

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения судостроительного предприятия АО
ВП «ЭРА»

Обучающийся

Н.Б. Короткевич

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

На сегодняшний день судостроительная индустрия способствует стимулированию темпов экономического подъема во многих российских регионах. Благодаря становлению кораблестроительного кластера, затрагивающего целый ряд смежных отраслей от производства различных видов изделий из металла до освоения передовых технических решений, создаются дополнительные места для трудоустройства людей, активизируется процесс развития прибрежных территорий, происходит процесс создания производственной базы и развивается сфера научных и исследовательских институтов.

Разумеется, без системы электроснабжения невозможно справиться с подобными вопросами. Разработка проекта электроснабжения играет первостепенную роль во время ввода судостроительного предприятия в строй.

На основании этого целью данной работы выступает создание проекта системы электроснабжения судостроительного предприятия ОАО ВП «ЭРА».

В рамках достижения поставленной цели должны быть выполнены следующие задачи:

- изучить исходные данные;
- подготовить для ОАО ВП «ЭРА» проект системы электроснабжения;
- обеспечить высокую степень надежности и безопасности функционирования системы электроснабжения.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 62 стр., дополняемой 8 таблицами, 9 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика и общие сведения о предприятии.....	6
1.1 Классификация цехов предприятия	6
1.2 Характеристика цехов предприятия.....	7
1.3 Анализ состояния существующей системы электроснабжения.....	9
2 Разработка системы электроснабжения предприятия.....	14
2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия	14
2.2 Выбор числа и мощности трансформаторов	20
2.3 Определение центра электрических нагрузок	25
2.4 Расчет распределительной сети предприятия и выбор кабельных линий 10 кВ.....	28
2.5 Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП...	33
2.6 Расчет токов КЗ и выбор коммутационной и защитной аппаратуры	40
3 Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения.....	49
3.1 Расчет системы освещения территории предприятия.....	49
3.2 Расчет молниезащиты и заземления	53
Заключение	59
Список используемой литературы и используемых источников.....	61

Введение

Судостроительная промышленность играет важную роль в экономике России, предоставляя средства для морской транспортировки, обороны и исследования. Эффективность и надежность судостроительных предприятий напрямую зависят от качества и стабильности их электроснабжения. В данной выпускной квалификационной работе основное внимание уделяется разработке и проектированию системы электроснабжения для судостроительного предприятия.

За счет внедрения новейших разработок в области ремонта и обслуживания судов, а именно использования передовых разработок в сфере электроснабжения и автоматики, удалось значительно расширить масштабы судостроительных производств и обеспечить увеличение уровня качества работ и повышение их эффективности.

Задействование передового технологического оснащения и современных технологических схем изготовления разнообразной продукции судостроительной отрасли способствует наращиванию производственных мощностей предприятия, что затруднительно осуществить в условиях отсутствия новейших разработок в данной сфере.

Цель работы - создание эффективной, экономически оправданной и безопасной системы электроснабжения, способной удовлетворить все потребности современного судостроительного предприятия. Данная система должна быть спроектирована с учетом последних технологических инноваций и стандартов в области энергетики.

В процессе работы предполагается решение следующих задач:

- анализ текущего состояния судостроительного предприятия;
- изучение передовых технологий в области электроснабжения и их применимость на судостроительных предприятиях;

- разработка проекта системы электроснабжения, включая выбор оборудования, расчет необходимых мощностей и разработку схемы распределения электроэнергии;
- обеспечение высокой степени надежности и безопасности функционирования системы электроснабжения.

Объект исследования – судостроительное предприятие АО ВП «ЭРА».

Предмет исследования – система электроснабжения судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА».

Актуальность темы обусловлена постоянно растущими требованиями к энергоэффективности и надежности в промышленном секторе, а также необходимостью обновления и модернизации устаревших систем электроснабжения на многих судостроительных предприятиях.

Для достижения поставленных целей будет использоваться комплексный подход, сочетающий теоретические исследования, анализ лучших практик и инновационные инженерные решения, что позволит создать оптимальную систему электроснабжения для судостроительного предприятия.

Работа состоит из трех основных разделов и разработана согласно рекомендациям методических указаний в соответствии с действующими методами расчета и с нормативными предписаниями отраслевых стандартов.

В работе предложены мероприятия по организации надежности и безопасности в системе электроснабжения судостроительного предприятия, для чего разработана и рассчитана система заземления и молниезащиты. Также произведен расчет осветительной системы всей территории данного производства.

Таким образом, данная работа способствует повышению эффективности и надежности судостроительной отрасли, что является важным вкладом в развитие морской промышленности и экономики в целом.

1 Характеристика и общие сведения о предприятии

1.1 Классификация цехов предприятия

Судостроительное предприятие включает в себя различные производственные объекты, каждый из которых выполняет свою специализированную функцию в процессе обслуживания и ремонта судов. Ниже представлены производственные объекты, которые располагаются на предприятии:

- слесарно-монтажный цех, служит для проведения слесарных и монтажных работ, установки оборудования на судно;
- цех по производству секций, где изготавливаются отдельные секции или блоки корпуса, которые затем собираются вместе;
- цех по обработке металлов, для резки, сварки и обработки металлических листов и конструкций;
- малярный цех, предназначен для окраски судов и нанесения защитных покрытий;
- цех по изготовлению механизмов и оборудования, для сборки двигателей, насосов, систем управления и другого оборудования.
- электромонтажный цех, где выполняется установка и подключение электрических систем и оборудования;
- транспортный участок, организует внутренние и внешние транспортные потребности предприятия;
- инструментальный цех, ремонтирует инструменты, используемые на предприятии;
- складское помещение, для хранения материалов, комплектующих и оборудования;
- ремонтно-механический цех, предназначен для проведения ремонтных работ оборудования;

- лаборатория, для проведения тестов и испытаний оборудования и материалов;
- конструкторское бюро, отдел, занимающийся разработкой технической документации.

На исследуемом предприятии производственные цеха делятся на основные и вспомогательные. Основные цеха напрямую участвуют в технологическом процессе, в то время как вспомогательные объекты обеспечивают поддержку основного процесса производства.

В число основных цехов входят: слесарно-монтажный цех, цех по производству секций, цех по обработке металлов, малярный цех, цех по изготовлению механизмов и оборудования, электромонтажный цех.

К вспомогательным цехам, не участвующим непосредственно в производственном процессе, принадлежат все остальные объекты производства, не вошедшие в вышеприведенный перечень.

1.2 Характеристика цехов предприятия

Классификация по уровню надежности электроснабжения производственных предприятий, в том числе судостроительных, обычно включает в себя несколько ключевых категорий. Эти категории определяются исходя из критичности процессов, зависящих от электроэнергии, и потенциальных последствий от её отключения. Вот основные классы надежности электроснабжения [8]:

«Классификация электроприемников по уровню надежности электроснабжения:

- первая категория,
- первая особая категория,
- вторая категория,
- третья категория» [8].

В соответствии с классификацией, представленной в предыдущем подразделе, были выделены основные цеха/производственные зоны, а именно слесарно-монтажный цех, цех по производству секций, цех по обработке металлов, малярный цех, цех по изготовлению механизмов и оборудования, электромонтажный цех. По надежности электроснабжения эти цеха/производственные соответствуют первой категории. [8].

Среди вспомогательных цехов/производственных зон можно выделить: инструментальный цех, ремонтно-механический цех, лаборатория и конструкторское бюро. Представители данной группы занимаются работами, которые заметно воздействуют непосредственно на процесс изготовления продукции и, соответственно, на прибыль всего предприятия, в связи с чем их целесообразно классифицировать как вторую категорию надежности электроснабжения.

К третьей категории надежности электроснабжения можно отнести такие объекты, как транспортный участок и склад.

Далее, в таблице 1, цеха и зоны предприятия классифицированы по категориям надежности, а также в зависимости от особенностей условий производства.

Таблица 1 – Классификация производственных цехов и зон объекта в зависимости от категорий надежности и особенностей среды производства

Номер по плану	Название цехов/производственной зоны	Категория	Среда на производстве
1	Слесарно-монтажный цех	I	Пыльная, сухая
2	Цех по производству секций	I	Пыльная, сухая
3	Цех по обработке металлов	I	Пыльная, сухая
4	Малярный цех	I	Пыльная, жаркая
5	Цех по изготовлению механизмов и оборудования	I	Пыльная, сухая
6	Электромонтажный цех	I	Пыльная, сухая
7	Транспортный участок	III	Пыльная, сухая
8	Инструментальный цех	I	Пыльная, сухая
9	Складское помещение	III	Пыльная, сухая
10	Ремонтно-механический цех	II	Пыльная, сухая
11	Лаборатория	II	Нормальная
12	Конструкторское бюро	II	Нормальная

1.3 Анализ состояния существующей системы электроснабжения

На следующем этапе работы необходимо ознакомиться и проанализировать действующую схему электроснабжения исследуемого предприятия.

Главная задача - обнаружить уязвимые места в схеме и выявить существенно устаревшее оборудование для последующей замены.

Детализированная существующая схема судостроительного предприятия отражена в графической части проекта (слайд 2), упрощенная схема приводится на рисунке 1.

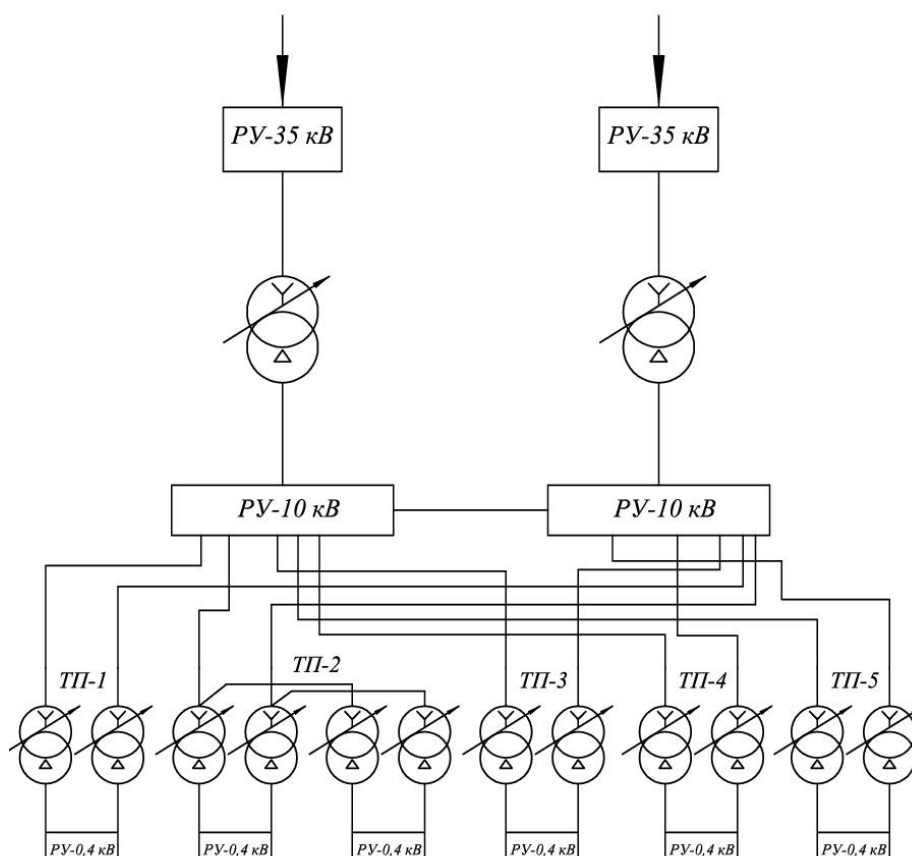


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема системы электроснабжения судостроительного предприятия

Ниже следует описание ключевых составляющих схемы.

В качестве источника электроснабжения предприятия служит главная понизительная подстанция (ГПП). ГПП запитано посредством двух

воздушных линий 35 кВ, протяженность линии равна 6,3 км, провод марки АС, поперечное сечение провода 35 мм².

