

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 Реконструкция системы электроснабжения производственного корпуса АО
«Севмаш»

Обучающийся

К. Ф. Фейлер.

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Ю. В. Черненко

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

Тольятти 2024

Аннотация

Работа посвящена разработке мероприятий по реконструкции системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» с последовательной проверкой основных решений.

Данная реконструкция обусловлена вводом в эксплуатацию новых потребителей данного предприятия.

На основе полученной исходной технической информации, проведено решение следующих основных задач:

- «проведён расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания;
- проведён расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на главной понизительной подстанции (далее – ГПП), а также на трансформаторных подстанциях участков (далее – ТП)» [12], питающих производственные участка и участки объекта исследования;
- «осуществлён расчет и выбор электрооборудования схемы электроснабжения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств питающих ГПП и ТП участков, с последующей их компоновкой» [12];
- обоснован выбор устройств и уставок релейной защиты и автоматики ГПП.

Данные вопросы решены в работе в полном объёме.

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки объёмом 59 печатных страниц, а также шести чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	6
1.1 Исходная характеристика объекта исследования.....	6
1.2 Обоснование реконструкции системы электроснабжения объекта исследования.....	11
2 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания.....	15
2.1 Расчёт электрических нагрузок	15
2.2 Расчёт токов короткого замыкания	23
3 Расчёт и проверка силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП	30
3.1 Выбор и проверка трансформаторов главной понизительной подстанции.....	30
3.2 Выбор расположения ГПП.....	33
3.3 Выбор и проверка трансформаторов трансформаторных подстанций участков.....	35
4 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов.....	39
4.1 Выбор и проверка проводников	39
4.2 Выбор электрических аппаратов	43
5 Выбор устройств систем вторичной коммутации ГПП	50
Заключение	54
Список используемых источников.....	58

Введение

Известно, что разработка мероприятий по реконструкции систем электроснабжения промышленных предприятий Российской Федерации является актуальной задачей, обусловленной рядом факторов.

Цели реконструкции включают улучшение надежности и безопасности систем электроснабжения, повышение энергоэффективности производственных процессов, снижение экологического воздействия и оптимизацию затрат на энергопотребление.

Задачи, стоящие перед такими проектами реконструкции, многообразны и включают:

- внесение качественных изменений в схемы системы электроснабжения объектов предприятий;
- внедрение современных систем управления и автоматизации, которые повысят эффективность мониторинга и контроля за состоянием электросетей;
- интеграцию альтернативных и возобновляемых источников энергии для диверсификации источников питания и снижения зависимости от традиционных источников электрической энергии;
- улучшение мер по энергосбережению на всех уровнях энергопотребления предприятия;
- обеспечение соответствия обновленных систем электроснабжения современным стандартам безопасности и экологическим нормам.

Актуальность реконструкции систем электроснабжения заключается в том, что многие промышленные объекты России эксплуатируют устаревшие схемы и электрооборудование, что влечет за собой риски возникновения аварийных ситуаций, снижение качества электроэнергии и увеличение эксплуатационных расходов. Кроме того, современные технологические процессы требуют более высокого качества электроэнергии для питания

современных микропроцессорных потребителей, а также надежности электроснабжения.

Данные вопросы исследуются в настоящей работе, обуславливая её актуальность и практическую ценность [20].

Основная цель работы заключается в разработке и последующей практической реализации рациональных и эффективных мероприятий по реконструкции системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш», с последовательной проверкой основных решений.

Установлено, что данная реконструкция обусловлена вводом в эксплуатацию новых потребителей данного предприятия.

Объектом исследования является система электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш».

Предметом исследования являются параметры и характеристики надёжности, безопасности, бесперебойности и безаварийности электроснабжения, экономичности и экологичности объекта исследования.

