМ-ЭМ-0,4-300-10, номинальная мощность 300 кВар. (АУКРМ-ЭМ - автоматическая установка компенсации реактивной мощности).

Таким образом, фактическая мощность комплектной конденсаторной установки:

$$Q_{\text{ку}\Sigma} = 2 \cdot 300 = 600 \text{ кВар.}$$

Потери мощности в трансформаторах двухтрансформаторной КТП можно определить по выражениям:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{\Delta P_{\text{kz}}}{n} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (2.6)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном}}}{100} + \frac{u_{\text{kz}} \cdot S_p^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (2.7)$$

где  $n$  – количество трансформаторов;

$\Delta P_{\text{xx}}$  – потери холостого хода, (кВт);

$\Delta P_{\text{kz}}$  – потери короткого замыкания, (кВт);

$I_{\text{xx}}$  – ток холостого хода, %;

$u_{\text{kz}}$  – напряжение короткого замыкания, %.

Расчеты оформим в таблице 2.4 (формуляр Ф202-90).

Таблица 2.4 – Результирующие нагрузки трансформаторной подстанции

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		$P_p$	$Q_p$	$S_p$	
1	2	3	4	5	6
Расчетная нагрузка 0,4 кВ	0,86	1100,23	946,2		ТМ-1000/6
Мощность КУ в сети 0,4 кВ с учетом выполнения предельного $\operatorname{tg}\varphi$			-600		АУКРМ-ЭМ-0,4-300-10
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом КУ	0,31	1100,23	346,2	1153,41	
Потери в трансформаторах	$K_3=0,58;$ $K_{nep}=1,16$	13,02	64,58		
Итого на стороне ВН 6 кВ с учетом выполнения предельного $\operatorname{tg}\varphi$	0,37	1113,25	410,78	1186,62	

Коэффициент загрузки и коэффициент перегрузки соответственно:

$$K_{3,T} = \frac{S_{III}}{2S_{H,T}},$$

$$K_{3,T} = \frac{1153,41}{2 \cdot 1000} = 0,58 < 0,7;$$

$$K_{nep} = \frac{1153,41}{1000} = 1,16 < 1,4.$$

Только при таком условии  $\operatorname{tg}\varphi$  будет меньше 0,4, а именно:

$$\operatorname{tg}\varphi = Q_{pIVup} / P_{pIVup} = 410,78 / 1113,25 = 0,37 < 0,4.$$

## 2.4 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок по силовым пунктам

Каждое здание или сооружение предприятие представляет собой обособленную группу электроприемников, и каждая группа будет питаться от своего силового пункта (ВРУ). Таким образом, одна выбранная ЦТП 2x1000 кВА будет питать все ВРУ указанных объектов.

Расчетные нагрузки по силовым пунктам (ВРУ зданий и сооружений) представлены в таблице 2.5. Эти нагрузки, т.к. питание каждого указанного объекта индивидуально, совпадают с расчетными нагрузками из таблицы 2.2.

Токовые нагрузки при этом вычислим по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{nom} \cdot n}, \quad (2.8)$$

где  $S_p$  – полная мощность, протекающая по линии в режиме максимальных нагрузок;

$n$  – количество параллельных линий от одного ВРУ, если таковые имеются.

Таблица 2.5 – Расчетные нагрузки по силовым пунктам (ВРУ зданий и сооружений)

Наименование	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А
Линия сушки глины №3	130,2	105,15	167,36	254,28
Гаражи	23,37	17,68	29,3	44,52
Бытовки	27,46	18,34	33,02	50,17
АБК	87,05	59,46	105,42	160,17
Лаборатория	15,46	10,66	18,78	28,53
Мехцех	51,16	44,1	67,54	102,62
Технологическая линия №1	324,8	273,89	424,87	645,54
Технологическая линия №2	321,58	271,32	420,75	639,28
Котельная	107,43	77,79	132,64	201,53
КПП	11,72	8,21	14,31	21,74

## 2.5 Светотехнический расчет системы освещения

Произведем светотехнический расчет системы освещения новой линии глины №3, которая находится на открытом участке территории предприятия. Таким образом, требуется спроектировать наружное освещение участка размерами 67x37 м. Светильники располагаем на стандартных железобетонных столбах высотой 7 м.

Количество прожекторов  $N$ , подлежащее установке для создания необходимой освещенности на площадке технологической линии, определяется по формуле [9]:

$$N = \frac{m \cdot k \cdot E_n \cdot A}{P_l}, \quad (2.9)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий световую отдачу источников света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока, принимается по [9];  $k$  – коэффициент запаса [9];

$E_n$  – нормируемая освещенность, лк [9];

$P_l$  - мощность лампы, Вт.

$$N = \frac{0,1 \cdot 1,5 \cdot 10 \cdot (67 * 37)}{500} = 7,44.$$

Принимаем к установке 8 прожекторов мощностью 500 Вт каждый, устанавливаем равномерно по площади линии сушки глины №3. Технические характеристики выбранных светодиодных прожекторов показаны в таблице 2.6. Общий вид светильника показан на рисунке 2.3.

Таблица 2.6 – Технические характеристики выбранных светодиодных прожекторов GALAD Эверест LED-500 (Wide)

Параметр	Значение
Номинальная мощность, Вт	500
Напряжение сети, В	230 ± 10%
Коэффициент мощности, не менее	0,9
Световой поток, лм	50000
Габариты ДхШхВ, мм	655x445x290



Рисунок 2.3 – Общий вид светильника GALAD Эверест LED-500 (Wide)

## 2.6 Электротехнический расчет системы освещения

Для выбора автоматических воздушных выключателей для осветительных сетей необходимо провести электротехнический расчет освещения линии сушки глины №3.

Момент осветительной нагрузки определяют по выражению:

$$M = \sum P_i \cdot l_i , \quad (2.10)$$

где  $P_i$  – мощность лампы, кВт.

$l_i$  – расстояние от ИП до лампы, м.

$$\sum M_a \approx \sum M_b \approx \sum M_c . \quad (2.11)$$

Такое размещение позволяет выравнивать 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, %:

$$\Delta U = \frac{M_{\text{max}}}{K_c \cdot s}, \quad (2.12)$$

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:

активная мощность:

$$P_{\text{ocb}} = N P_{\text{ном}} K_c K_{\text{пра}}, \quad (2.13)$$

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

$K_c$  – коэффициент спроса, 0,95 [9];  $K_{\text{пра}}$  – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры, для светодиодных ламп  $K_{\text{пра(СЛ)}} = 1,3$ .

Максимальный расчетный ток в трехфазной сети, А:

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \phi}, \quad (2.14)$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетная нагрузка;

$U_{\text{л}}$  – напряжение на лампах, В;

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

В цехе имеется 2 ряда по 4 светильника со светодиодными лампами мощностью 0,5 кВт каждая. Распределим их по фазам так, как показано на рисунке 2.4.

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

1 ряд:

$$\begin{aligned} M_a &= Pl + 4Pl = 5Pl, \\ M_b &= 2Pl + 3Pl = 5Pl, \\ M_c &= 4Pl. \end{aligned}$$

2 ряд:

$$\begin{aligned}M_a &= 4Pl, \\M_b &= 3Pl, \\M_c &= 2Pl + Pl = 3Pl.\end{aligned}$$

Суммарные моменты по фазам:

$$\sum M_a = \sum M_b = \sum M_c = \frac{10}{3} \cdot 0,5 \cdot 17,5 = 29,2 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Нагрузка выровнена по фазам.