Одним из первых анализируемых элементов схемы является открытое распределительное устройство 35 кВ (далее - ОРУ-35 кВ).

ОРУ 35 кВ предусматривает наличие двух питающих линий, которые подключаются непосредственно к устройствам защиты и коммутации и, в конечном итоге, осуществляют энергоснабжение силовых трансформаторов ТМН 4000/35.

Тип существующей схемы ОРУ – 35 кВ данного предприятия – двухлучевая без резервирования.

Основываясь на вышесказанном, а также изучив действующую схему электроснабжения, можно заключить, что в данной системе не предусмотрено резервирование со стороны питающих линий. Это является значительным недостатком, так как при производстве профилактических и ремонтных работ на ВЛ-35 требуется отключение напряжения не только самой линии, но и силового трансформатора на ГПП, что для потребителей I и II категорий является недопустимым в соответствии с предписаниями нормативно-технической литературы [10].

На данный недостаток необходимо ориентироваться в первую очередь во время выбора новой схемы электроснабжения судостроительного предприятия.

Затем следует рассмотреть оборудование, установленное на ОРУ-35 кВ. Марки устройств и дата их ввода в эксплуатацию приведены ниже:

- масляные выключатели С-35-20/2000 (были введены в эксплуатацию в 1983 году после модернизации);
- трансформаторы тока ТПОЛ-35 (были введены в эксплуатацию в 1983 году после модернизации);
- разъединители типа РВ-35М-35-1000 (данные аппараты были установлены в 1991 году для замены предшествующих, которые были

- выведены из эксплуатации из-за аварии на распределительном устройстве);
- трансформатор напряжения ЗОМ-1/24-69У1 (установлен в ходе модернизации распределительного устройства в 1983 году);
 - заземлитель нейтрали трансформатора ЗОН-35 (установлен в ходе модернизации распределительного устройства в 1983 году);
 - разрядники РВО-35 (установлен в ходе модернизации распределительного устройства в 1983 году);
 - силовые трансформаторы ТМН 4000/35 (были введены в эксплуатацию в 1983 году после модернизации);
 - трансформаторы собственных нужд ТЛС(З)-СЭЩ - 25 кВА (установлены в 2018 году, заменившие предыдущие, которые были выведены из эксплуатации из-за технических неполадок, вызванных естественным износом).

«По результатам проведенного в ходе исследования анализа указанной выше информации следует вывод, что за исключением трансформаторов собственных нужд, все электротехнические устройства, которые на данный период времени смонтированы в ОРУ-35 кВ, являются физически изношенными с полным исчерпанием их срока службы, а значит, требуют полной замены» [17].

Следующим по важности составным элементом принципиальной схемы главной понизительной подстанции переменного напряжения системы наружного энергоснабжения судостроительного предприятия именуется комплектное распределительное устройство 10 кВ (РУ-10 кВ).

РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ на предприятии выполнено при помощи комплектного распределительного устройства внутреннего монтажа (далее - КРУ). При этом разъединители не монтируются в ячейках РУ-10 кВ, поскольку замещаются разъёмными элементами КРУ, предусматривающими наличие видимого разъединения при выполнении ремонтных работ в ячейках.

В РУ-10 кВ ГТП-35/10 кВ системы энергоснабжения судостроительного предприятия на вводных, секционных и отходящих линиях размещены устройства защиты и коммутации приведенных ниже конструктивных решений и исполнений (слайд 2):

- трансформаторы тока типа ТПЛ – 10 (установлены в 1998 году по результатам реконструкции РУ-10 кВ);
- масляные выключатели типа ВМГ – 10 (установлены в 1998 году по результатам реконструкции РУ-10 кВ);
- измерительные трансформаторы напряжения НТМИ -10 (установлены в 1998 году по результатам реконструкции РУ-10 кВ);
- предохранители для обеспечения защиты трансформаторов напряжения марки ПКТ-10 (установлены в 1998 году по результатам реконструкции РУ-10 кВ);
- ограничители перенапряжения ОПН-10 10 (установлены в 1998 году по результатам реконструкции РУ-10 кВ).

Анализируя вышеприведенную информацию, можно сделать вывод, что аппараты, установленные в РУ-10 кВ, находятся в эксплуатации более 25 лет. При дальнейшей эксплуатации этих устройств может возрасти количество аварийных отказов на предприятии, что в свою очередь негативно скажется на рентабельности, поэтому оборудование на стороне 10 кВ также подлежит обязательной замене.

Выводы по разделу 1.

В данном разделе была проведена детальная классификация и описание производственных цехов судостроительного предприятия, что позволило выявить структуру и функциональные особенности каждого из них. Основные цеха, такие как слесарно-монтажный, по производству секций, по обработке металлов, малярный, по изготовлению механизмов и оборудования, а также электромонтажный цех, играют ключевую роль в производственном процессе. В то же время, вспомогательные цеха и зоны, включая инструментальный и ремонтно-механический цехи, лабораторию, складское помещение и

конструкторское бюро, обеспечивают необходимую поддержку основным производственным операциям.

Дополнительно был проведен анализ классификации цехов по уровню надежности электроснабжения, что имеет критическое значение для обеспечения бесперебойной работы предприятия. Было установлено, что основные производственные цеха соответствуют первой категории надежности, что подчеркивает их важность для производственного процесса. Вспомогательные цехи, такие как лаборатория и конструкторское бюро, классифицированы как вторая категория, а объекты, относящиеся к третьей категории, включают транспортный участок и складское помещение.

Также был проведен анализ существующей системы электроснабжения предприятия. Обнаружено, что большинство электротехнических устройств, включая оборудование ОРУ-35 кВ, физически изношены и требуют полной замены. Аналогичная ситуация наблюдается и в комплектном распределительном устройстве 10 кВ, где оборудование также подлежит обязательной замене из-за риска увеличения аварийных отказов, что может негативно сказаться на рентабельности предприятия.

Таким образом, данный раздел представляет собой всестороннее исследование производственной структуры и системы электроснабжения судостроительного предприятия, выявляя ключевые области, требующие внимания для повышения эффективности и надежности производственного процесса.

2 Разработка системы электроснабжения предприятия

2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия

Расчет электрических нагрузок при проектировании судостроительного предприятия имеет ряд важных целей:

- организация надежного энергоснабжения (сюда входит выбор оптимального оборудования и кабелей, рассчитанных на ожидаемые нагрузки);
- безопасность (неправильный расчет нагрузок может привести к перегрузкам и, как следствие, к возгораниям или другим опасным ситуациям);
- экономическая эффективность (расчет электрических нагрузок помогает избежать излишних затрат на установку более мощного оборудования, чем необходимо, и снижает эксплуатационные расходы, оптимизируя потребление электроэнергии);
- планирование будущего расширения (грамотный расчет нагрузок позволяет предусмотреть возможность будущего расширения и увеличения производственных мощностей без необходимости полной реконструкции электросети);
- качество электроэнергии (правильный расчет обеспечивает стабильность напряжения и частоты, что важно для точности и надежности работы сложного оборудования и электроники);
- оптимизация проекта (расчет нагрузок позволяет инженерам определить наиболее эффективные места размещения оборудования и распределительных устройств, учитывая, как текущие, так и будущие потребности предприятия).

«В расчетах на этапе проектных решений активную нагрузку можно вычислить с помощью следующей формулы: кВт:

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

где $P_p.$ – расчётная активная мощность цеха (участка), кВт;

K_c – коэффициент спроса цеха (участка), о.е.» [4].

«Предполагаемая реактивная нагрузка объектов электропотребления, квар:

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

где $Q_p.$ – расчетная реактивная мощность цеха (участка), квар;

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности цеха (участка), о.е.» [4].

«Проектная мощность активной осветительной нагрузки будет рассчитана согласно приведенной формуле, кВт:

$$P_{PO} = K_c \cdot F \cdot \sigma, \quad (3)$$

где K_c – коэффициент спроса для осветительных нагрузок;

F – площадь цеха (определяется по генплану предприятия), м²;

σ – удельная мощность освещения для люминесцентных ламп, Вт/м²» [5].

«Реактивная нагрузка освещения вычисляется по формуле, квар:

$$Q_{PO} = tg\varphi \cdot P_{PO}. \quad (4)$$

где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности освещения цеха» [5].

«Полная нагрузка осветительных, силовых приёмников каждого соответствующего участка/цеха завода вычисляется следующим образом:

$$S_p. = \sqrt{(P_n. + P_{p.o})^2 + (Q_n. + Q_{p.o})^2}. \quad (5)$$

Далее с помощью вышеприведенных формул (1) - (5) осуществляется вычисление нагрузки на примере слесарно-монтажного цеха (под номером 1 на генеральном плане).

Расчетная активная мощность электрических потребителей:

$$P_p = K_c P_H = 0,6 \cdot 1250 = 750 \text{ кВт.}$$

Нагрузка реактивной мощности цехов/ участков:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 750 \cdot 0,88 = 660 \text{ квар.}$$

Расчетная нагрузка на освещение помещения цеха:

$$P_{PO} = K_c \cdot F \cdot \sigma = 0,95 \cdot 4416 \cdot 12 = 50,34 \text{ кВт,}$$

$$Q_{PO} = \operatorname{tg} \varphi \cdot P_{PO} = 0,48 \cdot 50,34 = 24,16 \text{ квар.}$$

Суммарные активная, реактивная и полные мощности 0,4 кВ:

$$P_{PЦ} = P_p + P_{PO} = 750 + 50,34 = 800,34 \text{ кВт,}$$

$$Q_{PЦ} = Q_p + Q_{PO} = 660 + 24,16 = 684,16 \text{ квар,}$$

$$S_{PЦ} = \sqrt{800,34^2 + 684,16^2} = 1052,91 \text{ кВА} \gg [5].$$

Расчетные значения электрических нагрузок содержатся в таблице 2.

Таблица 2 – Данные по расчетам нагрузки предприятия

№ ЭП	Наименование потребителя	Силовая нагрузка							Осветительная нагрузка					Суммарная нагрузка		
		P _н , кВт	cosφ	tgφ	Kс	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	σ Вт/м ²	F, м ²	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар	S _{ро} , кВА	P _{рц} , кВт	Q _{рц} , квар	S _{рц} , кВА
1	Слесарно-монтажный цех	980	0,8	0,75	0,7	686	514,5	857,5	10	2100	19,95	9,58	22,13	705,95	524,08	879,22
2	Цех по производству секций	1350	0,8	0,75	0,7	945	708,75	1181,25	10	3625	34,44	16,53	38,2	979,44	725,28	1218,74
3	Цех по обработке металлов	850	0,8	0,75	0,7	595	446,25	743,75	9	4396	37,59	18,04	41,69	632,59	464,29	784,69
4	Малярный цех	95	0,8	0,75	0,6	57	42,75	71,25	10	20724	196,88	94,5	218,38	253,88	137,25	288,6
5	Цех по изготовлению механизмов и оборудования	750	0,8	0,75	0,7	525	393,75	656,25	10	1564	14,86	7,13	16,48	539,86	400,88	672,42
6	Электромонтажный цех	365	0,65	1,17	0,6	219	256,23	337,07	10	3716	35,3	16,94	39,15	254,3	273,17	373,22
7	Транспортный участок	125	0,65	1,17	0,5	62,5	73,13	96,2	8	10608	80,62	38,7	89,43	143,12	111,83	181,63
8	Инструментальный цех	450	0,8	0,75	0,5	225	168,75	281,25	12	1050	11,97	5,75	13,28	236,97	174,5	294,29
9	Складское помещение	105	0,8	0,75	0,5	52,5	39,38	65,63	12	1243	14,17	6,8	15,72	66,67	46,18	81,1
10	Ремонтно-механический цех	90	0,8	0,75	0,5	45	33,75	56,25	12	1849	21,08	10,12	23,38	66,08	43,87	79,32
11	Лаборатория	80	0,9	0,48	0,8	64	30,72	70,99	15	7875	112,22	53,87	124,48	176,22	84,59	195,47
12	Конструкторское бюро	35	0,9	0,48	0,8	28	13,44	31,06	15	1800	25,65	12,31	28,45	53,65	25,75	59,51
	Итого 0,4 кВ									60550				4108,73	3011,67	5094,29

Вычисляя необходимую мощность всего предприятия, следует принимать во внимание потребляемую мощность на наружное освещение [20].