«Достижение основной цели выполняется через решение следующих основных поставленных задач:

- осуществляется анализ технологического процесса и электроприемников предприятия;
- проводится расчёт электрических нагрузок и токов КЗ;
- проводится расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на ГПП, а также на ТП, питающих производственные участка и участки объекта исследования;
- осуществляется расчет и выбор электрооборудования схемы электроснабжения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств питающих ГПП и ТП участков, с последующей их компоновкой» [12];
- обосновывается выбор устройств и уставок релейной защиты и автоматики ГПП.

Данные вопросы решаются в работе в полном объёме.

1 Анализ исходных данных на выполнение работы

1.1 Исходная характеристика объекта исследования

В настоящей работе объектом исследования является системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш».

АО «Севмаш» (Северное машиностроительное предприятие) – крупнейшее предприятие российского судостроения, расположенное в городе Северодвинске, Архангельской области. Оно является частью Государственной корпорации по атомному энергопромышленному комплексу «Росатом» [1].

Основная специализация предприятия – строительство военных и гражданских судов. АО «Севмаш» занимается проектированием, строительством и ремонтом атомных и дизельных подводных лодок, а также тяжелых атомных ракетных крейсеров подводного базирования.

Предприятие было основано в 1939 году и изначально носило название Судостроительный завод № 402. В годы Великой Отечественной войны завод был переориентирован на выпуск военной техники и вооружения. После войны предприятие продолжило развивать судостроительные традиции, начав строить подводные лодки и другие специализированные суда.

АО «Севмаш» является единственным в России предприятием, способным строить атомные подводные лодки. Завод также активно участвует в гражданских проектах, включая строительство морских платформ, ледоколов и других крупнотоннажных объектов.

Технологическое оснащение завода соответствует современным мировым стандартам. Завод обладает уникальными производственными мощностями, которые позволяют выполнять полный цикл судостроения – от разработки проекта до сдачи готового судна заказчику. Предприятие продолжает развиваться, внедряя новые технологии и расширяя спектр выпускаемой продукции.

Установлено, что на объекте исследования, в связи с расширением производства, необходимо ввести в эксплуатацию три новых производственных подразделения. Таким образом, в результате данного процесса определено, что в состав рассматриваемой в работе системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш», входит комплекс следующих участков и подразделений [2]:

- сборочно-сварочный участок (с двумя синхронными высоковольтными электродвигателями 10 кВ);
- участок окраски и антикоррозийной защиты;
- участок судовой аппаратуры и оборудования;
- электромонтажный участок;
- участок сборки и испытания двигателей;
- испытательный участок;
- участок монтажа и ремонта приборов навигации;
- участок судоремонта;
- сборочный участок основной сборки;
- сборочный участок дополнительной сборки;
- механический участок.

Каждое из перечисленных подразделений производственного корпуса предприятия выполняет специфические функции, обеспечивая эффективное и бесперебойное производство. Далее приводится краткое описание функций перечисленных подразделений [1].

Сборочно-сварочный участок – занимается сборкой отдельных конструктивных элементов и их последующей сваркой. Наличие двух синхронных высоковольтных электродвигателей 10 кВ обеспечивает мощность и надежность оборудования для выполнения крупномасштабных работ.

Участок окраски и антикоррозийной защиты – выполняет окрашивание судов и нанесение специальных покрытий, которые защищают металл от коррозии и увеличивают срок его службы.

Участок судовой аппаратуры и оборудования – занимается сборкой и монтажом различного судового оборудования, включая насосы, компрессоры и другие механизмы.

Электромонтажный участок – отвечает за установку и подключение электрических систем и оборудования на судне.

Участок сборки и испытания двигателей – собирает двигатели и проводит их первичные испытания для проверки работоспособности перед установкой на судно.

Испытательный участок – проводит комплексные испытания судовых систем и оборудования для гарантии их надежности и безопасности.

Участок монтажа и ремонта приборов навигации – устанавливает и проводит ремонт навигационных приборов, обеспечивая точность и надежность навигации.

Участок судоремонта – занимается ремонтом и модернизацией судов, включая замену изношенных частей и обновление систем.