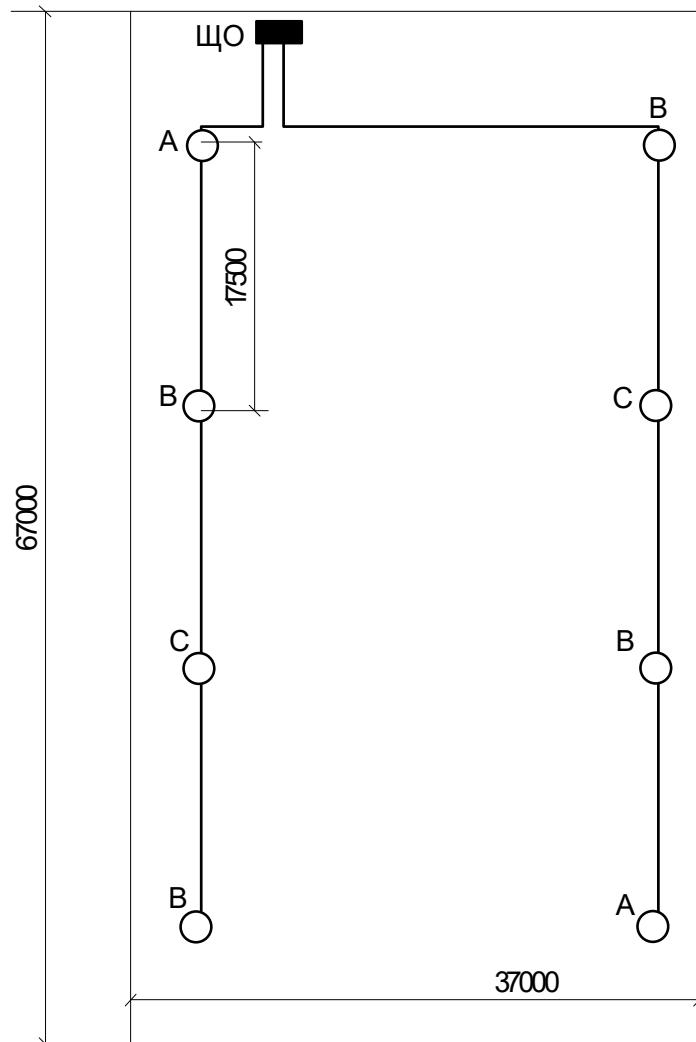


Рисунок 2.4 – Расположение ламп рабочего освещения по фазам

Рассчитываем нагрузки по линиям

1 линия:

$$l_0 = 14 \text{ м},$$

$$M_1 = 4 \cdot 0,5 \cdot \left( 14 + \frac{17,5 \cdot (4 - 1)}{2} \right) = 80,5 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

2 линия:

$$l_0 = 42 \text{ м},$$

$$M_2 = 4 \cdot 0,5 \cdot \left( 42 + \frac{17,5 \cdot (4 - 1)}{2} \right) = 136,5 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Определяем расчетный ток для автомата:

$$P_{po} = 8 \cdot 0,5 \cdot 0,95 \cdot 1,3 = 4,94 \text{ кВт.}$$

$$I_{max} = \frac{4,94}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 8,35 \text{ А.}$$

Выбираем осветительный щиток ОЩВ-3-25-6 с номинальным током  $I_{nom} = 25 \text{ А}$ , с присоединениями по 1 А.

Вводной автомат: ВА 47-29,  $I_{nom} = 25 \text{ А}$ ;

Групповой автомат отходящей линии: ВА 47-29,  $I_{nom} = 10 \text{ А}$ .

Выбираем алюминиевый провод марки АВВГ 4х2,5 с сечением основной жилы  $s = 2,5 \text{ мм}^2$  и допустимым током 19 А.

Рассчитываем фактическую потерю напряжения:

$$\Delta U = \frac{M_{max}}{K_c \cdot s} = \frac{80,5}{44 \cdot 2,5} = 0,73 \text{ В.}$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{nom,\phi}} = \frac{0,73 \cdot 100\%}{220} = 0,33 \text{ %.}$$

Рассчитываем фактическую потерю напряжения в кабеле, питающем щиток и удаленный светильник:

$$\Delta U = \frac{136,5}{44 \cdot 2,5} = 1,24 \text{ В,}$$

$$\Delta U \% = \frac{1,24 \cdot 100\%}{380} = 0,33 \text{ %.}$$

Суммарная потеря напряжения до удаленного светильника:

$$\Delta U_{\Sigma} = 0,33 + 0,33 = 0,66 \text{ %, что допустимо.}$$

### 3 Практическая часть. Проектирование электроснабжения

#### 3.1 Выбор коммутационных аппаратов ВН

Предварительно по токовой нагрузке и по напряжению выбираем выключатель нагрузки и предохранитель на 6 кВ.

Вычислим рабочий ток для коммутационных аппаратов:

$$I_p = \frac{S_{pIV}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1186,62}{\sqrt{3} \cdot 6} = 114,18 \text{ A.}$$

Условия выбора выключателя нагрузки [3, 4]:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном}} &\geq U_{\text{ном.сети}}; \\ I_{\text{ном.}} &\geq I_{\text{раб.макс.}}; \end{aligned} \quad (3.1)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение выключателя нагрузки, В;  $U_{\text{ном.сети}}$  – номинальное напряжение сети, В;  $I_{\text{ном.}}$  – номинальный ток выключателя нагрузки;  $I_{\text{раб.макс.}}$  – максимальный рабочий ток электроприемника, А.

В КТП установлены выключатели нагрузки типа ВНП-М1-6-УЗ [11].

Каталожные данные:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}, i_{\text{ном.дин.}} = 80 \text{ кА}, I_t = 52 \text{ кА}, t_{np} = 1 \text{ с.}$$

Условия выбора выполняются:

$$\begin{aligned} 6 \text{ кВ} &= 6 \text{ кВ}; \\ 630 \text{ А} &> 114,18 \text{ А}. \end{aligned}$$

Выберем на КТП предохранитель из условий [3, 4]:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном.pr.}} &\geq U_{\text{ном.сети}}; \\ I_{\text{ном.pr.}} &\geq I_{\text{раб.макс.}}; \\ I_{\text{ном.всм.}} &\geq I_{\text{раб.макс.}}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

где  $U_{\text{ном.pr.}}$  – номинальное напряжение предохранителя, В;  $U_{\text{ном.сети}}$  – номинальное напряжение сети, В;  $I_{\text{ном.pr.}}$  – номинальный ток предохранителя, А;  $I_{\text{ном.всм.}}$  – номинальный ток плавкой вставки, А;  $I_{\text{раб.макс.}}$  – максимальный рабочий ток присоединения, А.

В КТП установлены предохранители ПКТ-103-6-200-12,5-УЗ [11]

$$6kB = 6kB; \\ 200A > 114,18A; \\ 160A > 114,18A.$$

### 3.2 Выбор кабельно-проводниковой продукции ВН

Плотность тока ( $j_{\text{эк}}$ ) есть основной параметр для выбора проводов:

$$F = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (3.3)$$

где  $F$  – сечение фазы ЛЭП;  $I_p$  – расчетный ток ЛЭП, А.

Для сталеалюминиевых проводов типа АС без изоляции –  $j_{\text{эк}} = 0,8 \text{ A} / \text{мм}^2$  [16, табл.1.3.36]) для трехсменного предприятия при  $T_{\text{max}} = 5100$  ч. Расчетное значение  $F$  округляется до ближайшего стандартного с учетом технических ограничений по короне, по нагреву, по механической прочности.

Токовую нагрузку при этом вычислим по формуле для двухцепной линии:

$$I_p = \frac{S_{pIV}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n} = \frac{1186,62}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2} = 57,09 \text{ A.}$$

Таким образом, по формуле (3.3) находим:

$$F = \frac{57,09}{0,8} = 71,4 \text{ мм}^2.$$

В качестве проводов воздушных линий связи КТП предприятия с РП 35/6 кВ питающей распределительной подстанции принимаем провода марки АС сечением 95  $\text{мм}^2$  [16].