«Расчет активной и реактивной мощности для освещения территории:

$$P_{\text{РОТ}} = F_{\text{ТЕР}} \cdot K_{\text{СОТ}} \cdot \sigma \quad (6)$$

$$Q_{\text{РОТ}} = P_{\text{РОТ}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (7)$$

$$F_{\text{ТЕР}} = F_{\text{ЗАВ}} - \Sigma F_{\text{Ц}} \quad (8)$$

где $F_{\text{ТЕР}}$ – освещаемая территория, м²;

$K_{\text{СОТ}}$ – коэффициент спроса освещаемой территории;

σ – удельная плотность освещения для газоразрядных ламп, Вт/м²;

$\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности освещения территории;

$F_{\text{ЗАВ}}$ – площадь завода (определяется по генплану предприятия), м²;

$\Sigma F_{\text{Ц}}$ – суммарная площадь цехов (определяется по таблице 2), м².

$$P_{\text{РОТ}} = F_{\text{ТЕР}} \cdot K_{\text{СОТ}} \cdot \sigma = 85700 \cdot 1 \cdot 0,04 = 3.43 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{РОТ}} = P_{\text{РОТ}} \cdot \text{tg}\varphi = 3.43 \cdot 0,48 = 1.65 \text{ квар},$$

$$F_{\text{ТЕР}} = F_{\text{ЗАВ}} - \Sigma F_{\text{Ц}} = 146250 - 60550 = 85700 \text{ м}^2 \text{» [10].}$$

«Дальнейшим этапом является расчет потерь в трансформаторе. Учитывая, что марка силового трансформатора пока неизвестна, следует принять в расчетах следующее:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{РЦ}}, \quad (9)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{\text{РЦ}} \quad (10)$$

где ΔP_T – потери активной мощности в трансформаторе, кВт;

$S_{\text{РЦ}}$ – полная расчетная цеховая мощность (из таблицы 2), кВт;

ΔQ_T – потери реактивной мощности в трансформаторе» [9].

«На основе полученных ранее расчетов нагрузки, потери в силовых трансформаторах будут следующими:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{PЦ} = 0,02 \cdot 5094.29 = 101.89 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{PЦ} = 0,1 \cdot 5094.29 = 509.43 \text{ квар}» [9].$$

«Общая нагрузка в сетях напряжением 0,4 кВ, в том числе потери в трансформаторах, плюс мощность, расходуемая для освещения территории предприятия, определяется согласно приведенным ниже уравнениям:

$$P_{PЗ} = (\Sigma P_{P0.4} + \Sigma P_{P10}) \cdot K_{PМ} + P_{POT} + \Delta P_T \quad (11)$$

$$Q_{PЗ} = (\Sigma Q_{P0.4} + \Sigma Q_{P10}) \cdot K_{PМ} + Q_{POT} + \Delta Q_T \quad (12)$$

где $\Sigma P_{P0.4}$ – активная расчетная цеховая мощность на 0,4 кВ, кВт;

ΣP_{P10} – активная расчетная цеховая мощность на 10 кВ, кВт;

$K_{PМ}$ – коэффициент разновременности максимумов;

P_{POT} – активная расчётная мощность освещения территории, кВт;

$\Sigma Q_{P0.4}$ – реактивная расчетная цеховая на 0,4 кВ, квар;

ΣQ_{P10} – реактивная расчетная цеховая мощность на 10 кВ, квар;

Q_{POT} – реактивная расчётная мощность освещения территории, квар» [15].

$$P_{PЗ} = (4108.73 + 0) \cdot 0,95 + 3.43 + 101.89 = 4008,61 \text{ кВт},$$

$$Q_{PЗ} = (3011.67 + 0) \cdot 0,95 + 1.65 + 509.43 = 3372.17 \text{ квар}.$$

Полная расчетная мощность завода:

$$S_{PЗ} = \sqrt{P_{PЗ}^2 + Q_{PЗ}^2} \quad (13)$$

$$S_{PЗ} = \sqrt{4008,61^2 + 3372.17^2} = 4559.18 \text{ кВА}.$$

По результатам выполненных расчетов электрической нагрузки предстоит выбрать и произвести проверку цеховых трансформаторных подстанций и трансформаторов главной понизительной подстанции на случай возникновения перегрузок при работе в аварийном режиме, а кроме того, осуществить выбор и проверку элементов токопроводов и устройств защиты на всех уровнях СЭС судостроительного предприятия.

2.2 Выбор числа и мощности трансформаторов

Как следует из требований специальной технической литературы [8], необходимо предусмотреть не менее двух трансформаторов для энергоснабжения цеховых абонентов I и II категории.

«Коэффициенты загрузки трансформаторов на двухтрансформаторных подстанциях:

- в нормальном режиме - от 0,6 до 0,7;
- в послеаварийном режиме - не более 1,4» [17].

«Выбор числа цеховых ТП осуществляется согласно нижеперечисленным требованиям по удельной плотности цеховой нагрузки:

- $\sigma < 0,5$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 400$ кВА;
- $\sigma < 0,5 \dots 1,5$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 630$ кВА;
- $\sigma < 1,5 \dots 2$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 1000$ кВА;
- $\sigma < 0,2 \dots 2,5$ кВА/м², то $S_{\text{тр}} < 1600$ кВА;
- $\sigma > 3$ кВА/м², то можно выбирать трансформаторы любой мощности, включая трансформаторы мощностью 2500 кВА и появившиеся в современной линейке мощностей 3200 кВА» [17].

«Удельная плотность нагрузки определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{S_{\text{рц}}}{F_{\text{ц}}} \quad (14)$$

где $S_{\text{рц}}$ – полная расчетная мощность цехов предприятия, кВА;

$F_{ц}$ — площадь всех цехов предприятия, м².

$$\sigma = \frac{5094.29}{60550} = 0,084 \text{ кВА/м}^2.$$

При плотности нагрузки $\sigma < 0,1$ кВА/м² целесообразно применять трансформаторы мощностью до 630 кВА.

В итоге выбирается трансформатор мощностью 630 кВА.

Необходимое количество трансформаторов для цехов N_{min} одинаковой мощности S_{HT} для обеспечения энергоснабжения присоединенных нагрузок:

$$N_{min} = \frac{P_p}{\beta_T S_{HT}} + \Delta N, \quad (15)$$

где P_p — «суммарная активная мощность предприятия на напряжении 0,4 кВ, кВт» [14];

β_T — «коэффициент загрузки трансформаторов» [14];

S_{HT} — «номинальная мощность трансформатора, кВА» [14].

$$N_{min} = \frac{4108.73}{0,6 \cdot 630} + 1,9 = 12.$$

Затем производственные цеха и корпуса в зависимости от требуемой мощности и размещения на территории разделяются по трансформаторным подстанциям» [14].

Полученные значения распределения групп потребителей судостроительного предприятия приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение групп потребителей судостроительного предприятия между цеховыми трансформаторными подстанциями

№ ТП	Номинальная мощность и кол-во трансформаторов	Номер цеха согласно генплану	Суммарная мощность, кВт
ТП-1	2×630	1	705,95
ТП-2	4×630	2,5	1519,3
ТП-3	2×630	3,7	775,71
ТП-4	2×630	4,11,12,10	549,83
ТП-5	2×630	6,8,9	557,94

«Ещё на этапе проектирования следует обеспечить минимальные потери электрической энергии (ЭЭ) в питающих и распределительных линиях завода. Уровень потерь ЭЭ складывается из двух принципиально значимых элементов: активно и реактивной. Сокращение потерь первого элемента не дает значительного экономического эффекта, а, наоборот, приводит к ухудшению пропускной способности линий и трансформаторных подстанций. На данный момент самым простым и дешевым способом снижения потерь является использование компенсирующих аппаратов» [1].

«Величина максимальной реактивной мощности, передавать которую через трансформаторы рационально в сетях с напряжением до 1 кВ, устанавливается по формуле:

$$Q_{\text{мах.тр}} = \sqrt{(N_{\text{опт}} \cdot \beta \cdot S_{\text{ном.т}})^2 - P_{0,4 \text{ кВ}}^2}, \quad (16)$$

где $N_{\text{опт}}$ – количество трансформаторов, установленных на ТП;

β – коэффициент загрузки трансформаторов, принятый при расчете минимального количества трансформаторов одного типоразмера [14];

$S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП, кВА;

$P_{0,4 \text{ кВ}}$ – суммарная активная мощность потребителей, присоединенных к ТП, кВт» [14].

«Пример расчета ТП - 1, в соответствии с условием (15):

$$Q_{\text{мах.тр}} = \sqrt{(2 \cdot 0,6 \cdot 630)^2 - 705,95^2} = 270,5 \text{ квар.}$$

Так как

$$Q_{\text{мах.тр}} < Q_{0,4 \text{ кВ}}, \quad (17)$$

$$270,5 \text{ квар} < 524,08 \text{ квар.}$$

где $Q_{0,4 \text{ кВ}}$ – «суммарная реактивная мощность потребителей, присоединенных к ТП, квар» [14].

Общая мощность конденсаторных батарей при питании напряжением до 1 кВ будет следующей, квар:

$$Q_{\text{НК1}} = Q_{0,4 \text{ кВ}} - Q_{\text{мах.тр}}, \quad (18)$$

$$Q_{\text{НК1}} = 524,08 - 270,5 = 253,58 \text{ квар.}$$

К установке принимаются две конденсаторных батареи мощностью 100 квар каждая.

Полная мощность на ТП-1 после компенсации:

$$S_{\text{ТП1}} = \sqrt{(P_p)^2 + (Q_p - Q_{\text{НК1}})^2} \quad (19)$$

$$S_{\text{ТП1}} = \sqrt{(705,95)^2 + (524,08 - 200)^2} = 776,78 \text{ кВА.}$$

В соответствии с выбранной мощностью трансформаторов требуется оценить фактические коэффициенты загрузки в нормальном и послеаварийном режимах эксплуатации трансформаторной подстанции при условии обеспечения компенсации реактивной мощности:

$$K_{з.ном} = \frac{S_{ТП1}}{N_T \cdot S_{ном.т}}, \quad (20)$$

$$K_{з.п.ав} = \frac{S_{ТП1}}{(N_T - 1) \cdot S_{ном.т}}. \quad (21)$$

где $S_{ТП1}$ – полная мощность ТП с учетом компенсации, кВА;

$S_{ном.т}$ – номинальная мощность установленного в ТП трансформатора, кВА.

В нормальном режиме для ТП-1:

$$K_{з.ном} = \frac{776,78}{2 \cdot 630} = 0,62.$$

В послеаварийном режиме для ТП-1:

$$K_{з.п.ав} = \frac{776,78}{630} = 1,23.$$

Результаты расчетов демонстрируют, что в нормальном и послеаварийном режимах значения данного параметра не выходят за пределы установленных норм» [14]. Значит, условия обеспечения взаимного резервирования соответствуют требованиям выбранных трансформаторов.