Сборочный участок основной сборки – выполняет первичную сборку крупных элементов судна, таких как корпуса, палубы и другие крупные конструкции.

Сборочный участок дополнительной сборки – отвечает за сборку меньших и более детализированных элементов, которые впоследствии интегрируются в основную конструкцию судна.

Механический участок – производит и обрабатывает различные механические компоненты, включая шестерни, валы и другие детали, необходимые для судового оборудования.

Каждый из этих участков играет важную роль в процессе строительства и ремонта судов, обеспечивая высокий уровень качества и надежности конечного продукта.

Исходные данные электрических нагрузок производственного корпуса АО «Севмаш» представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные электрических нагрузок объекта исследования

Наименование участка	Номер по плану	Новый/ существующий	п, шт	$\sum P_n$, кВт	P_n , кВт
Сборочно-сварочный участок (СД 10 кВ)	1	существующий	2	2500	1250
Участок окраски и антикоррозийной защиты	2	новый	30	1550	1-400
Участок судовой аппаратуры и оборудования	3	существующий	50	520	1-25
Электромонтажный участок	4	новый	40	480	1-20
Участок сборки и испытания двигателей	5	существующий	30	2270	1-200
Испытательный участок	6	новый	50	850	1-50
Участок монтажа и ремонта приборов навигации	7	существующий	25	460	2-30
Участок судоремонта	8	существующий	40	360	1-5
Сборочный участок основной сборки	9	существующий	50	520	1-20
Сборочный участок дополнительной сборки	10	существующий	60	780	1-30
Механический участок	11	существующий	30	150	1-10

Установлено, что в состав объекта исследования входят два приемники напряжением 10 кВ. Это – высоковольтные электродвигатели.

Остальные электроприёмники предприятия работают на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Данные аспекты необходимо учесть в работе далее.

Установлено, что рассматриваемый производственный корпус предприятие является энергоёмким подразделением и питается от двухтрансформаторной главной понизительной подстанции (далее – ГПП) 110/10 кВ.

На такой ГПП-110/10 кВ установлено два силовых трансформатора марки ТМН-4000/110.

От данных трансформаторов получают питание три ТП-10/0,4 кВ участков, которые в настоящее время питают восемь производственных участков.

На каждой из ТП-10/0,4 кВ участков находятся по два силовых трансформатора.

«Таким образом, на питающей ГПП-110/10 кВ производственного

корпуса АО «Севмаш» приняты два класса напряжения: 110 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта) и 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

От шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ питается внутренняя система электроснабжения предприятия» [12].

В состав внутренней системы электроснабжения предприятия входят следующие элементы:

- три двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ участков;
- щитки распределительные (далее – ЩР) – для питания силовой нагрузки;
- щитки осветительные (далее – ЩО) – для питания осветительной нагрузки;
- конечные потребители (оборудование).

Кроме того, в состав системы электроснабжения предприятия входят также высоковольтные электродвигатели сборочно-сварочного участка, которые получают питание напрямую от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, минуя ТП-10/0,4 кВ участков.

Все приведённые условия в исходной схеме предприятия выполняются [3], [12].

Следовательно, в реконструкции такая схема внешнего электроснабжения не нуждается.

Таким образом, в работе необходимо проверить все схемные решения во внешней СЭС объекта исследования.

Следовательно, в работе необходимо выбрать и обосновать новые схемные решения, которые предлагается использовать при вводе в эксплуатацию новых участков производственного корпуса предприятия, к которым относятся:

- участок окраски и антикоррозийной защиты;
- электромонтажный участок;
- испытательный участок.