Таким образом, приняты провода для питающей ЛЭП 6 кВ типа ЗАС-95 с известным допустимым током 330 А. Т.к. ток аварийной перегрузки ЛЭП:  $2*57,09 = 114,18$  А (при обрыве одной цепи ЛЭП), поэтому в этих режимах выбранное сечение выбрано верно, т.к.  $114,18 < 330$  А [27].

Потери напряжения в высоковольтной линии напряжением 6 кВ определяют по формуле [4]:

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

Удельное активное и индуктивное сопротивления провода при напря-

жении 6 кВ определяются согласно [4]. Таким образом, потери напряжения в питающей линии АС-95:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 57,09 \cdot 5 \cdot (0,301 \cdot 0,94 + 0,434 \cdot 0,34) \cdot 100\%}{6000} = 2,84\%.$$

### 3.3 Выбор коммутационных аппаратов сети НН

Целью данного пункта является выбор вводных и секционных воздушных автоматических выключателей, установленных в КТП предприятия.

Выбор вводных и секционных автоматических выключателей для защиты ТП с низкой стороны, производим по известным выражениям [25]:

$$U_a \geq U_{\text{ном.сети}}, \quad (3.4)$$

$$I_{\text{ном.а}} \geq 1,1 \cdot I_m, \quad (3.5)$$

Используем серии ВА51, ВА53 [25] (таблицы 3.1-3.2). Для секционных автоматов принимаем расчетный ток, равный половине рабочего максимального тока присоединения. Расчетные токи определяем через расчетные мощности для каждой ТП по формуле, учитывая значение напряжения 0,4 кВ.

Токовую нагрузку при этом вычислим по формуле:

- для вводного автомата:

$$I_p = \frac{S_{pIII}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1153,41}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1752,43 \text{ A.}$$

- для секционного автомата:

$$I_p = \frac{S_{pIII}/2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1153,41/2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 876,215 \text{ A.}$$

Таблица 3.1 – Выбор вводных автоматов на шинах НН КТП

Наименование автомата на НН КТП	Расчетная мощность $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А	Расчетный ток для выбора автомата $1,1 \cdot I_p$ , А	Номинальный ток автомата $I_{\text{ном.а}}$ , А	Тип автомата
Вводной QF1, QF3	1153,41	1752,43	1927,67	2500	ВА 53-45

Таблица 3.2 – Выбор секционного автомата на шинах НН КТП

Наименование автомата на НН КТП	Расчетная мощность $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А	Расчетный ток для выбора автомата $1,1 \cdot I_p$ , А	Номинальный ток автомата $I_{\text{ном.а}}$ , А	Тип автомата
Секционный QF2	222,865	876,215	963,84	1000	ВА 53-41

Аналогично выберем вводные автоматы на каждом ВРУ (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Выбор вводных автоматов на ВРУ

Приемное устройство	Расчетный ток $I_p$ , А	Расчетный ток для выбора автомата $1,1 \cdot I_p$ , А	Номинальный ток автомата $I_{ном.а}$ , А	Тип автомата
ВРУ1	254,28	279,71	400	ВА 51-37
ВРУ2	44,52	48,97	50	ВА 51-31
ВРУ3	50,17	55,19	63	ВА 51-31
ВРУ4	160,17	176,19	250	ВА 51-35
ВРУ5	28,53	31,38	50	ВА 51-31
ВРУ6	102,62	112,88	160	ВА 51-35
ВРУ7	645,54	710,09	1000	ВА 53-41
ВРУ8	639,28	703,21	1000	ВА 53-41
ВРУ9	201,53	221,68	250	ВА 51-35
ВРУ10	21,74	23,91	25	ВА 51-25

### 3.4 Выбор кабельно-проводниковой продукции сети НН

Целью данного пункта является выбор питающих кабельных линий 0,4 кВ, идущих от вводно-распределительных устройств (ВРУ) каждого цеха до КТП (рисунок 2.2).

Способ прокладки кабелей – в земле, в траншее. Согласно [16] допустимо выбрать проводники из алюминия, поэтому принимаем типа АВВГ. Выбор кабелей произведем в таблице 3.3, при этом токи в линиях к ВРУ каждого здания или сооружения предприятия найдены в таблице 2.5. Длительно допустимые токовые нагрузки при монтаже кабеля в земле, представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Выбор кабелей, питающих ВРУ от КТП

№ объекта	Длина кабеля $L$ , м	Приемное устройство	$I_{раб.}$ , А	Тип кабеля	Число кабелей, питающих цех и проложенных параллельно на одно присоединение	$I_{доп}$ одного кабеля, А	$I_{доп}$ всего присоединения, А
1	90	ВРУ1	254,28	АВВГ 4x185	1	281	281
2	130	ВРУ2	44,52	АВВГ 4x16	1	62	62
3	75	ВРУ3	50,17	АВВГ 4x16	1	62	62
4	95	ВРУ4	160,17	АВВГ 4x95	1	183	183
5	10	ВРУ5	28,53	АВВГ 4x10	1	47	47
6	50	ВРУ6	102,62	АВВГ 4x70	1	150	150
7	60	ВРУ7	645,54	2АВВГ 4x240	2	334	668
8	40	ВРУ8	639,28	2АВВГ 4x240	2	334	668
9	75	ВРУ9	201,53	АВВГ 4x120	1	213	213
10	165	ВРУ10	21,74	АВВГ 4x10	1	47	47

Для вычисления потерь напряжения в кабельных линиях используем

формулу [4]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{yd} \cdot \cos \varphi + x_{yd} \cdot \sin \varphi), \quad (3.6)$$

Вычисление потерь напряжения в кабельных линиях, питающих ВРУ, сведем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Вычисление потерь напряжения в кабельных линиях, питающих ВРУ

№ СП	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	L, м	$I_{раб}$ , А	S, мм <sup>2</sup>	$r_{yd}$ , Ом/км	$x_{yd}$ , Ом/км	$\Delta U$ , %	$\Delta P$ , кВт	$\Delta U$ , В	$\Delta Q$ , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,75	0,66	90	254,28	185	0,167	0,0596	1,72	2,915	6,536	1,04
2	0,7	0,71	130	44,52	16	1,94	0,0675	3,71	1,5	14,098	0,052
3	0,8	0,6	75	50,17	16	1,94	0,0675	2,73	1,099	10,374	0,038
4	0,8	0,6	95	160,17	95	0,326	0,0602	2,06	2,384	7,828	0,44
5	0,8	0,6	10	28,53	10	3,1	0,073	0,33	0,076	1,254	0,002
6	0,7	0,71	50	102,62	70	0,443	0,0612	0,83	0,7	3,154	0,097
7	0,75	0,66	60	645,54	(2)x240	0,0645	0,02935	1,2	4,838	4,56	2,202
8	0,75	0,66	40	639,28	(2)x240	0,0645	0,02935	0,79	3,163	3,002	1,439
9	0,8	0,6	75	201,53	120	0,258	0,0602	1,67	2,358	6,346	0,55
10	0,8	0,6	165	21,74	10	3,1	0,073	4,13	0,725	15,694	0,017

### 3.5 Выбор силовых пунктов и прочих электрических устройств

Силовые пункты выбираем исходя из количества присоединений и рабочего тока самого пункта и номинального напряжения [27-30], таблица 3.6.

Условие выбора СП:

$$I_{расч ВРУ} \leq I_{ном ВРУ}, \quad (3.7)$$

где  $I_{расч ВРУ}$  - расчетный ток ВРУ,  
 $I_{ном ВРУ}$  - номинальный ток ВРУ.