Аналогично были проведены расчеты с остальными потребителями, итоги сделанных вычислений сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Определение параметров и подбор конденсаторных модулей

№ ТП	Начальные параметры					Результирующие параметры				
	$N_{тр}$, шт	$P_{р.ТП}$, кВт	$Q_{р.ТП}$, квар	$Q_{маx.тр}$, квар	$Q_{БК}$, квар	$Q_{КУ.ном}$, квар	$n_{ку}$, шт	$S_{ТП}$, кВА	$K_{з.ном}$	$K_{з.п.ав}$
ТП-1	2	705,95	524,08	270,5	253,58	100	2	776,78	0,62	1,23
ТП-2	4	1519,3	725,28	612,19	113,09	50	4	1607,54	0,64	1,28
ТП-3	2	775,71	576,12	419,76	156,36	100	2	862,09	0,68	1,37
ТП-4	2	549,83	291,46	518,87	-227,41	0	0	622,3	0,49	0,99
ТП-5	2	557,94	493,85	510,14	-16,29	0	0	745,11	0,59	1,18

2.3 Определение центра электрических нагрузок

Судостроительные предприятия характеризуются сложной структурой энергопотребления, включающей разнообразные производственные цехи, складские и административные здания. Определение центров электрических нагрузок в таких условиях требует комплексного подхода, учитывающего как текущие потребности предприятия, так и перспективы его развития.

В данном разделе рассматриваются методологии и подходы к определению центров нагрузок, анализируются их основные характеристики и параметры. Особое внимание уделяется анализу нагрузок. Также рассматриваются вопросы оптимизации распределения нагрузок для повышения энергоэффективности и надежности электроснабжения.

Цель данного раздела – обеспечить теоретическую и практическую основу для разработки эффективной и экономически оправданной системы электроснабжения, способной удовлетворить все потребности судостроительного предприятия.

Чтобы визуализировать пропорцию силовых и осветительных нагрузок, все окружности обозначены сегментом, определяющим нагрузку на освещение.

«Радиус окружности» [14]:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{\text{РЦ},i}}{\pi t}}, \quad (22)$$

где t - «масштаб, выбранный для последующих расчетов, кВт/мм²» [14].

Совокупная мощность осветительной нагрузки от нагрузки цеха предприятия 0,4 кВт:

$$\alpha_{i0} = 360^\circ \frac{P_{PO i}}{P_{PC i}}, \quad (23)$$

где $P_{PO i}$ - «осветительная нагрузка цеха, кВт» [14];

$P_{PC i}$ - «общая нагрузка цеха, кВт» [14].

«ГПП будет располагаться вблизи центра электрических нагрузок. Для его нахождения требуется определить координаты цехов. Для этого необходимо установить оси координат с началом в левом нижнем углу завода:

$$X_0 = \frac{\sum P_{PC} \cdot X_i}{\sum P_{PC}}, \quad (24)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{PC} \cdot Y_i}{\sum P_{PC}}. \quad (25)$$

где X_i, Y_i - координаты центра нагрузки каждого цеха, м;

$\sum P_{PC}$ - расчетные нагрузки цехов, кВт.

$$X_0 = \frac{705,95 \cdot 65 + 979,44 \cdot 235 + \dots + 53,65 \cdot 25,65}{705,95 + 979,44 + \dots + 53,65} = 214,49 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{705,95 \cdot 399 + 979,44 \cdot 400 + \dots + 53,65 \cdot 29}{705,95 + 979,44 + \dots + 53,65} = 265,5 \text{ м}.$$

Итоги вычислений отражены в таблице 5» [14].

Таблица 5 – Итоги расчетов для построения картограммы электрических нагрузок и определения ЦЭН

Цех/корпус	$P_{PC i}$, кВт	$P_{PO i}$, кВт	X , м	Y , м	r , м	α_{i0} , град
Нагрузка с классом напряжения 0,4 кВ						
Слесарно-монтажный цех	705,95	19,95	65	399	21,2	10,17
Цех по производству секций	979,44	34,44	235	400	24,98	12,66
Цех по обработке металлов	632,59	37,59	143	329	20,07	21,39
Малярный цех	253,88	196,88	265	211	12,72	279,17

Продолжение таблицы 5

Цех/корпус	$P_{PЦ i}$, кВт	$P_{PO i}$, кВт	X, м	Y, м	r, м	α_{i0} , град
Цех по изготовлению механизмов и оборудования	539,86	14,86	285	371	18,54	9,91
Электромонтажный цех	254,3	35,3	45	246	12,73	49,97
Транспортный участок	143,12	80,62	180	192	9,55	202,79
Инструментальный цех	236,97	11,97	48	175	12,29	18,18
Складское помещение	66,67	14,17	45	134	6,52	76,51
Ремонтно-механический цех	66,08	21,08	45	77	6,49	114,84
Лаборатория	176,22	112,22	225	40	10,59	229,25
Конструкторское бюро	53,65	25,65	54	29	5,85	172,12
Итого	4108,73	604,73	-	-	-	-

По результатам произведенных вычислений вытекает, что ЦЭН расположилась на территории, находящейся в ведении завода, однако ГПП необходимо незначительно отодвинуть в сторону питающей линии, так чтобы ЦЭН не попадала на цеха 4 и 7 и не препятствовала движению внутризаводского транспорта. Также при таком способе размещения ГПП обеспечивается ширина коридора 50 м для прохождения двухцепной линии электропередачи [2].

В графической части проекта на слайде 1, а также на рисунке 2 изображенном ниже можно увидеть картограмму электрических нагрузок.

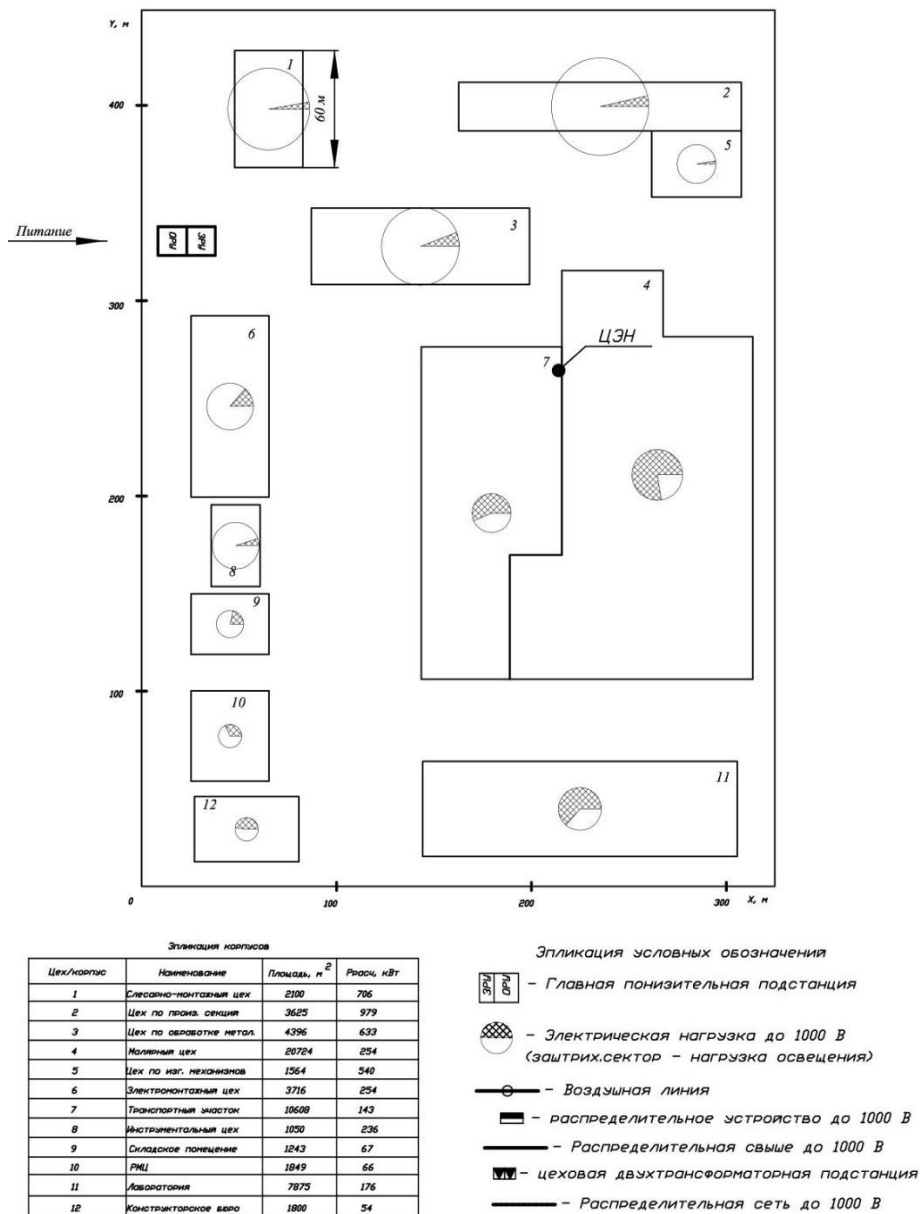


Рисунок 2 - Картограмма и центр электрических нагрузок судостроительного предприятия

2.4 Расчет распределительной сети предприятия и выбор кабельных линий 10 кВ

«Для осуществления внутризаводского энергоснабжения могут использоваться радиальные и магистральные варианты схем электросетей, необходимость выбора которых связана в частности с условиями местоположения и величиной нагрузок, необходимостью обеспечения надежности электроснабжения, обязательностью применения нескольких

видов энергоисточников, и с особенностями конкретного объекта, например, с присутствием потребителей с резко изменяющимся режимом потребления, сложностями в организации освещения и т.д.»[2]. Система распределения кабельных трасс представлена на рисунке 3 и в графической части проекта на слайде 1.

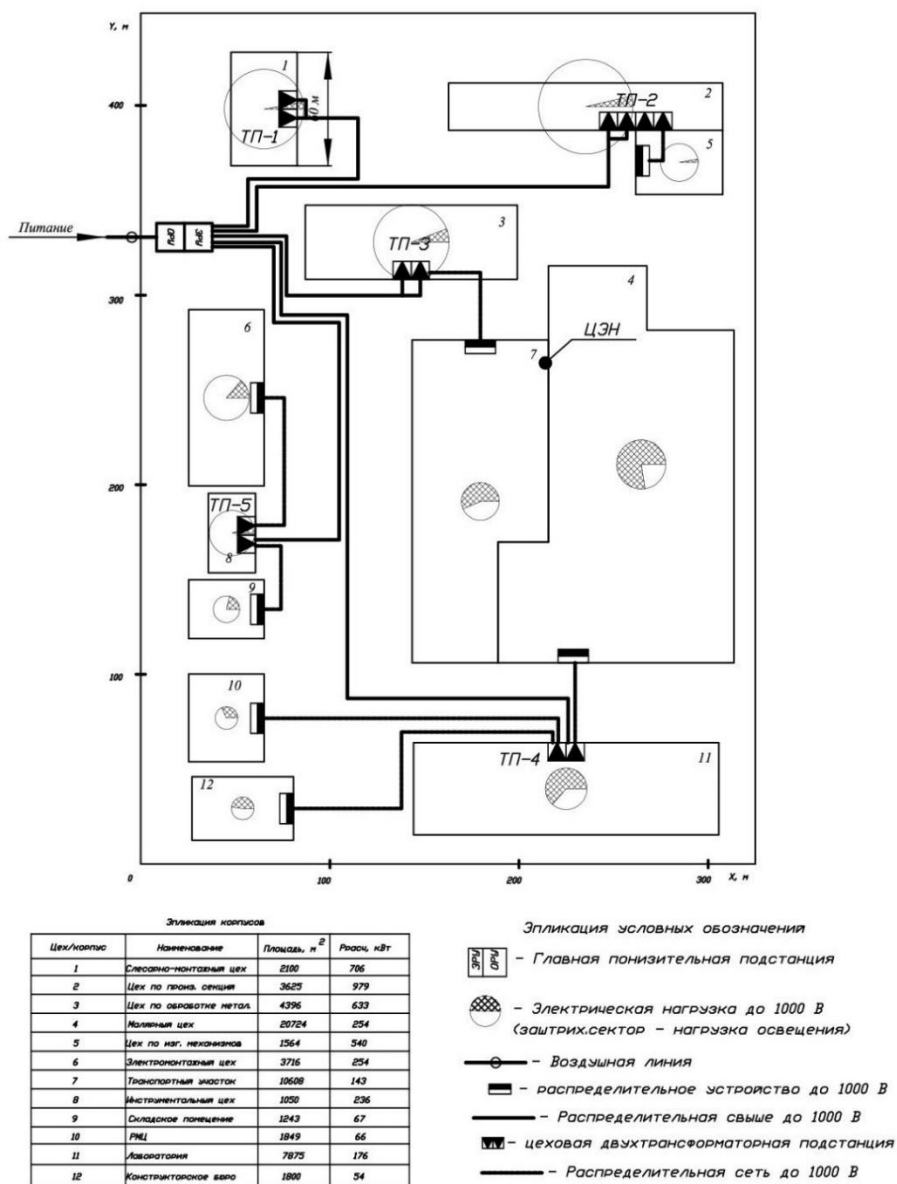


Рисунок 3 - План размещения ТП и кабельных трасс завода

При этом на предприятии реализована радиальная схема электроснабжения, поскольку в сравнении с магистральной линией она обладает более высокой надежностью электроснабжения плюс отличается

простотой обслуживания. При возникновении повреждений в сети один или несколько потребителей, подключенных к поврежденной линии, прекращают работу, в то время как все остальные объекты продолжают функционировать.