1.2 Обоснование реконструкции системы электроснабжения объекта исследования

«Известно, что реконструкция систем электроснабжения на судостроительных и судоремонтных заводах должна соответствовать ряду требований, которые обеспечивают безопасность, надежность и эффективность работы предприятий, а именно:

- соответствие современным стандартам и нормам: реконструкция должна выполняться с учетом действующих норм и стандартов, таких как ГОСТы и технические регламенты, регулирующие устройство электроустановок, их безопасность и экологичность;
- надежность электроснабжения: системы должны быть реконструированы таким образом, чтобы минимизировать риск возникновения аварий и обеспечить непрерывное электроснабжение всех производственных цехов и оборудования, критически важного для процесса производства;
- энергоэффективность: реконструкция должна включать внедрение технологий и оборудования, способствующих снижению потребления энергии и затрат на электроэнергию, в том числе через использование систем автоматизированного управления и мониторинга энергопотребления;
- безопасность: электроустановки должны быть защищены от воздействия внешних и внутренних негативных факторов, включая коррозию, влажность, механические повреждения и воздействие высоких температур. Также необходимо обеспечить защиту персонала от поражения электрическим током» [12];
- автоматизация: важным аспектом является внедрение систем автоматизации для контроля и управления всей электросетью завода, что позволяет повысить эффективность эксплуатации систем и оперативно реагировать на изменения в работе сети;

- модульность и масштабируемость: системы должны быть реконструированы таким образом, чтобы их можно было легко модернизировать или расширять в ответ на изменение производственных потребностей завода;
- экологичность: все элементы системы должны соответствовать экологическим нормам, минимизируя воздействие на окружающую среду.

Реконструкция систем электроснабжения на таких специализированных предприятиях, как судостроительные и судоремонтные заводы, требует комплексного подхода, учитывающего как технические аспекты, так и требования к безопасности, экологии и экономичности.

В работе, согласно заданию, необходимо провести разработку проекта реконструкции внутризаводской системы электроснабжения объекта исследования.

Для этого в работе необходимо выбрать рациональные решения.

Установлено, что для решения поставленной задачи необходимо выбрать и обосновать новые схемные решения, которые предлагается использовать при вводе в эксплуатацию новых участков производственного корпуса предприятия, к которым относятся:

- участок окраски и антикоррозийной защиты;
- электромонтажный участок;
- испытательный участок.

На основании исходных данных, далее проводится решение поставленных задач.

По причине того, что предприятие относится ко II категории надёжности, его система электроснабжения должна быть обеспечена двумя независимыми источниками питания, следовательно, на питающей ГПП-110/10 кВ необходимо установить два силовых трансформатора.

Таким образом, питающая сеть не нуждается в реконструкции.

Далее необходимо рассмотреть схемные решения в системе внутреннего электроснабжения участка объекта исследования. Установлено, что данная реконструкция определена вводом новых потребителей в существующую схему данного участка.

Таким образом, мощность новых потребителей участка составляет 150 кВт.

Предлагается новые потребители подключить отдельной питающей кабельной линией к новой ТП-10/0,4 кВ.

Такая схема удовлетворяет требованиям нормативных документов и реализуется в работе.

«Таким образом, реконструкция системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» предполагает комплексный подход к внесению качественных изменений в существующую схему, а также модернизации существующей инфраструктуры, направленный на повышение её эффективности, надежности и безопасности» [11], [12], [16].

Этот процесс включает в себя не только обновление оборудования, но и пересмотр системы управления, а также адаптацию к современным стандартам и технологическим требованиям.

Выводы по разделу.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы. Рассмотрен состав объекта исследования. Установлено, что в него входит комплекс, состоящий из восьми участков и подразделений. Приведено краткое описание функций перечисленных подразделений. Установлено, что каждый из участков завода выполняет уникальный набор задач, обеспечивая полный цикл производства от литья и обработки до сборки и испытания готовой продукции.

Определено, что в состав объекта исследования входят два приемники напряжением 10 кВ. Это – высоковольтные электродвигатели сборочно-сварочного участка. Остальные приёмники производственного корпуса

предприятия работают на напряжении 0,38/0,22 кВ. Данные аспекты необходимо учесть в работе далее.

Показано, что в работе, согласно заданию, необходимо провести разработку проекта реконструкции системы электроснабжения участка объекта исследования.