Таблица 3.6 – Выбор силовых пунктов (ВРУ)

Наименование	Расчетный ток, А	Тип СП	Допустимый ток, А	Количество присоединений СП
ВРУ-1	254,28	ВРУ-1М-29-6-1У1	400	8
ВРУ-2	44,52	ВРУ-1М-21-6-1У1	50	8
ВРУ-3	50,17	ВРУ-1М-22-6-1У1	63	8
ВРУ-4	160,17	ВРУ-1М-27-6-1У1	200	8
ВРУ-5	28,53	ВРУ-1М-21-6-1У1	50	8
ВРУ-6	102,62	ВРУ-1М-26-6-1У1	160	8
ВРУ-7	645,54	ВРУ-1М-30-6-1У1	1000	10
ВРУ-8	639,28	ВРУ-1М-30-6-1У1	1000	10
ВРУ-9	201,53	ВРУ-1М-28-6-1У1	250	8
ВРУ-10	21,74	ВРУ-1М-21-6-1У1	50	8

### **3.6 Расчет токов короткого замыкания. Проверка оборудования**

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

Рассчитаем ток короткого замыкания с учетом сопротивления внешней сети (системы и питающей линии). К схеме замещения добавляется сопротивление внешней сети (рисунок 3.1), которое необходимо привести к напряжению точки КЗ, т. е. 0,4 кВ.

Сопротивления линии (между внешней сетью (системой) и трансформатором):

$$x_L = x_0 \ell_L = 0,434 \cdot 5 = 2,17 \text{ Ом.}$$

$$r_L = r_0 \ell_L = 0,301 \cdot 5 = 1,51 \text{ Ом.}$$

Сопротивление электрической системы можно определить согласно [10]. Для этого задаемся типом выключателя (в частности, вакуумного), который может быть установлен для защиты отходящей линии ПС, от которой питается рассматриваемый объект (цех): ВВЭ-М-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 превышают соответствующих параметров выключателя, определяется по формуле [8]:

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

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:

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

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

$$i_{\text{уд к1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,5 = 31,5 \text{ кА.}$$

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

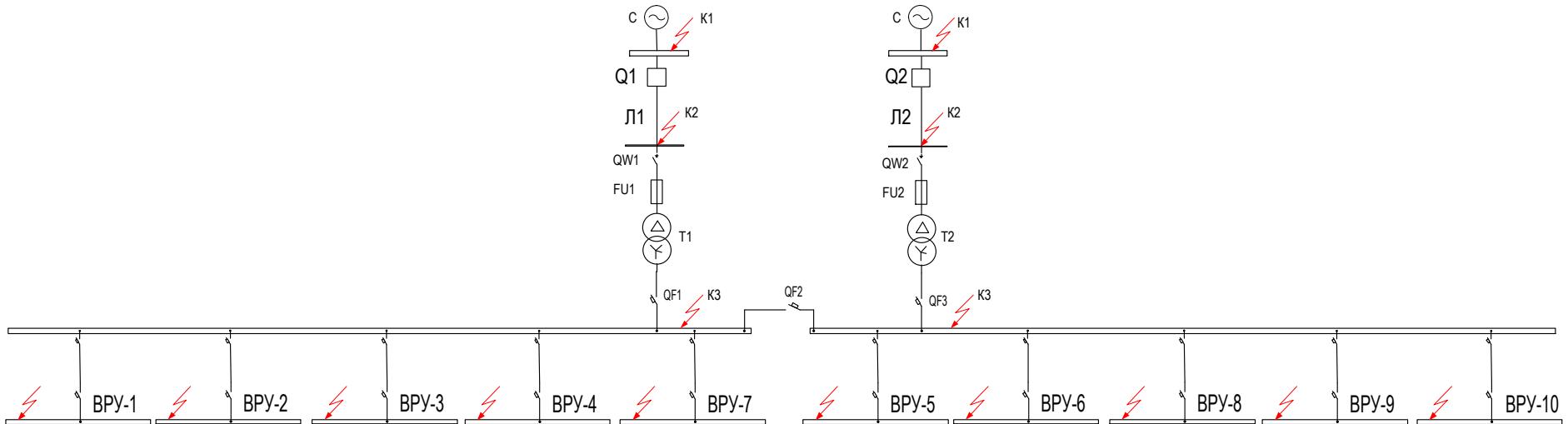


Рисунок 3.1 – Расчетная схема



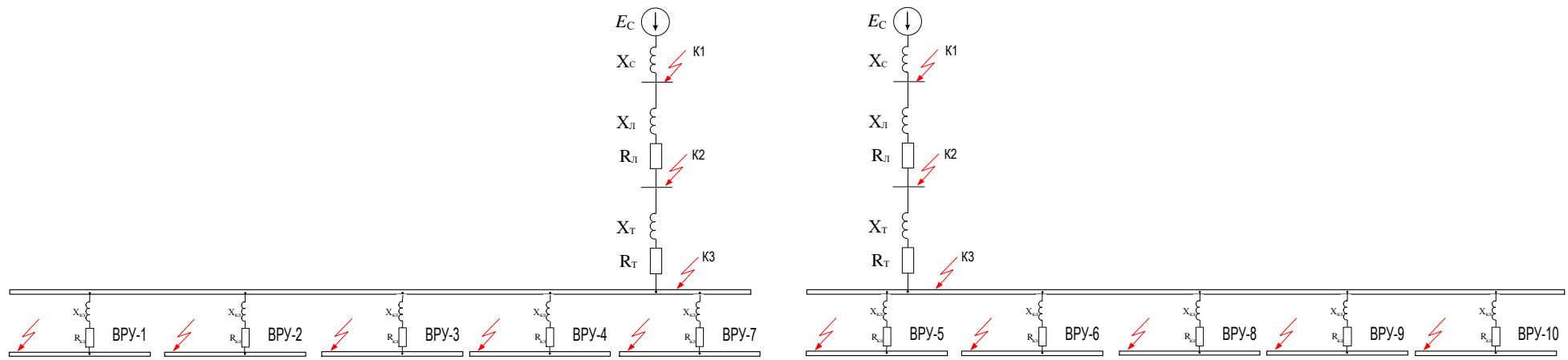


Рисунок 3.2 – Схема замещения

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_C + x_L = 0,29 + 2,17 = 2,46 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_L = 1,51 \text{ Ом.}$$

$$I_{K2} = \frac{U_{cp.nom}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,46^2 + 1,51^2}} = 1,26 \text{ кА.}$$

$$i_{yд K2} = \sqrt{2} \cdot k_{yд} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,26 = 3,21 \text{ кА.}$$

При расчете сопротивлений приведение к одной ступени напряжения производится исходя из существующей шкалы средних номинальных напряжений. Пересчет сопротивлений производится по выражению [25]:

$$X_k = X_{hom} \cdot \left( \frac{U_{cp.k}}{U_{cp.nom}} \right)^2, \quad (3.8)$$

где  $X_k$  – сопротивление (Ом), приведенное к ступени напряжения  $U_{cp.k}$ ;  $X_{hom}$  – сопротивление (Ом), заданное при напряжении  $U_{cp.nom}$ ;  $U_{cp.k}$  – среднее эксплуатационное напряжение ступени короткого замыкания, к которому пересчитываются все сопротивления сети, кВ;  $U_{cp.nom}$  – среднее эксплуатационное напряжение на ступени номинального напряжения элемента.

Приведенное сопротивление системы:

$$x_C = \frac{U_{hom}^2}{S_c} \cdot \left( \frac{U_{cp.k}}{U_{cp.nom}} \right)^2 = \frac{6000^2}{136,4 \cdot 10^6} \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 1,06 \text{ мОм,}$$

где  $S_c$  – мощность системы.

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

$$x_L = x_{yдL} \ell_L \cdot \left( \frac{U_{cp.k}}{U_{cp.nom}} \right)^2 = 0,434 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 1,06 \text{ мОм.}$$

$$r_L = r_{yдL} \ell_L \left( \frac{U_{cp.k}}{U_{cp.nom}} \right)^2 = 0,301 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 6,07 \text{ мОм.}$$

По [25] при расчете токов КЗ в сетях рекомендуется учитывать сопротивление следующим образом: 0,02 Ом – для ВРУ, а также на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций или главных

магистралей.