«По территории завода кабельные линии прокладываются по возможности по технологическим эстакадам, стенам зданий и сооружений, а при их отсутствии вдоль трассы линий - в земле. Внутри зданий кабельные линии прокладываются по конструкциям зданий или в кабельных каналах» [13].

«Для обеспечения достаточно длительного срока службы кабельных линий не рекомендуется прокладывать в одной траншее более шести кабелей, так как наличие более чем шести единиц кабельных линий может вызывать повышенный нагрев изоляции и в свою очередь привести к сокращению срока службы кабеля, а также может спровоцировать возникновение аварийных ситуаций» [13].

Силовые кабели должны быть выбраны и испытаны в соответствии с [8].

«Условия выбора КЛ следующие: по току, в нормальном режиме, в послеаварийном режиме, по номинальному напряжению» [8].

«Проверяются кабельные линии по нормативной (экономической) плотности тока:

$$F_{\text{Э}} = I_{\text{Н}}/j_{\text{Н}}, \quad (26)$$

где $j_{\text{Н}}$ - нормированная плотность тока равная 1,2 А/мм² (при работе предприятия с $T_{\text{м}}$ более 5000 час/год и питания кабелями с алюминиевыми жилами марки ААШв) [7].

В системе распределения предприятия предполагается использовать кабели, имеющие алюминиевые жилы с бумажной и ПВХ изоляцией» [7].

«Допустимая токовая нагрузка на жилу кабеля в нормальном режиме определяется по формуле» [8]:

$$I_{\text{доп}} = k_1 k_2 k_3 I_{\text{доп табл}} \quad (27)$$

где k_1 - «поправочный коэффициент для кабелей в зависимости от температуры среды» [8], принимается равным 1;

k_2 - «поправочный коэффициент снижения нагрузки при совместной прокладке кабелей в траншее, принят для расстояния между ними равного 300 мм» [8];

k_3 - «коэффициент, учитывающий фактическое тепловое сопротивление грунта» [8], принимается равным 1;

$I_{\text{доп табл}}$ - «допустимый табличный длительный ток» [8].

После того как определены величины поправочных коэффициентов, необходимо обеспечить выполнение данного условия:

$$I_{\text{доп}} \geq I_P. \quad (28)$$

«На период ликвидации послеаварийного режима для кабелей с бумажной изоляцией допускается перегрузка до 30% от номинальной при их прокладке в земле и до 20 % при прокладке в воздухе» [7].

«Условие проверки по длительному току послеаварийного режима» [7]:

$$I_{\text{доп}} K_{\text{пер}} \geq I_{\text{па}}. \quad (29)$$

«Для выбора кабелей необходимо определить их расчетные токи, которые зависят от состава подключенной к кабельной линии нагрузки» [7].

Расчётный ток кабеля в нормальном режиме работы:

$$I_P = \frac{S_{\text{ТП}}}{n\sqrt{3}U_H}, \quad (30)$$

где $S_{\text{ТП}}$ - мощность трансформатора, установленного на ТП, кВт;

n - число параллельно работающих кабелей в нормальном режиме.

«Расчётный ток кабеля в послеаварийном режиме работы:

$$I_{\text{ПА}} = \frac{1,4S_{\text{ТП}}}{(n-1)\sqrt{3}U_{\text{Н}}}, \quad (31)$$

Дальше осуществляется расчет по формулам (25) - (30) на примере ТП- 1:

$$I_{\text{P}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{n\sqrt{3}U_{\text{Н}}} = \frac{630}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 18,19 \text{ А},$$
$$I_{\text{ПА}} = \frac{1,4S_{\text{ТП}}}{(n-1)\sqrt{3}U_{\text{Н}}} = \frac{1,4 \cdot 630}{(2-1)\sqrt{3} \cdot 10} = 50,92 \text{ А},$$
$$F_{\text{Э}} = I_{\text{H}}/j_{\text{H}} = 18,19/1,2 = 15,16 \text{ мм}^2.$$

Предварительно выбирается кабель ближайшего стандартного сечения марки ААШв $F = 16 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп табл}} = 75\text{А}$, [12].

$$I_{\text{доп}} = k_1 k_2 k_3 I_{\text{доп табл}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 75 = 67,5 \text{ А},$$
$$I_{\text{доп}} = 67,5\text{А} \geq I_{\text{P}} = 18,19\text{А},$$
$$I_{\text{доп}} K_{\text{ПЕР}} = 1,3 \cdot 67,5 = 87,75 \geq I_{\text{ПА}} = 50,92\text{А}.$$

Таким образом, требования выполнены, кабель марки ААШв 3×16 допущен для проведения последующих вычислений» [7].

Данные о результатах вычислений других кабельных линий сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Данные вычислений нагрузок на линии электроснабжения

Участок	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии, км	Способ прокладки	Поправочный	Марка и сечение кабеля	Допустимая нагрузка на один кабель		F _{эк} , мм ²
		I _{расч.а} , А	I _{расч.в} , А					В длительном режиме	В аварийном режиме	
ГПП-ТП1	2	18,19	50,92	0,168	В траншее	0,9	ААШв (3×16)	67,5	87,75	15,16
ГПП-ТП2	2	36,37	101,84	0,264		0,9	ААШв (3×35)	103,5	134,55	30,31
ГПП-ТП3	2	18,19	50,92	0,139		0,9	ААШв (3×16)	67,5	87,75	15,16
ГПП-ТП4	2	18,19	50,92	0,452		0,9	ААШв (3×16)	67,5	87,75	15,16
ГПП-ТП5	2	18,19	50,92	0,265		0,9	ААШв (3×16)	67,5	87,75	15,16

2.5 Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП

В процессе анализа действующей схемы распределительного устройства главной понизительной подстанции был выявлен существенный недостаток - отсутствие резервирования со стороны питающей линии. Это обстоятельство значительно снижает надежность энергоснабжения потребителей и увеличивает риски возникновения аварийных ситуаций при выходе из строя основной линии.

В контексте данных проблем, основной задачей данного раздела является разработка предложений по модернизации существующей схемы распределительного устройства, включая выбор соответствующего силового трансформатора, который отвечал бы современным требованиям по надежности и эффективности. Важной частью работы станет выполнение расчетов с целью проверки способности, действующей питающей воздушной линии обеспечивать надежное электроснабжение при новых условиях эксплуатации, а также расчет потерь напряжения в линиях, что позволит обеспечить высокое качество электроэнергии для конечных потребителей.

Таким образом, в данном разделе будет проведена комплексная работа, направленная на повышение эффективности и надежности работы главной

понижительной подстанции, что в свою очередь способствует улучшению качества электроснабжения и повышению уровня энергетической безопасности предприятия.

«Схему электрических соединений подстанции выбирают на основании общей схемы электроснабжения предприятия и схемы развития энергосистемы. При этом она должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать надежность электроснабжения потребителей подстанции в соответствии с категориями электроприемников;
- учитывать перспективу развития подстанции; допускать возможность поэтапного расширения;
- обеспечивать возможность проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах схемы без отключения соседних присоединений;
- обеспечивать наглядность, простоту, экономичность и автоматичность, т.е. возможность восстановления питания потребителей в послеаварийном режиме средствами автоматики.

Главная схема электрических соединений выбирается среди типовых схем, нашедших широкое применение при проектировании. Нетиповая главная схема применяется при наличии технико-экономического обоснования или специального требования заказчика. В настоящем проекте какие-либо условия, способствующие применению нетиповой схемы, отсутствуют» [13].

«Чтобы сократить количество коммутационных аппаратов, следует использовать телеотключающий импульс. Так же его основная роль, отключать головной выключатель линии. Рекомендации по его использованию отмечают, что его использование целесообразно только при загрязненной атмосфере. Проектирование в данной работе происходит в чистой среде, поэтому такой вариант не подходит. Поэтому была выбрана блок-схема линия-выключатель с неавтоматической перемычкой» [13].

Упрощенная схема изображена на рисунке 4, а полная схема электроснабжения предприятия приводится в графической части проекта на слайде 3.

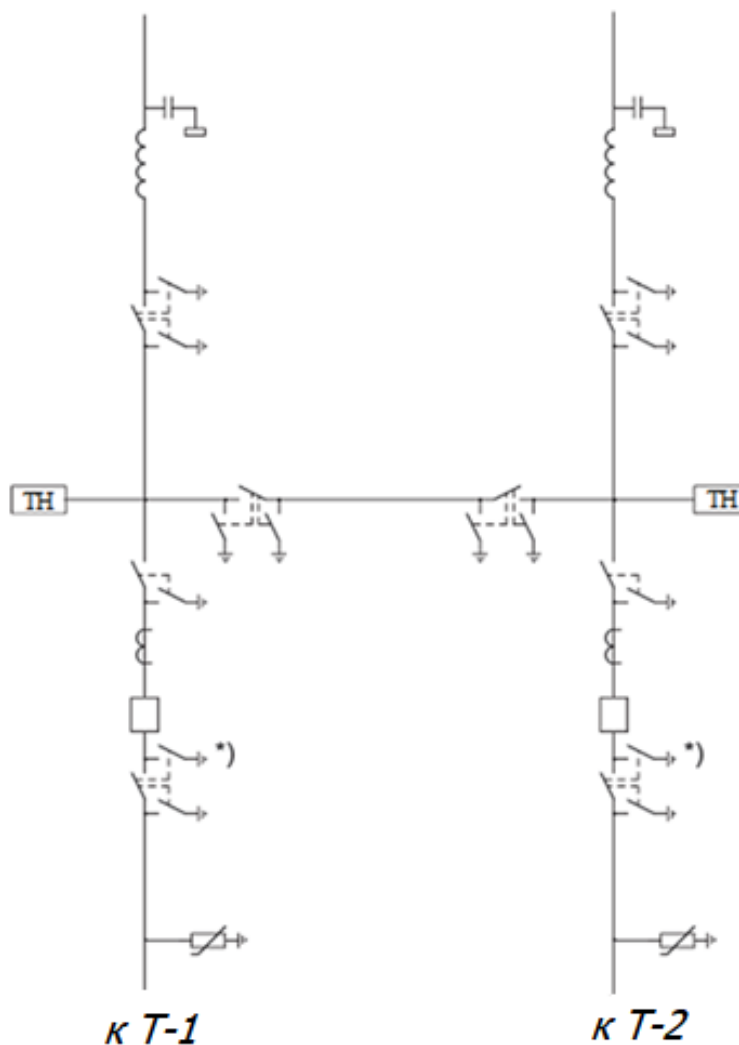


Рисунок 4 – Электрическая схема ГПП

Следующим шагом определяется оптимальное напряжение для источника питания ГПП.

При этом для нахождения значения оптимального напряжения используется формула Илларионова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_{p \text{ в ГПП}}}}}, \quad (32)$$

где $P_{p \text{ в ГПП}}$ – расчетная активная нагрузка завода, МВт [16];

L – расстояние от завода до подстанции энергосистемы, км.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{6.3} + \frac{2500}{4,00817/2}}} = 27.5 \text{ кВ.}$$

В связи с тем, что по итогам проведенного анализа оптимальное напряжение близко к 35 кВ, в итоге принимается (35 кВ), опираясь на результат вычисления полученного оптимального показателя напряжения по формуле Илларионова.