В работе, согласно заданию, необходимо провести разработку проекта реконструкции внутризаводской системы электроснабжения объекта исследования. Для этого в работе необходимо выбрать рациональные решения. Установлено, что для решения поставленной задачи необходимо выбрать и обосновать новые схемные решения, которые предлагается использовать при вводе в эксплуатацию новых участков производственного корпуса предприятия, к которым относятся:

- участок окраски и антикоррозийной защиты;
- электромонтажный участок;
- испытательный участок.

Определено, что мощность новых потребителей участка составляет 150 кВт. Предлагается новые потребители подключить отдельной питающей кабельной линией 10 кВ к новой ТП-10/0,4 кВ. Такая схема удовлетворяет требованиям нормативных документов и реализуется в работе.

На основании исходных данных, далее проводится решение поставленных задач.

2 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания

2.1 Расчёт электрических нагрузок

Метод коэффициента спроса в расчетах электрических нагрузок системы электроснабжения производственных корпусов представляет собой значимый инструмент, позволяющий оптимизировать проектирование и эксплуатацию электрических сетей.

Этот метод основан на предположении, что не все электроприемники будут функционировать одновременно с максимальной нагрузкой, что реалистично отражает повседневные условия работы большинства производственных предприятий.

Основная актуальность данного метода заключается в возможности экономии ресурсов при проектировании системы электроснабжения, поскольку реальная максимальная нагрузка часто значительно ниже теоретически возможной суммы всех нагрузок. Это позволяет определять меньший запас мощности для выбора основного оборудования, что ведет к снижению капитальных затрат.

Задачей метода коэффициента спроса является обеспечение надежного электроснабжения при оптимальных инвестициях в инфраструктуру. Это достигается за счет точного определения пиковой нагрузки, на основании которой проектируются основные элементы системы.

Кроме того, метод способствует повышению энергоэффективности производства, так как позволяет адекватно оценить потребности в энергии и избежать избыточного энергопотребления.

Использование коэффициента спроса также важно для обеспечения безопасности электрической сети.

Правильно рассчитанная нагрузка помогает предотвратить перегрузки, которые могут привести к авариям, выходу оборудования из строя или другим нежелательным последствиям.

Это особенно критично для производственных предприятий, где сбои в электроснабжении могут вызвать значительные экономические потери.

Расчёт электрических нагрузок объекта состоит из следующих основных составляющих:

- первый этап – расчёт осветительных нагрузок;
- второй этап – расчёт силовых нагрузок;
- третий этап – расчёт суммарных нагрузок.

Расчётная мощность освещения объекта (участка, участка), кВт [16]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{ном.o} K_{пра}, \quad (1)$$

где « $K_{c.o}$ – коэффициент спроса приемников освещения;

$P_{ном.o}$ – суммарная номинальная мощность освещения, кВт;

$K_{пра}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре для светодиодных ламп» [8].

$$P_{ном.o} = P_{уд.o} F_{ц}, \quad (2)$$

где « $P_{уд.o}$ – удельная установленная мощность осветительных приемников на 1 м^2 освещаемой площади участка, кВт/ м^2 ;

$F_{ц}$ – площадь пола участка по генплану, м^2 » [8].

«Реактивная мощность светодиодных ламп» [16]:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot tg\varphi_o, \quad (3)$$

где $tg\varphi_o$ – «коэффициент реактивной мощности освещения» [8].

«Расчет освещения для сборочно-сварочного участка» [16]:

$$P_{уд.o} = 15 \text{ Вт} / \text{м}^2,$$

$$F = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ м}^2,$$

$$P_{ном.о} = 5000 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 75 \text{ кВт},$$

$$P_{р.о} = 75 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 74,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.о} = 75 \cdot 0,43 = 32,3 \text{ квар.}$$

Расчет освещения для остальных участков предприятия сведён в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет освещения для участков предприятия