Определяем сопротивление трансформатора:

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{\text{к.з.}}}{S_{\text{ном.тр.}}} \cdot \frac{U_{\text{ном.}}^2}{S_{\text{ном.тр.}}} \cdot 10^6 = \frac{12,2}{1000} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^6 = 1,95 \text{ мОм};$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_{\kappa}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{к.з.}}}{S_{\text{ном.тр.}}}\right)^2} \frac{U_{\text{ном.}}^2}{S_{\text{ном.тр.}}} \cdot 10^6 = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{12,2}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^6 = 8,58 \text{ мОм.}$$

Рассчитаем сопротивление и ток КЗ в точке К3 на вводе низшего напряжения цеховой подстанции:

$$x_{\Sigma K3} = x_C + x_{\pi} + x_{mp} = 1,06 + 8,75 + 8,58 = 18,39 \text{ мОм.}$$

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:

$$r_{\Sigma K3} = r_{mp} + r_{\pi} + r_{\text{до\sigma}} = 1,95 + 6,07 + 15 = 23,02 \text{ мОм.}$$

$$\frac{x_{\Sigma K3}}{r_{\Sigma K3}} = 0,8, \text{ следовательно, } K_{y\partial} = 1,04 \text{ [12, с. 143].}$$

$$I_{K3} = \frac{U_{cp.\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K3}^2 + r_{\Sigma K3}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{18,39^2 + 29,02^2}} = 7,84 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial K3} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,04 \cdot 7,84 = 11,53 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К4.

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{\text{КЛ СП-1}} \cdot l = 18,39 + 0,0596 \cdot 90 = 23,754 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma K4} = r_{\Sigma K3} + r_{\text{КЛ СП-1}} \cdot l + r_{\text{до\sigma перв}} = 23,02 + 0,167 \cdot 90 + 5 = 43,050 \text{ мОм.}$$

$$\frac{x_{\Sigma K4}}{r_{\Sigma K4}} = 1,03, \text{ следовательно } K_{y\partial} = 1,0 [12, с. 168].$$

$$I_{K4} = \frac{U_{cp.\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{23,754^2 + 43,050^2}} = 4,697 \text{ кА,}$$

$$i_{y\partial K4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 4,697 = 6,643 \text{ кА.}$$

Для остальных точек расчет аналогичен (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Расчет токов к.з.

Точка КЗ	Кабель между СП и элек-троприемником №:		Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	r <sub>0</sub> , Ом/км	x <sub>0</sub> , Ом/км	Точка КЗ	R <sub>кл</sub> , мОм	X <sub>кл</sub> , мОм	R <sub>добр.</sub> , мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	I <sub>кз</sub> , кА	K <sub>у</sub>	i <sub>уд</sub> , кА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
K4	BPU-1	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	90	0,167	0,0596	K4	15,030	5,364	20	43,050	23,754	49,169	4,697	1	6,643
K5	BPU-2	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	130	1,94	0,0675	K5	252,200	8,775	20	280,220	27,165	281,534	0,820	1	1,160
K6	BPU-3	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	75	1,94	0,0675	K6	145,500	5,063	20	173,520	23,453	175,098	1,319	1	1,865
K7	BPU-4	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	95	0,326	0,0602	K7	30,970	5,719	20	58,990	24,109	63,726	3,624	1	5,125
K8	BPU-5	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	10	3,1	0,073	K8	31,000	0,730	20	59,020	19,120	62,040	3,722	1	5,264
K9	BPU-6	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	50	0,443	0,0612	K9	22,150	3,060	20	50,170	21,450	54,563	4,233	1	5,986
K10	BPU-7	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	60	0,0645	0,02935	K10	3,870	1,761	20	31,890	20,151	37,723	6,122	1	8,658
K11	BPU-8	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	40	0,0645	0,02935	K11	2,580	1,174	20	30,600	19,564	36,320	6,358	1	8,992
K12	BPU-9	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	75	0,258	0,0602	K12	19,350	4,515	20	47,370	22,905	52,617	4,389	1	6,207
K13	BPU-10	-	Шины НН КТП	23,02	18,39	165	3,1	0,073	K13	511,500	12,045	20	539,520	30,435	540,378	0,427	1	0,604

Для расчета однофазного тока к.з. по [25] рекомендуется следующая упрощенная формула:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_\Pi}, \quad (3.9)$$

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

Полное сопротивление петли «фазный - нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{\left(R_\phi + R_d + R_h + R_{TT} + R_A\right)^2 + \left(X' + X'' + X_C + X_{TT} + X_A\right)^2}, \quad (3.10)$$

где  $R_\phi, R_h$  – суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов всех участков рассчитываемой цепочки (ТП - ВРУ - 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 (см. ниже);

$X_c$  – сопротивление питающей системы,

$X'$  – внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, принимается равным 0,6 Ом/км.

При расчете однофазных токов короткого замыкания будем учитывать сопротивление автоматических выключателей, которые включают в себя сопротивления катушек максимального тока автомата и переходное сопротивление контактов определенное по [25].

Выполним расчет тока однофазного короткого замыкания для ВРУ-1:

По [25, таблица 1.9.1, с. 61] определяем полное сопротивление выбранного в п.12 трансформатора:

$$Z_T = 81 \text{ мОм} = 0,081 \text{ Ом (при мощности 1000 кВА).}$$

Полное сопротивление петли «фазный – нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{\left(90 \cdot 0,167 + 30 + 90 \cdot 0,167 + 0,15 + 0,55\right)^2 + \left(0,6 \cdot 90 + 1,06 + 0,21 + 0,17\right)^2} = 82,252 \text{ мОм.}$$

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

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + Z_\Pi} = \frac{400 / \sqrt{3}}{0.081 / 3 + 0,082252} = 2113.83 \text{ A.}$$

Расчет однофазных коротких замыканий на шинах каждого ВРУ производится аналогичным образом. Для отдельных электроприемников расчет однофазного короткого замыкания делается с учетом сопротивлений на ВРУ. Расчеты сведем в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Расчет токов однофазного к.з.

Номер СП или ЭП														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ВРУ-1	81	90	0,167	30	0,15	0,55	0,6	1,06	0,21	0,17	60,76	55,44	82,252	2113,83
ВРУ-2	81	130	1,94	30	0,15	2,05	0,6	1,06	0,21	1,2	536,6	80,47	542,6	405,44
ВРУ-3	81	75	1,94	30	0,15	2,05	0,6	1,06	0,21	1,2	323,2	47,47	326,667	652,99
ВРУ-4	81	95	0,326	30	0,15	0,74	0,6	1,06	0,21	0,36	92,83	58,63	109,795	1688,22
ВРУ-5	81	10	3,1	30	0,15	2,05	0,6	1,06	0,21	1,2	94,2	8,47	94,58	1899,49
ВРУ-6	81	50	0,443	30	0,15	1,4	0,6	1,06	0,21	0,7	75,85	31,97	82,312	2112,67
ВРУ-7	81	60	0,0645	30	0,15	0,25	0,6	1,06	0,21	0,1	38,14	37,37	53,396	2872,53
ВРУ-8	81	40	0,0645	30	0,15	0,25	0,6	1,06	0,21	0,1	35,56	25,37	43,682	3267,31
ВРУ-9	81	75	0,258	30	0,15	0,74	0,6	1,06	0,21	0,36	69,59	46,63	83,768	2084,9
ВРУ-10	81	165	3,1	30	0,15	15	0,6	1,06	0,21	9	1068,15	109,27	1073,725	209,81

Проверка на отключающую способность осуществляется по выражению:

$$I_{\text{ОТКЛНОМ}} \geq I_{K3\text{MAX}}. \quad (3.11)$$

Так, как  $I_{\text{ОТКЛНОМ}} > I_{K3}^{(3)}, \text{ кA}$ , то все автоматы выбраны правильно, и подходят по отключающей способности к токам к.з. (таблица 3.9).