Затем следует выбрать трансформатор основной понижающей подстанции.

«Необходимая мощность силовых трансформаторов ГПП зависит от необходимой активной мощности предприятия и нормируемой величины реактивной мощности:

$$S_{p3} = \sqrt{P_{p3}^2 + Q_{\text{Э}}^2}, \quad (33)$$

где $Q_{\text{Э}}$ – экономически целесообразная реактивная мощность на стороне высшего напряжения ГПП, потребляемая заводом от энергосистемы, квар [15].

Потребляемая из системы реактивная мощность за период наибольшей активной нагрузки находится из формулы:

$$Q_{\text{Э}} = P_{p3} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{Э}}, \quad (34)$$

где $tg\varphi_{\Sigma}$ – экономически целесообразный тангенс реактивной мощности» [15].

Для проектируемой системы электроснабжения:

$$Q_{\Sigma} = 4008,61 \cdot 0,4 = 1603,44 \text{ квар,}$$
$$S_{p3} = \sqrt{4008,61^2 + 1603,44^2} = 4317,4 \text{ кВА.}$$

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле [11]:

$$S_{н.т.} \geq \frac{S_{p3}}{\beta_{т} \cdot n}, \quad (35)$$

где S_{p3} – «полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП, кВА» [15];

$\beta_{т}$ – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП [11];

n – число трансформаторов на ГПП.

$$S_{н.т.} \geq \frac{4317,4}{0,7 \cdot 2} = 3083,86 \text{ кВА.}$$

Таким образом, приняты к установке два трансформатора типа ТМН - 4000/35.

Далее производится выбор линий электропередачи ГПП.

«Так как на заводе имеются электроприемники I категории, то из условия бесперебойности питания электроснабжение обеспечивается от двух независимых взаимно резервирующих друг друга источников питания. При прохождении ВЛ по территории городов и промышленных районов в справочнике [13] рекомендуется использовать двухцепные опоры. При этом электроприемники первой категории резервируются по сети вторичного напряжения. Предпочтение следует отдавать стальным опорам. Намечаем к

использованию унифицированные стальные опоры типа П-35-2 со сталеалюминевыми проводами» [13].

Значения номинального тока в цепи [16]:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{рз}}}{2\sqrt{3}U_{\text{Н}}}, \quad (36)$$
$$I_{\text{НОМ}} = \frac{4317,4}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 35,61 \text{ А.}$$

Величина тока после аварии повышается в два раза [13]:

$$I_{\text{ПАР}} = 2 \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (37)$$
$$I_{\text{ПАР}} = 2 \cdot 35,61 = 71,22 \text{ А.}$$

По нормированной (экономической) плотности тока:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{j_{\text{Н}}}, \quad (38)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – расчетный ток, А;

$j_{\text{Н}}$ – «плотность тока для алюминиевых неизолированных проводов для ВЛ, А/мм²» [7].

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{35,61}{1} = 35,61 \text{ мм}^2.$$

«Принимается провод марки АС-120/19 по условию механической прочности согласно [8] ВЛ 35 кВ и выше, сооружаемые на двухцепных опорах с применением сталеалюминевых проводов, должны иметь сечение не менее 120 мм²» [15].

«Проверка по длительно-допустимому току послеаварийного режима работы:

$$I_{\text{ДОП}} \geq I_{\text{ПАР}}, \quad (39)$$

$$I_{\text{ДОП}} = 390\text{А} \geq I_{\text{ПАР}} = 71.22\text{А} \text{ [15].}$$

«Выбранное сечение провода проходит проверку по длительно-допустимому току» [13].

Потеря напряжения в линии передачи определяется с помощью уравнения:

$$\Delta U = \frac{P_3 R_{\text{ВЛ}} + Q_3 X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{Н}}}, \quad (40)$$

где $R_{\text{ВЛ}}$ – активное сопротивление линии, Ом;

$X_{\text{ВЛ}}$ – индуктивное сопротивление линии, Ом.

«Согласно справочнику [12] удельное сопротивление линий 35 кВ на единицу длины при применении провода АС-120:

- активное: 0,244 Ом/км;
- индуктивное: 0,414 Ом/км:

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{r_0 L}{n}, \quad (41)$$

$$X_{\text{ВЛ}} = \frac{x_0 L}{n}, \quad (42)$$

где L – длина ВЛ, км;

n – количество параллельно работающих линий» [12].

«Расчёт потерь в линии согласно формулам (39) - (41):

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{4,2 \cdot 0,244}{2} = 0,512 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{ВЛ}} = \frac{4,2 \cdot 0,414}{2} = 0,869,$$

$$\Delta U = \frac{5429,75 \cdot 0,512 + 2171,9 \cdot 0,869}{35} = 0,133 \text{ кВ.}$$

Потеря напряжения в процентах:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_H}, \quad (43)$$
$$\Delta U\% = \frac{0,133 \cdot 100}{35} = 0,38\%.$$

Выбранное сечение высоковольтной линии электропередачи удовлетворяет условиям испытания на потерю напряжения» [12].

2.6 Расчет токов КЗ и выбор коммутационной и защитной аппаратуры

«Самой главной проблемой повреждения системы электроснабжения считается возникновение в электросети короткого замыкания (КЗ).

Чтобы сократить объем причиненного материального вреда в результате отказов электрооборудования в случае возникновения КЗ, а также для оперативного решения задачи по восстановлению работоспособности системы энергоснабжения, следует корректно установить токи КЗ и только после этого осуществлять выбор электротехнической аппаратуры, защитную аппаратуру и средства ограничения токов КЗ. Когда имеет место КЗ, отмечается возрастание значений токов в фазах сети на порядок выше их величин при нормальной работе» [15].

«Расчётная схема для определения токов КЗ (рисунок 5) представляет собой схему в однолинейном исполнении, в которую введены элементы, оказывающие влияние на ток КЗ, связывающие источники электроэнергии с местом КЗ. Расчётная схема должна учитывать перспективу развития внешних сетей и генерирующих источников, с которыми электрически связывается рассматриваемая установка» [15].

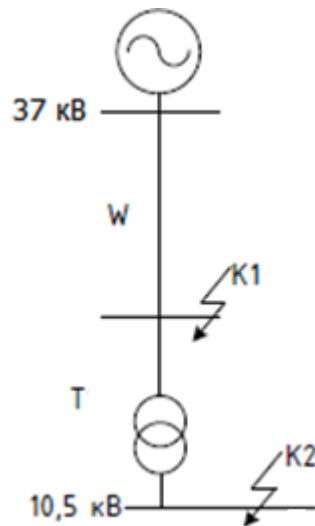


Рисунок 5 - Схема расчета значений токов КЗ

С целью расчета токов короткого замыкания необходимо нарисовать схему замещения (рисунок 6).

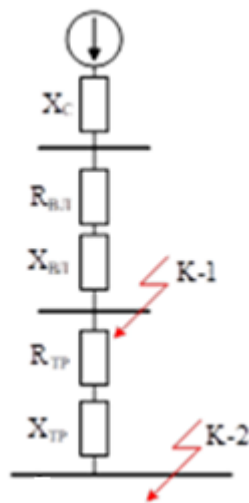


Рисунок 6 - Схема замещения для расчетов токов КЗ

«Принимаются следующие базисные условия:

$$S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА.}$$

$$U_{\text{б.ВН}} = 37 \text{ кВ.}$$

$$U_{\text{б.НН}} = 10,5 \text{ кВ} \text{» [13].}$$

«Базисные токи определяются из выражений» [13]:

$$I_B = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (44)$$

$$I_{Б.ВН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,6 \text{ кА.}$$

$$I_{Б.НН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.}$$

«Реактивное сопротивление воздушной линии, приведенное к базисным условиям:

$$X_{W1} = X_0 \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2}, \quad (45)$$

где X_0 – удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км [6];

L – суммарная длина питающей ВЛ, км.

Реактивное сопротивление ВЛ 35 кВ равно:

$$X_{W1} = 0,414 \cdot 6,3 \cdot \frac{100}{37^2} = 1,91 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление воздушной линии, приведенное к базисным условиям:

$$R_{W1} = R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2}, \quad (46)$$

где R_0 – удельное активное сопротивление воздушной линии.

Активное сопротивление ВЛ 35 кВ равно:

$$R_{W1} = 0,244 \cdot 6,3 \cdot \frac{100}{37^2} = 1,12 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора:

$$X_{T1} = \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т.}} \quad (47)$$

Сопротивление трансформатора марки ТМН-4000/35:

$$X_{T1} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{4} = 18,7 \text{ о.е.}$$

Полное сопротивление до точки:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{W1}^2} \quad (48)$$
$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0+1,91)^2 + 1,12^2} = 2,21 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока от системы в точке К1:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_6 \quad (49)$$
$$I_{к1}^{(3)} = \frac{1}{2,21} \cdot 15,6 = 7,06 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 (на шинах 10 кВ ГПП):

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{W1}^2} \quad (50)$$
$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0+1,91+18,7)^2 + 1,12^2} = 20,6 \text{ о.е.}$$
$$I_{к2}^{(3)} = \frac{1}{20,6} \cdot 55 = 2,67 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_K^{(3)}, \quad (51)$$

где $K_{уд}$ – значение ударного коэффициента [6].

Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1:

$$I_{уд,к1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 7,06 = 15,97 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного короткого замыкания:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)}. \quad (52)$$

В расчётной точке К1:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,06 = 6,11 \text{ кА.}$$

Результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения завода приведены в работе в форме таблицы 7» [18].

Таблица 7 - Результаты расчета токов короткого замыкания

Точка КЗ	Описание	$U_{НОМ}$, кВ	$I^{(3)}$, кА	$I^{(2)}$, кА	$I_{уд}$, кА
К1	Линейные выводы ВН трансформатора ГПП	35	7,06	6,11	15.97
К2	Секция шин НН ГПП	10	2,67	2.31	6.04

В соответствии с результатами определения токов короткого замыкания на следующем этапе следует осуществить подбор и испытание аппаратов защиты и коммутации для аварийного и нормального режимов работы.

«Номинальное напряжение аппарата соответствует классу его изоляции. Всегда имеется определенный запас электрической прочности, оговариваемый техническими условиями на изготовление и позволяющий аппарату работать длительное время при напряжении 10-15% выше номинального (максимальное рабочее напряжение аппарата). Отклонения напряжения на практике обычно не превышают этих значений. Поэтому при выборе аппарата достаточно соблюсти условие» [13]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (53)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (54)$$

«Проверка коммутационных аппаратов на симметричные токи отключения:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (55)$$

В этом случае рассматривается симметричный (трехфазный) ток замыкания.

Для устройств отключения в рамках этой работы должны быть проведены испытания на отключение апериодической составляющей тока короткого замыкания» [14]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (56)$$

где $\beta_{ном}$ - «номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [14];

$i_{а.ном}$ - «номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [14].

Испытание электрического оборудования на электродинамическую стойкость [14]:

- «по условию номинального тока отключения» [14]:

$$I'' \leq I_{\text{отк.ном}}; \quad (57)$$

- «по величине ударного тока» [14]:

$$i_y \leq i_{\text{дин.}}, \quad (58)$$

где $i_{\text{дин.}}$ – «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата» [14].

Выполнение тестирования электрических устройств на термостойкость [14]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (59)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости по каталогу» [14];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости, с» [14].

«Процесс выбора аппаратов для рассматриваемого завода в первую очередь начинается с определения на основе принятой электрической схемы расчетных условий, а именно рабочих токов отходящих линий, токов короткого замыкания и т.д. Все эти мероприятия были выполнены в предыдущих разделах, что позволяет перейти к выбору аппаратуры и сопоставлению рассчитанных значений с номинальными параметрами подобранного оборудования.