Наименование участка	$F_u, \text{ м}^2$	$P_{уд.о}, \text{ Вт/м}^2$	$P_{ном.о}, \text{ кВт}$	$P_{р.о}, \text{ кВт}$	$Q_{р.о}, \text{ квар}$
Сборочно-сварочный участок (СД 10 кВ)	5000	15	75,0	74,8	32,3
Участок окраски и антикоррозийной защиты	5000	15	75,0	74,8	32,3
Участок судовой аппаратуры и оборудования	5000	17	85,0	84,8	36,5
Электромонтажный участок	5000	17	85,0	84,8	36,5
Участок сборки и испытания двигателей	5000	17	85,0	84,8	36,5
Испытательный участок	5000	15	75,0	74,8	32,3
Участок монтажа и ремонта приборов навигации	6000	17	102,0	101,7	43,8
Участок судоремонта	4000	18	72,0	71,8	30,9
Сборочный участок основной сборки	4500	15	67,5	67,3	28,9
Сборочный участок дополнительной сборки	11250	15	168,8	168,4	72,4
Механический участок	1200	15	18,0	17,9	7,7
Освещение территории предприятия	122250	4	48,9	48,8	21,0
Всего	179200	-	-	1033	466

Полученные результаты учитываются при расчёте суммарной нагрузки машиностроительного завода.

Проводится расчёт силовой и суммарной электрических нагрузок предприятия.

Расчёт первого проводится с помощью метода коэффициента спроса [17].

При проведении второго учитывается силовая и осветительная нагрузки и используется метод их суммирования.

«Активная нагрузка объектов, кВт» [17]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (4)$$

где « P_n – номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [17].

«Реактивная нагрузка, квар» [17]:

$$Q_p = P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ квар}. \quad (5)$$

«Полная нагрузка, кВА» [17]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

На примере сборочно-сварочного участка:

$$P_p = 0,5 \cdot 2500 = 1250 \text{ кВт}.$$

$$Q_p = 0,75 \cdot 1250 = 937,5 \text{ квар}.$$

$$S_p = \sqrt{1250^2 + 937,5^2} = 1562,5 \text{ кВА}.$$

$$I_p = \frac{1562,5}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 85,9 \text{ кВА}.$$

«Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» и всей питающей ГПП-110/10 кВ.

Результаты расчёта силовых электрических нагрузок» [12] объекта представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта силовых электрических нагрузок

Наименование участка	$P_{ном},$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
Сборочно-сварочный участок (СД 10 кВ)	2500	0,5	0,8	0,75	1250	937,5	1562,5	85,9
Участок окраски и антикоррозийной защиты	1550	0,5	0,8	0,75	775	581,3	968,8	53,2
Участок судовой аппаратуры и оборудования	520	0,35	0,7	1,02	182	185,6	259,9	14,3
Электромонтажный участок	480	0,35	0,7	1,02	168	171,4	240,0	13,2
Участок сборки и испытания двигателей	2270	0,4	0,8	0,75	908	681	1135,0	62,4
Испытательный участок	850	0,4	0,6	1,33	340	452,2	565,8	31,1
Участок монтажа и ремонта приборов навигации	460	0,3	0,8	0,75	138	103,5	172,5	9,5
Участок судоремонта	360	0,3	0,7	1,02	108	110,2	154,3	8,5
Сборочный участок основной сборки	520	0,4	0,6	1,33	208	276,6	346,1	19,0
Сборочный участок дополнительной сборки	780	0,4	0,7	1,02	321	327,4	458,5	25,2
Механический участок	-	-	-	-	459,8	297,7	547,8	832,5
Всего по заводу	-	-	-	-	4865	2290	-	-

Полная расчетная нагрузка участков и предприятия определяется суммой осветительной и силовой нагрузки, рассчитанной в работе ранее, кВА [19]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(P_{p.n} + P_{p.o})^2 + (Q_{p.n} + Q_{p.o})^2}. \quad (7)$$

Расчётная суммарная активная и реактивная нагрузка ГПП-110/10 кВ [19]:

$$P_{p.ГПП} = (\Sigma P_{p.n} + \Sigma P_{p.в}) K_{рм} + \Sigma P_{p.o} + \Sigma \Delta P_{тц}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

$$Q_{p.ГПП} = (\Sigma Q_{p.n} + \Sigma Q_{p.в}) K_{pm} + \Sigma Q_{p.o} + \Sigma \Delta Q_{mц}, \text{квар}, \quad (9)$$

где $K_{pm} = 0,95$ – «коэффициент разновременности максимумов нагрузки отдельных групп приемников» [19].