Произведем проверку чувствительности автоматических выключателей на линиях к однофазным КЗ по условию чувствительности [25, с. 291, 294]:

$$\frac{I_{K3}^{(1)}}{I_{\text{рц,ном}}} \geq 3. \quad (3.12)$$

Данное условие выполняется для всех автоматов (таблица 3.10).

Таблица 3.9 – Проверка автоматических выключателей

Место установки	Тип автоматического выключателя	Предельная отключающая способность, кА	Номер точки КЗ	$I_{K3}^{(3)}$ , кА
1	2	3	4	5
Вводной автомат QF1, QF3	BA 53-45	36	K3	7,84
Секционный автомат QF2	BA 53-41	25	K3	7,84
Автомат защиты КУ	BA 51-35	15	K3	7,84
Автомат защитыЩО	BA 47-29	15	K3	7,84
ВРУ-1	BA 51-37	25	K4	4,697
ВРУ-2	BA 51-31	7	K5	0,82
ВРУ-3	BA 51-31	7	K6	1,319
ВРУ-4	BA 51-35	15	K7	3,624
ВРУ-5	BA 51-31	7	K8	3,722
ВРУ-6	BA 51-35	15	K9	4,233
ВРУ-7	BA 53-41	25	K10	6,122
ВРУ-8	BA 53-41	25	K11	6,358
ВРУ-9	BA 51-35	15	K12	4,389
ВРУ-10	BA 51-25	3	K13	0,427

Таблица 3.10 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ

Место установки (КТП, СП или ЭП)	Номер точки КЗ	Тип выключателя	$I_{\text{рц,ном}}$ , А	$I_{K3(1)}$ , А	$I_{K3(1)} / I_{\text{рц,ном}}$
1	2	3	4	5	6
Вводной автомат QF1, QF3	K3	BA 53-45	2500	7056	2,82
Секционный автомат QF2	K3	BA 53-41	1000	7056	7,06
Автомат защиты КУ	K3	BA 51-35	500	7056	14,11
Автомат защитыЩО	K3	BA 47-29	25	7056	282,24
ВРУ-1	K4	BA 51-37	400	2113,83	5,28
ВРУ-2	K5	BA 51-31	100	405,44	4,05
ВРУ-3	K6	BA 51-31	100	652,99	6,53
ВРУ-4	K7	BA 51-35	250	1688,22	6,75
ВРУ-5	K8	BA 51-31	100	1899,49	18,99
ВРУ-6	K9	BA 51-35	160	2112,67	13,2
ВРУ-7	K10	BA 53-41	1000	2872,53	2,87
ВРУ-8	K11	BA 53-41	1000	3267,31	3,27
ВРУ-9	K12	BA 51-35	250	2084,9	8,34
ВРУ-10	K13	BA 51-25	25	209,81	8,39

### 3.7 Проверка по допустимым потерям напряжения в силовой сети

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 ВРУ-7;

2. Для самого удаленного ВРУ-10.

Величина отклонения напряжения рассчитывается по формуле:

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

Потери в линии определяются выражением:

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

Потери в трансформаторе КТП определяются выражением:

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

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

$$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2},$$

$$U_a = \Delta P_{\text{к.з.}} / S_{\text{ном.тр.}} \cdot 100.$$

Оценка качества напряжения для самого мощного электроприемника.

При расчетах используем данные из предыдущих расчетов.

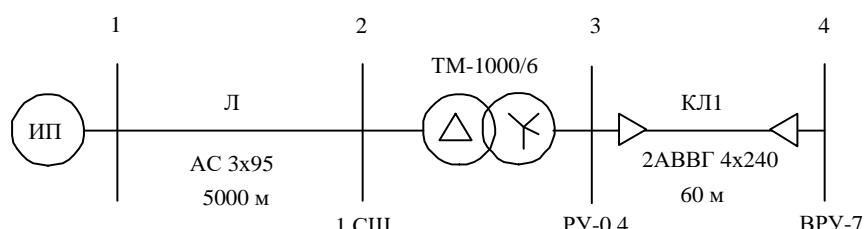


Рисунок 3.3 – Расчетная схема

Максимальный режим.

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

Максимальный режим.

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

$$\Delta U_L = 2,84 \text{ \%}.$$

Отклонение напряжения относительно номинального в линии Л:

$$V_2 = 5 - 2,84 = 2,16 \text{ \%}.$$

$$\Delta U_L = 2,84 * 6000 / 100 = 170,4 \text{ В.}$$

тогда напряжение в конце линии Л составит:

$$U_2 = 6300 - 170,4 = 6129,6 \text{ В.}$$

Вычислим потери напряжения в трансформаторе.

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

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

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

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

Мощность третьего уровня:

$$S_{\text{III}} = 1153,41 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{\text{III}}}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{1153,41}{2 * 1000} = 0,58.$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{тр}} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) = \\ &= 0,58 \cdot (1,22 \cdot 0,94 + 5,36 \cdot 0,34) = 1,73\%. \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\text{тр1}} = \Delta U_{\text{тр}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{100} = 1,72 \cdot \frac{6000}{100} = 103,2 \text{ В.}$$

Напряжение на шинах НН трансформатора, приведенное к ВН:

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{\text{тр1}} = 6129,6 - 103,2 = 6026,4 \text{ В.}$$

Коэффициент трансформации:

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

$$K_{\text{тр}} = \frac{380}{6000} = 0,063.$$

$$U_{2\text{HH}} = U_2 \cdot K_{\text{tp}},$$

$$U_{2\text{HH}} = 6026,4 \cdot 0,063 = 381,67 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения относительно номинального:

$$V_3 = \frac{U_{2\text{HH}} - U_{\text{ном HH}}}{U_{\text{номHH}}} \cdot 100 = \frac{381,67 - 380}{380} \cdot 100 = 0,44 \text{ %.}$$

Потеря напряжения в линии КЛ1, соединяющем РУ-0,4 и ВРУ-7:

$$\Delta U_{3-4} = 4,56 \text{ В.}$$

Напряжение в конце кабеля КЛ1, у ВРУ-7:

$$U_4 = U_{2\text{HH}} - \Delta U_{3-4} = 381,67 - 4,56 = 377,11 \text{ В.}$$

Отклонение напряжения в конце кабеля относительно номинального:

$$V_4 = \frac{377,11 - 380}{380} \cdot 100 = -0,76 \text{ %.}$$

$0,76\% < 10\%$ . Условие выполняется, потери допустимы.

Расчеты для минимального режима для самого мощного электроприемника аналогичны (таблица 3.11). Нагрузка в минимальном режиме принята равной 70% от нагрузки максимального режима. Все необходимые параметры для расчета представлены в таблице 3.11.

Оценка качества напряжения для самого удаленного электроприемника. При расчетах используем данные из предыдущих расчетов.

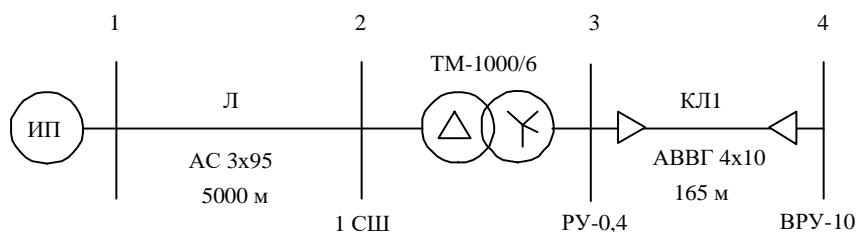


Рисунок 3.4 – Расчетная схема

Расчеты для трех режимов для самого удаленного электроприемника аналогичны (таблица 3.12). 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 3.12.