В соответствии с заданными условиями проведения испытаний, выбираются электрические аппараты, они подбираются с учетом результатов, отображенных в таблице 8, где сопоставлены вычисленные, заводские данные аппаратов, а также электросети, в которых они устанавливаются» [14].

Таблица 8 – «Сводная таблица по выбору аппаратов РУ 35 и 10 кВ»

Тип оборудования	Условие выбора	Расчётные величины	Каталожные данные	Проверка условия
РУ ВН				
Выключатель ВВН-35 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$	$U_{сети} = 35$ кВ $I_{макс} = 71,22$ А $I_{по} = 7,06$ кА $i_{уд} = 15,97$ кА $B_K = 4.74$ кА ² ·с	$U_{ном} = 35$ кВ $I_{ном} = 1000$ А $I_{отк.в} = 25$ кА $i_{дин} = 63$ кА $I^2_T \cdot t_T = 1875$ кА ² ·с	35 кВ = 35 кВ 1000 А > $96,46$ А 25 кА > $10,6$ кА 63 кА > $23,99$ кА 1875 кА ² ·с > $10,7$ кА ² ·с
Трансформатор тока ТВ-35 100/5	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $(k \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T \geq B_K$ $Z_{2 ном} \geq Z_2$	$U_{сети} = 35$ кВ $I_{макс} = 71,22$ А $i_{уд} = 15,97$ кА $B_K = 4.74$ кА ² ·с $Z_2 = 0,495$ Ом	$U_{ном} = 35$ кВ $I_{ном} = 150$ А $i_{дин} = 80$ кА $(k \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T = 3675$ кА ² ·с $Z_{2 ном} = 0,8$ Ом	35 кВ = 35 кВ 150 А > $96,46$ А 80 кА > $23,99$ кА 3675 кА ² ·с > $10,7$ кА ² ·с $0,8$ Ом > $0,495$ Ом
РГП-35/630У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$	$U_{сети} = 35$ кВ $I_{макс} = 71,22$ А $i_{уд} = 15,97$ кА $B_K = 4,74$ кА ² ·с	$U_{ном} = 35$ кВ $I_{ном} = 630$ А $i_{дин} = 31,5$ кА $I^2_T \cdot t_T = 468,75$ кА ² ·с	35 кВ = 35 кВ 630 А > $96,46$ А $31,5$ кА > $23,99$ кА 469 кА ² ·с > $10,7$ кА ² ·с
Ограничитель перенапряжений ОПН-35-УХЛ1.	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 35$ кВ	$U_{ном} = 35$ кВ	35 кВ = 35 кВ
Ограничитель перенапряжений в нейтрали ОПНН-35-УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = \frac{35}{\sqrt{3}}$ кВ	$U_{ном} = \frac{35}{\sqrt{3}}$ кВ	$\frac{35}{\sqrt{3}}$ кВ = $\frac{35}{\sqrt{3}}$ кВ
РУ НН				
Вводной выключатель и выключатель отходящей линии ВВУ-10-20/1000	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$	$U_{сети} = 10$ кВ $I_{макс} = 101,84$ А $I_{по} = 2.67$ кА $i_{уд} = 6,04$ кА $B_K = 0,68$ кА ² ·с	$U_{ном} = 10$ кВ $I_{ном} = 1000$ А $I_{отк.в} = 20$ кА $i_{дин} = 52$ кА $I^2_{пт} \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с	10 кВ = 10 кВ 1000 А > $337,6$ А 20 кА > $4,59$ кА 52 кА > $10,39$ кА 1200 кА ² ·с > 2 кА ² ·с
Трансформатор тока ТЛМ-10-150/5	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \cdot t_T \geq B_K$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети} = 10$ кВ $I_{макс} = 101,84$ А $i_{уд} = 2,67$ кА $B_K = 0,68$ кА ² ·с $Z_{макс} = 0,185$ Ом	$U_{ном} = 10$ кВ $I_{ном} = 300$ А $i_{дин} = 125$ кА $I^2_{пт} \cdot t_T = 25^2 \cdot 4 = 2500$ кА ² ·с $Z_{ном} = 1,2$ Ом	10 кВ = 10 кВ 300 А > $337,6$ А 125 кА > $10,39$ кА 2500 кА ² ·с > 2 кА ² ·с $1,2$ Ом > $0,185$ Ом
Трансформатор напряжения ЗНОЛ-10У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $S_{ном} \geq S_{макс}$	$U_{сети} = 10$ кВ $S_{макс} = 19,6$ ВА	$U_{ном} = 10$ кВ $S_{2ном} = 150$ ВА	10 кВ = 10 кВ 150 ВА > $19,6$ ВА
Ограничитель перенапряжений ОПН-КР/ТЕЛ-10УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10,5$ кВ	$10,5$ кВ > 10 кВ

Согласно приведенной выше таблице, все оборудование подобрано корректно» [14].

Выводы по разделу 2.

В рамках разработки системы электроснабжения судостроительного предприятия были выполнены комплексные работы по расчету электрических нагрузок, выбору и проверке электротехнического оборудования, а также проектированию распределительной сети и схемы распределительных устройств. Все эти действия направлены на обеспечение надежного, безопасного и экономически эффективного электроснабжения предприятия.

В ходе работы были рассмотрены важные аспекты выбора числа и мощности трансформаторов, определения центров электрических нагрузок, а также расчета распределительной сети и выбора кабельных линий. Разработаны рекомендации по снижению потерь электроэнергии и повышению энергоэффективности с помощью компенсирующих аппаратов. Также были выполнены расчеты токов короткого замыкания и выбор соответствующей коммутационной и защитной аппаратуры, что способствует улучшению надежности системы электроснабжения.

Предложенные решения и проведенные расчеты позволяют обеспечить устойчивую работу электроснабжения судостроительного предприятия, минимизируя риски возникновения аварийных ситуаций и обеспечивая высокий уровень безопасности. Реализация проекта способствует оптимизации затрат на электроэнергию и повышению эффективности производственных процессов, что в целом укрепляет экономическую стабильность предприятия и создает основу для его дальнейшего развития и расширения.

Таким образом, выполненная работа по проектированию системы электроснабжения судостроительного предприятия демонстрирует глубокое понимание инженерных принципов и подходов, необходимых для создания надежной и эффективной электроэнергетической инфраструктуры, а также способствует повышению уровня технической безопасности и экономической выгоды предприятия.

3 Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения

3.1 Расчет системы освещения территории предприятия

Расчет системы освещения для судостроительного предприятия включает в себя несколько ключевых этапов, чтобы обеспечить адекватное и эффективное освещение рабочих зон:

- нормы освещенности (сначала необходимо определить требуемые нормы освещенности для территории судостроительного предприятия);
- выбор типа источников света (выбор между светодиодными (LED), люминесцентными, галогенными и другими типами ламп в зависимости от требуемой освещенности, экономической эффективности и предпочтений по эксплуатации);
- расчет количества (определение оптимального количества светильников).

Согласно [12] объекты систем освещения промышленных предприятий делятся на классы, каждый из которых требует определенную яркость искусственного света. Здесь указаны значения горизонтальной освещенности (лк) некоторых объектов промышленной инфраструктуры:

- производственные и складские территории – 5;
- парковки и дорожные подходы – 5;
- пешеходные дорожки – 4;
- инфраструктура поддержки (станции технического обслуживания, включая АЗС на территории предприятия, требующие освещения для безопасности и удобства работы в ночное время) – 4.

Исходя из вышеизложенного, минимальная освещенность принимается равной 5 люкс.

«Расчёт освещения проводится методом коэффициента использования светового потока:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (60)$$

где E_H - заданная минимальная освещенность, лк;

K_3 - коэффициент запаса ($K_3 = 1,15$ для светодиодных ламп);

S – освещаемая площадь, м²;

Z – коэффициент неравномерности, равный 1,1 - 1,2;

N – общее количество светильников, шт;

η – справочный коэффициент использования светового потока, о.е.» [12]

«Индекс помещения» [12]

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A + B)}. \quad (61)$$

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{и} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\% \quad (62)$$

Расчет освещенности наружного осветительного оборудования для территории судостроительного предприятия происходит с учетом площади объекта, а также исходя из параметров примененных осветительных приборов, с учетом поправочных коэффициентов различного характера.

«Прожекторы могут быть установлены в качестве наружного освещения всей территории завода» [12].

Ниже приводится расчет наружного освещения территории завода.

Индекс внешнего осветительного оборудования территории судостроительного комплекса

$$i = \frac{325 \cdot 450}{5(325 + 450)} = 37,74.$$

«Требуемый световой поток светильника

$$\Phi = \frac{5 \cdot 146250 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{25 \cdot 0,6} = 61668 \text{ Лм.}$$

Исходя из полученных результатов расчёта, в работе для наружного освещения территории судостроительного предприятия предлагается использовать современные светодиодные прожектора типа Street Light 400 со световым потоком 68000.

Количество прожекторов наружного освещения – 25 единиц, расположение – равномерно по всему периметру судостроительного предприятия» [14].

Внешний вид и основные элементы данного типа прожектора представлены на рисунке 7.



Рисунок 7 - Внешний вид и основные элементы прожектора Street Light 400

С учётом принятого типа светильника, далее в работе проводится проверка выбранных решений по проектированию наружного освещения судостроительного предприятия.

«Отклонение расчетного светового потока (-10÷20%)» [10]

$$\Delta\Phi = \frac{68000 - 61668}{61668} \cdot 100\% = 10,27 \%$$

Система освещения территории предприятия судостроительного предприятия, представлена на слайде 6.

3.2 Расчет молниезащиты и заземления

«Защиту распределительных устройств проектируемой подстанции от прямых ударов молний осуществляем молниеотводами. Молниеотвод состоит из металлического молниеприемника, который возвышается над защищаемым объектом и воспринимает удар молнии, и токопроводящего спуска с заземлителем, через который ток молнии отводится в землю.

Применим четыре стержневых молниеотвода по углам подстанции. Зона защиты четырех молниеприемников представлена на рисунке 8.

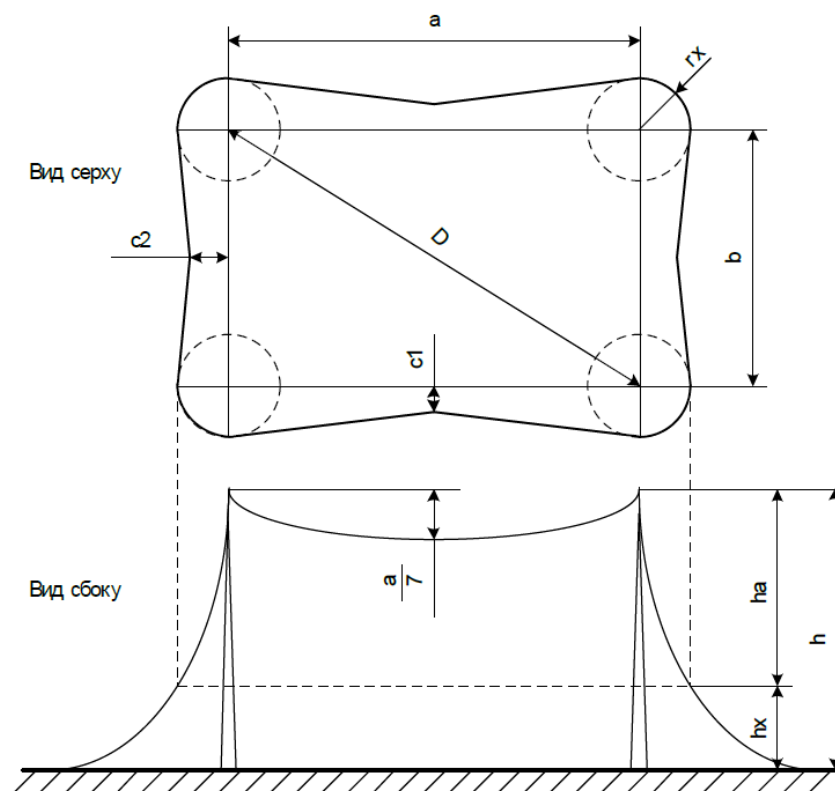


Рисунок 8 - Зона защиты четырех молниеприемников

Принимаем уровень защищаемой зоны h_x по наивысшему электрооборудованию – трансформатору ТМН-4000/35 – $h_x = 5$ м. Высоту молниеотвода h принимаем 25 м.