Полная суммарная нагрузка ГПП-110/10 кВ [19]:

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{P_{p.ГПП}^2 + Q_{p.ГПП}^2}, \text{кВА}. \quad (10)$$

Входная реактивная мощность, которая отводится предприятию [19]:

$$Q_{э1} = tg\varphi_{э1} P_{p.ГПП}, \text{квар}, \quad (11)$$

где $tg\varphi_{э1}$ – «экономически целесообразный коэффициент реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ» [19].

«На данном этапе трансформаторы ГПП еще не выбраны, поэтому потери мощности в них приближенно определяются по формулам» [19]:

$$\Delta P_{m.ГПП} = 0,02 S_{p1,ГПП}, \text{кВт}, \quad (12)$$

$$\Delta Q_{m.ГПП} = 0,1 S_{p1,ГПП}, \text{квар}. \quad (13)$$

«Тогда полная расчетная мощность на шинах высшего напряжения 110 кВ ГПП-110/10 кВ» [19]:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2} = \sqrt{(P_{p.ГПП} + \Delta P_{m.ГПП})^2 + (Q_{p.ГПП} + \Delta Q_{m.ГПП})^2}, \text{кВА}. \quad (14)$$

Производится расчет для литейного участка цветных металлов.

«Полная суммарная расчетная нагрузка» [19]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(775 + 74,8)^2 + (581,3 + 32,3)^2} = 1048,2 \text{ кВА.}$$

«Предварительные потери в трансформаторах ТП-10/0,4 кВ участков, питающих объект» [19]:

$$\Delta P_{m.} = 0,02 \cdot 1048 = 21 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{m.} = 0,1 \cdot 1048,2 = 104,8 \text{ квар.}$$

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-110/10 кВ без учета КРМ» [19]:

$$P_{p.ГПП} = 4398 \cdot 0,95 + 951 + 256 = 5385,1 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p.ГПП} = 1986 \cdot 0,95 + 431 + 627 = 2944,7 \text{ квар.}$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(5385,1)^2 + (2944,7)^2} = 6137,6 \text{ кВА.}$$

«Суммарные расчётные нагрузки ГПП-110/10 кВ с учетом КРМ» [19]:

$$Q_{\text{с1}} = 0,328 \cdot 5385,1 = 1766,3 \text{ квар,}$$

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{(5385,1)^2 + (1766,3)^2} = 5667,4 \text{ кВА,}$$

$$\Delta P_{m.} = 0,02 \cdot 5667,4 = 113,3 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{m.} = 0,1 \cdot 5667,4 = 566,7 \text{ квар.}$$

«Тогда полная суммарная расчетная нагрузка на шинах высшего напряжения 110 кВ ГПП-110/10 кВ» [19]:

$$S_{p.n} = \sqrt{(5385,1 + 113,3)^2 + (1766,3 + 566,7)^2} = 5972,9 \text{ кВА.}$$

Результаты расчётов силовых и суммарных нагрузок объекта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов силовых и суммарных нагрузок системы электроснабжения производственного корпуса