Таблица 3.11 – Анализ качества напряжения (расчет отклонений напряжения) для самого мощного ВРУ-7

Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	$I_p$ , А				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U$ , В		Отклонение напряжения V, %
Максимальный режим	1-2	0,94	0,34	5	0,301	0,434	57,09				2,84	170,4	6129,6		2,16
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$ , кВт	$S_{III}$ , кВА	Ст.ном, кВА	$U_a$ , %	$U_k$ , %	$U_p$ , %	$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U_{bh}$ , В	$U_{hn}$ , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,94	0,34	0,58	12,2	576,705	1000	1,22	5,5	5,36	1,72	103,2	6026,4	381,67	0,44
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U$ , В		
	3-4	0,75	0,66	645,54	0,06	0,0645	0,02935				1,2	4,56	377,11		-0,76
Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	$I_p$ , А				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U$ , В		Отклонение напряжения V, %
Минимальный режим	1-2	0,94	0,34	5	0,301	0,4	39,963				1,988	125,24	5874,76		-1,988
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$ , кВт	$S_{III}$ , кВА	Ст.ном, кВА	$U_a$ , %	$U_k$ , %	$U_p$ , %	$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U_{bh}$ , В	$U_{hn}$ , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,94	0,34	0,4	12,2	403,69	1000	1,22	5,5	5,36	1,19	71,4	5803,36	367,55	-3,28
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U$ , В		
	3-4	0,75	0,66	645,54	0,06	0,0645	0,02935				0,84	3,192	364,358		-4,12
Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	$I_p$ , А				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U$ , В		Отклонение напряжения V, %
Последаварийный режим	1-2	0,94	0,34	5	0,301	0,4	114,18				5,68	357,84	5942,16		-0,68
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$ , кВт	$S_{III}$ , кВА	Ст.ном, кВА	$U_a$ , %	$U_k$ , %	$U_p$ , %	$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U_{bh}$ , В	$U_{hn}$ , В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,94	0,34	1,15	12,2	1153,41	1000	1,22	5,5	5,36	3,41	204,6	5737,56	363,38	-4,37
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	$U$ , В		
	3-4	0,75	0,66	645,54	0,06	0,0645	0,02935				1,2	4,56	358,82		-5,57

Таблица 3.12 – Анализ качества напряжения (расчет отклонений напряжения) для самого удаленного ВРУ-10

Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	Ip, А				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Максимальный режим	1-2	0,94	0,34	5	0,301	0,434	57,09				2,84	170,4	6129,6		2,16
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$ , кВт	$S_{III}$ , кВА	St.ном, кВА	Ua, %	Uк, %	Up, %	$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	Ubн, В	Uhh, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,94	0,34	0,58	12,2	576,705	1000	1,22	5,5	5,36	1,72	103,2	6026,4	381,67	0,44
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	U, В		
	3-4	0,8	0,6	21,74	0,165	3,1	0,073				4,13	15,69	365,98		-3,69
Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	Ip, А				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Минимальный режим	1-2	0,94	0,34	5	0,301	0,434	39,963				1,988	119,28	5880,72		-1,988
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$ , кВт	$S_{III}$ , кВА	St.ном, кВА	Ua, %	Uк, %	Up, %	$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	Ubн, В	Uhh, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,94	0,34	0,4	12,2	403,69	1000	1,22	5,5	5,36	1,19	71,4	5809,32	367,92	-3,18
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	U, В		
	3-4	0,8	0,6	21,74	0,165	3,1	0,073				2,891	10,983	356,937		-6,07
Режим	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	Ip, А				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	U, В		Отклонение напряжения V, %
Послеварийный режим	1-2	0,94	0,34	5	0,301	0,434	114,18				5,68	357,84	5942,16		-0,68
	Участок	$\cos(\phi)$	$\sin(\phi)$	$K_3(\beta)$	$\Delta P_{k.z.}$ , кВт	$S_{III}$ , кВА	St.ном, кВА	Ua, %	Uк, %	Up, %	$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	Ubн, В	Uhh, В	Отклонение напряжения V, %
	2-3	0,94	0,34	1,15	12,2	1153,41	1000	1,22	5,5	5,36	3,41	204,6	5737,56	363,38	-4,37
	Участок	$\cos\phi$	$\sin\phi$	I, А	l, км	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км				$\Delta U$ , %	$\Delta U$ , В	U, В		
	3-4	0,8	0,6	21,74	0,165	3,1	0,073				4,13	15,69	347,69		-8,5