Определим зону защиты молниеотводов.

Так как число молниеотводов больше двух, то внешние части защищаемой зоны определяются по формуле, м:

$$r_x = h_a \cdot \frac{1.6}{1 + \frac{h_x}{h}}; \quad (63)$$

где h_a - превышение молниеотвода над рассматриваемым уровнем, м:

$$h_a = h - h_x = 25 - 5 = 20 \text{ м}; \quad (64)$$

$$r_x = 20 \cdot \frac{1.6}{1 + \frac{5}{25}} = 26,67 \text{ м}.$$

Высота защитной зоны в середине между молниеприемниками должно удовлетворять условию:

$$a \leq 7 \cdot h_a, \quad (65)$$

$$70.2 \text{ м} \leq 7 \cdot 20 = 140 \text{ м} \gg [8].$$

Условием защиты всей площади является выполнение уравнения:

$$D = \sqrt{a^2 + b^2} \leq 8 \cdot h_a, \quad (66)$$

$$D = \sqrt{70.2^2 + 40^2} \leq 8 \cdot 20,$$

$$D = 80.79 \text{ м} \leq 160 \text{ м}.$$

Таким образом, подстанция полностью находится в зоне защиты молниеприемников.

Заземляющие устройства – это устройства, которые нужны для соблюдения ПУЭ [3]. «ПУЭ – это правила, которые регулируют устройство электроустановок. Чтобы спроектировать заземляющее устройство, нужно посмотреть план, где расположено электрооборудование и конструкции. Нужно учесть количество подключенных к установке линий электропередачи,

которые идут по воздуху, информацию о тросовых участках, количество, длину, тип, сечение и способ прокладки линий электропередачи, которые идут по кабелю, а также данные о естественных заземлителях» [8].

Для стороны 10 кВ в соответствии с ПУЭ сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле

$$R_3 \leq \frac{U_p}{I_3}, \quad (67)$$

где U_p – расчетное напряжение заземлителей, при общем заземлении установок 6 – 10 кВ и 0,4 кВ – 125 В;

I_3 – расчетный ток замыкания на землю:

$$I_3 = \frac{U_H(35L_{\text{кл}} + L_{\text{вл}})}{350}, \quad (68)$$

где U_H – номинальное линейное напряжения сети, кВ;

$L_{\text{кл}}$, $L_{\text{вл}}$ – длина кабельных и воздушных электрически связанных линий, км.

Удельное сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных электродов:

$$\rho_{\text{р.в}} = \rho_{\text{уд}} \cdot K_{\text{п.в.}}, \quad (69)$$

$$\rho_{\text{р.г}} = \rho_{\text{уд}} \cdot K_{\text{п.г.}}, \quad (70)$$

где $\rho_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление глины [19], Ом·м;

$K_{\text{п.в.}}$, $K_{\text{п.г.}}$ – повышающие коэффициенты [19].

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода стержневого типа:

$$R_{\text{в.о}} = \frac{\rho_{\text{р.в}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right), \quad (71)$$

где l – длина полосы, м;

d – диаметр штыревого заземлителя, мм.

Число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования:

$$N = \frac{R_{0.в.э}}{K_{и.в} R_{и}}, \quad (72)$$

где $R_{0.в.э}$ – сопротивление растеканию одного вертикального электрода, Ом;

$R_{и}$ – сопротивление искусственного заземлителя, Ом.

Расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов:

$$R_{г} = \frac{\rho_{р.г}}{K_{и.г} 2\pi l} \ln \frac{4l^2}{bt}, \quad (73)$$

где b – ширина полосы, мм;

t – глубина заложения, м.

Уточняется необходимое сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{в} = \frac{R_{г} R_{и}}{R_{г} - R_{и}}. \quad (74)$$

Число вертикальных электродов с учетом горизонтальных:

$$N = \frac{R_{0.в}}{K_{и.в} R_{в}}, \quad (75)$$

где $K_{и.в}$ – коэффициент использования вертикальных электродов [19].

Далее выполняется проверка сопротивления ЗУ:

$$R_B = \frac{R_{B,0}}{K_{и.в.} N}, \quad (76)$$

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{р.г}}{K_{и.г} 2\pi l} \ln \frac{4l^2}{bt}, \quad (77)$$

$$R_{и} = \frac{R_\Gamma R_B}{R_\Gamma + R_B}. \quad (78)$$

Сопротивление искусственного заземлителя при отсутствии естественных принимается допустимому $R_{и}=R_3=4$ Ом.

Ниже представлен расчет по формулам (59) – (68):

$$\rho_{р.в} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{р.в} = 60 \cdot 3,5 = 210 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$R_{B,0} = \frac{90}{2\pi \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2}{4 \cdot 1,95 - 2} \right) = 34,4 \text{ Ом};$$

$$N = \frac{34,4}{0,77 \cdot 4} = 11,18 \approx 12;$$

$$R_\Gamma = \frac{210}{0,83 \cdot 2\pi \cdot 35} \ln \frac{4 \cdot 35^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 13,9 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{13,9 \cdot 4}{13,9 - 4} = 5,6;$$

$$N = \frac{34,4}{0,59 \cdot 5,6} = 10,4;$$

$$R_B = \frac{34,4}{0,59 \cdot 12} = 4,86;$$

$$R_\Gamma = \frac{210}{0,62 \cdot 2\pi \cdot 12 \cdot 3} \ln \frac{4 \cdot (12 \cdot 3)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 18,2 \text{ Ом};$$

$$R_{и} = \frac{18,2 \cdot 4,86}{18,2 + 4,86} = 3,84 < 4 \text{ Ом}.$$

Таким образом сопротивление 12 вертикальных заземлителей длиной 2,5м и диаметром 12 мм, соединенных металлической полосой 40x4 мм

проложенной на глубине 0,7 полностью удовлетворяют требуемому сопротивлению по [8].

На рисунке 9 представлена схема заложения горизонтальных и вертикальных электродов.

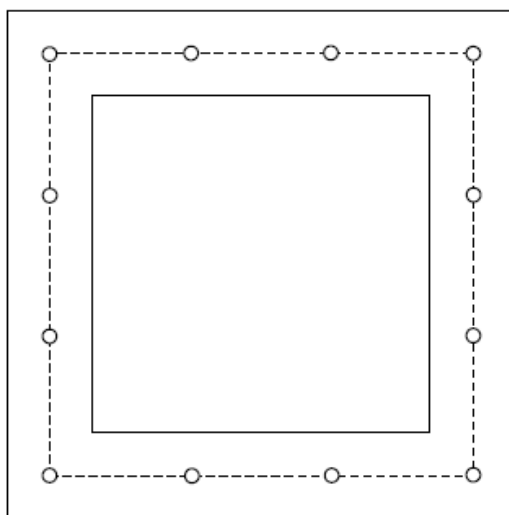


Рисунок 9 - Схема заложения горизонтальных и вертикальных электродов

Выводы по разделу 3.

В третьем разделе достаточно подробно разбираются аспекты обеспечения надежности и безопасности системы электроснабжения судостроительного предприятия, начиная с расчетов освещения территории предприятия и заканчивая молниезащитой с заземлением. Уделено внимание выбору оборудования, необходимого для обеспечения безопасности и эффективности. Представлены технологии расчета освещения и молниезащиты с учетом специфики судостроительного предприятия. Обоснован выбор источников света, их типов и количества для обеспечения оптимальной освещенности. Кроме того, приведены методики расчета заземления, выбора заземляющих устройств и оценки их эффективности, которые в совокупности направлены на повышение безопасности производственных процессов.

Заключение

В заключении выпускной квалификационной работы по разработке и проектированию системы электроснабжения для судостроительного предприятия ОАО ВП «ЭРА» делается акцент на важности выполненной в рамках проекта задачи по развитию судостроительной отрасли в России. Работа акцентирует внимание на ключевой роли надежного и эффективного электроснабжения в обеспечении бесперебойной работы судостроительных предприятий, что напрямую влияет на их производственные мощности, качество выпускаемой продукции и экономическую эффективность.

Анализ текущего состояния предприятия и изучение передовых технологий в области электроснабжения позволили выявить основные направления для разработки проекта системы электроснабжения, которая бы соответствовала всем современным требованиям. Применение инновационных инженерных решений и комплексный подход к проектированию системы электроснабжения обеспечивают создание эффективной, экономически оправданной и безопасной системы, способной удовлетворить все потребности современного судостроительного предприятия.

В процессе работы решены следующие задачи:

- выполнен анализ текущего состояния судостроительного предприятия;
- изучены передовые технологии в области электроснабжения и их применимость на судостроительных предприятиях;
- разработан проект системы электроснабжения, включая выбор оборудования, расчет необходимых мощностей и разработку схемы распределения электроэнергии;
- обеспечен высокий уровень надежности и безопасности функционирования системы электроснабжения.

В ходе работы были выполнены комплексные расчеты электрических нагрузок, выбор и проверка электротехнического оборудования, а также проектирование распределительной сети и схемы распределительных устройств. Особое внимание уделено аспектам надежности и безопасности системы электроснабжения, включая меры по организации надежности, систему заземления и молниезащиту, что позволяет минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций и обеспечить высокий уровень безопасности на предприятии.

Реализация предложенных в работе решений способствует не только оптимизации затрат на электроэнергию и повышению эффективности производственных процессов, но и укреплению экономической стабильности предприятия. Это создает основу для его дальнейшего развития и расширения, способствуя повышению конкурентоспособности российской судостроительной отрасли на мировом рынке.

Данная выпускная квалификационная работа вносит важный вклад в развитие морской промышленности и экономики России в целом, демонстрируя глубокое понимание инженерных принципов и подходов, необходимых для создания надежной и эффективной электроэнергетической инфраструктуры судостроительных предприятий. Работа подтверждает актуальность и значимость темы, обосновывает выбранную методологию исследования и практическую ценность разработанных решений, открывая новые перспективы для развития судостроительной отрасли.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. 122 с.
2. Вахнина В.В. Системы электроснабжения: электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 46 с.
3. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. Грунин В.К., Диев С.Г., Карпов В.В., Небускин В.Ф., Федоров В.К., Щекочихин А.В. Расчет электрических нагрузок, выбор главных схем и оборудования промышленных предприятий. Учебное пособие. – Омск: ОмГТУ, 2001. 104 с.
5. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. – 650 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. 672 с.
7. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей / Под редакцией В.М.Блок. – М.: Высшая школа, 1981. 304 с.
8. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: Издательство ДЕАН., 2002. 928 с.
9. Развитие машиностроения в России [Электронный ресурс]. – <https://www.grandars.ru/shkola/geografiya/razvitie-mashinostroeniya.html/> (дата обращения: 10.02.2024).
10. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учеб.для сред. проф. образования - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 448 с.

11. Степкина Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.
12. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995. 528 с.
13. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.А. Файбисовича. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 352 с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей и систем / Под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат. 1985.
15. Тищенко Ю.Н. Справочник по проектированию электроснабжения. Электрические установки промышленных предприятий / Под общ.ред. Ю.Н. Тищенко; Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
16. Туркин Д.Г., Щанникова С.А. Системы электроснабжения: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. 250 с.
17. Твердохлебов К. И. Рекомендации по выбору проектных решений при разработке подстанций 10...500 кВ: Учебное пособие. – Хабаровск 2020. – 205 с.
18. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов.- 4-е изд., переработ. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1984. 472 с.
19. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: учеб. пособие. Москва: Форум, Инфра-М, 2020. 216 с.
20. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 10.02.2024).