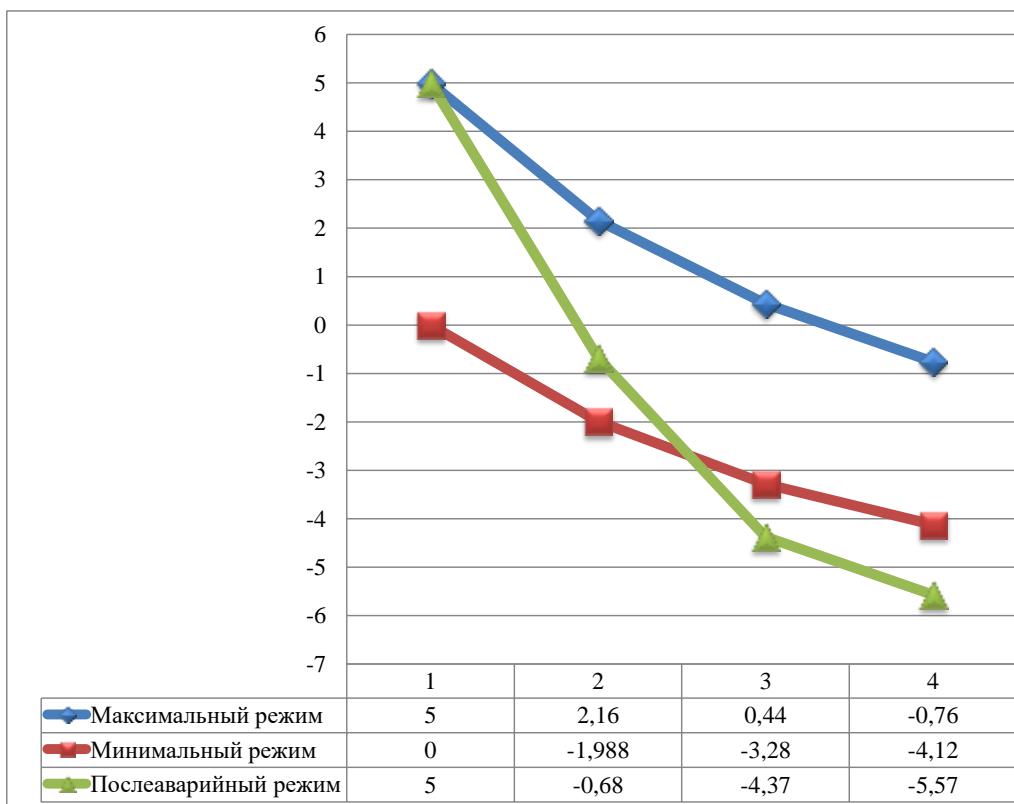


Рисунок 3.5 – Эпюры отклонений напряжения для мощного ВРУ-7

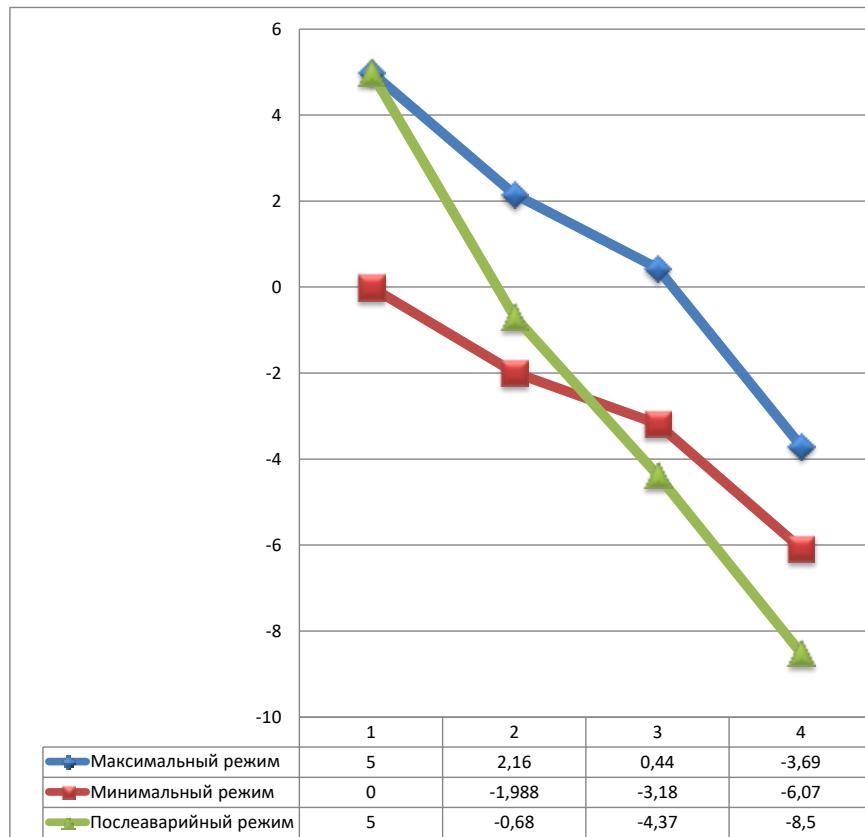


Рисунок 3.6 – Эпюры отклонений напряжения для удаленного ВРУ-10

Потери напряжения находятся в допустимых пределах.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ВКР описывается организация техпроцессов предприятия, сведения и характеристики электрических приемников, а также, по какой категории надежности их запитывать для ООО «Бентонит Хакасии». Проведен расчет электрических нагрузок на стороне до 1000 В и выше 1000 В, построена картограмма нагрузок предприятия, а также произведен расчет осветительной нагрузки методом удельной мощности на единицу площади.

Координаты всех ТП согласованы с ЦЭН, получившимися для каждой из подстанций. Все ТП получились двухтрансформаторные, одни из которых питают цеха, относящиеся к разным категориям по надежности электроснабжения.

Произведено проектирование схемы внешнего питания с учетом величины наиболее целесообразного напряжения ООО «Бентонит Хакасии». Произведен расчет электрооборудования и проводников внутреннего и внешнего электроснабжения с указанием выбранных параметров и обоснованием выбора. Проведен выбор электрооборудования до 1000 В и выше 1000 В. Осуществлен выбор выключателей, установленных в каждой ТП на предприятии, а также питающих кабельных линий 0,4 кВ, идущих от ВРУ каждого цеха до соответствующей ТП.

По расчетной схеме для расчета токов короткого замыкания составлена схема замещения и рассчитаны необходимые параметры КЗ.

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

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебник / Т. В. Анчарова [и др.] - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 414 с. : ил. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-500-4 <https://new.znanium.com/catalog/document?id=345168> (дата обращения 10.06.2020).
2. Афонин В. В. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1 / В. В. Афонин, К. А. Набатов ; Тамбовский гос. техн. ун-т. - Тамбов : ТГТУ : ЭБС АСВ, 2015. - 90 с. : ил. - ISBN 978-5-8265-1387-3. <http://www.iprbookshop.ru/64621.html> (дата обращения 10.06.2020).
3. Богданов, А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Богданов, А. В. Бондарев. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 82 с.- 8-987-903550-43-2. <http://www.iprbookshop.ru/69913.html> (дата обращения 10.06.2020).
4. Вахнина, В. В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.]; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2016. - 78 с. : ил. - Библиогр.: с. 76-78. - ISBN 978-5-8259-0929-5. <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976> (дата обращения 10.06.2020).
5. Вахнина, В. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с. : ил. - Библиогр.: с. 35. - Прил.: с. 36-46. - ISBN 978-5-8259-0915-8. <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943> (дата обращения 10.06.2020).
6. Вахнина, В. В. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: учебно-методическое пособие для студентов направления 13.03.02 / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 35 с.
7. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / В.В. Вахнина. – 2-е изд., стер. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 68 с.
8. Кокин С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: Учебное пособие / Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И., - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 100 с. ISBN 978-5-9765-3134-5. <https://new.znanium.com/catalog/document?id=303848> (дата обращения 10.06.2020).
9. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. – Электрон. дан. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2014. –

510 с. <https://e.lanbook.com/book/72338> (дата обращения 10.06.2020).

10. Кулеева Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 111 с. ISBN 978-5-7410-1542-1. <http://www.iprbookshop.ru/69935.html> (дата обращения 10.06.2020).

11. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

12. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - М: "Инфра-Инженерия", 2018. - 148 с.- ISBN 978-5-9729-0207-1. <https://new.znanium.com/catalog/document?id=326355> (дата обращения 10.06.2020).

13. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: АООТ ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция).- 78 с.

14. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Н. Ополева. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 416 с. - ISBN 978-5-8199-0769-6. <https://new.znanium.com/catalog/document?id=345761> (дата обращения 10.06.2020).

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 262 с. ISBN 978-5-16-009744-2 <https://new.znanium.com/catalog/document?id=304269> (дата обращения 10.06.2020).

16. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. - М.: ЭНАС, 2013. - 104 с. ISBN 978-5-4248-0036-8. <http://www.iprbookshop.ru/76191.html> (дата обращения 10.06.2020).

17. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.

18. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.

19. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 - 750 кВ [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые данные. - М. : ЭНАС, 2017. - 80 с. ISBN 978-5-4248-0135-8. <http://www.iprbookshop.ru/76194.html> (дата обращения 10.06.2020).

20. Релейная защита и автоматика в электрических сетях [Электронный ресурс] / ред. В. В. Дрозд. - Электрон. текстовые данные. - М. : Издательский дом ЭНЕРГИЯ, Альвис, 2012. - 632 с. - 978-5-904098-21-6. <http://www.iprbookshop.ru/22702.html> (дата обращения 10.06.2020).

21. Релейная защита электроэнергетических систем / Андреев М.В., Ру-

бан Н.Ю., Суворов А.А., Гусев А.С., Сулайманов А.О. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. - 167 с. - ISBN 978-5-4387-0796-7. <https://new.znanium.com/catalog/document?id=344694> (дата обращения 10.06.2020).

22. Русина, А. Г. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. - Электрон. текстовые данные. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. - 400 с. -. - ISBN 978-5-7782-2463-6. <http://www.iprbookshop.ru/45157.html> (дата обращения 10.06.2020).

23. Соловьев, А. Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад ; под ред. А. В. Беляев. - Электрон. текстовые данные. - СПб. : Политехника, 2016. - 176 с. - 978-5-7325-1100-0. <http://www.iprbookshop.ru/59516.html>

24. Хромченко, Г. Е. Проектирование кабельных сетей и проводок / Г. Е. Хромченко, П.И. Анастасиев, Е.З. Бранзбург, А.В. Коляда. - М.: Энергия, 2010. – 397 с.

25. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 214 с.

26. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев и др. - Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2012. - 68 с. - ISBN 978-5-7638-2555-8. <https://new.znanium.com/catalog/document?id=163547> (дата обращения 10.06.2020).

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. 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.

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  
«26 » 06 2020 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Реконструкция внешнего электроснабжения ООО «Бентонит Хакасии» в связи  
с вводом в работу линии активации глины №3  
тема

Руководитель Голубев 26.06.20  
подпись, дата

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

А. В. Коловский  
инициалы, фамилия

Выпускник Кузнецов 26.06.  
подпись, дата

М.А. Кузнецов  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер Кычакова 26.06.20.  
подпись, дата

И.А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2020