Наименование участка	Р _{рн} , кВт	Р _{р.о} , кВт	Q _{рн} , квар	Q _{р.о} , квар	Р _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , квар
Сборочно-сварочный участок	-	74,8	-	32,3	74,8	32,3	81,5	1,6	8,2
Сборочно-сварочный участок (СД 10 кВ)	1250	-	937,5	-	1250	-937,5	1562,5	-	-
Участок окраски и антикоррозийной защиты	775	74,8	581,3	32,3	849,8	613,6	1048,2	21,0	104,8
Участок судовой аппаратуры и оборудования	182	84,8	185,6	36,5	266,8	222,1	347,1	6,9	34,7
Электромонтажный участок	168	84,8	171,4	36,5	252,8	207,9	327,3	6,5	32,7
Участок сборки и испытания двигателей	908	84,8	681	36,5	992,8	717,5	1224,9	24,5	122,5
Испытательный участок	340	74,8	452,2	32,3	414,8	484,5	637,8	12,8	63,8
Участок монтажа и ремонта приборов навигации	138	101,7	103,5	43,8	239,7	147,3	281,3	5,6	28,1
Участок судоремонта	108	71,8	110,2	30,9	179,8	141,1	228,6	4,6	22,9
Сборочный участок основной сборки	208	67,3	276,6	28,9	275,3	305,5	411,2	8,2	41,1
Сборочный участок дополнительной сборки	321	168,4	327,4	72,4	489,4	399,8	631,9	12,6	63,2
Механический участок	-	17,9	-	7,7	459,8	297,7	547,8	10,76	54,8
Освещение территории	-	48,8	-	21,0	48,8	21,0	53,1	0,25	5,3
Итого на стороне 10 кВ, без учета КРМ	4398,0	951,0	1986,0	431,0	5385,1	2944,7	6137,6	256,0	627,0
Потери в трансформаторах ГПП с учетом КРМ	-	-	-	-	5385,1	1766,3	5667,4	113,3	566,7
Итого на стороне ВН	-	-	-	-	5498,4	2333,0	5972,9	-	-

«Таким образом, в работе получены результаты расчёта осветительных, силовых и суммарных нагрузок участков и всего объекта» [19].

2.2 Расчёт токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания является важной составляющей при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий.

Цель данного расчета заключается в обеспечении надежности и безопасности электрической сети путем точного определения максимальных токов, которые могут возникнуть при коротком замыкании.

Это позволяет адекватно подобрать защитное оборудование, такое как автоматические выключатели и предохранители, которые должны успешно сработать для предотвращения повреждения электрического оборудования и инфраструктуры, а также минимизации риска для персонала.

Расчеты токов короткого замыкания позволяют инженерам определять характеристики оборудования, необходимого для контроля и управления электрической сетью, а также помогают в анализе устойчивости системы при нештатных ситуациях.

Указанные меры предостерегают от потенциальных аварий, которые могут привести к дорогостоящим простоям и ремонтам.

Более того, соответствующее управление токами короткого замыкания значительно увеличивает срок службы оборудования и снижает вероятность его неожиданного выхода из строя.

Расчет КЗ проводится с выключенным АВР и двумя СД, запитанными от одного кабеля.

Исходная схема для расчёта токов КЗ приведена на рисунке 1.

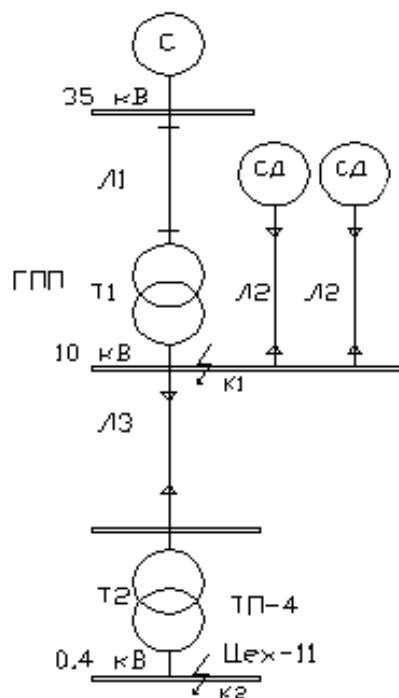


Рисунок 1 – «Исходная схема для расчета токов КЗ» [13]

Схема замещения для расчётов токов КЗ приведена на рисунке 2.

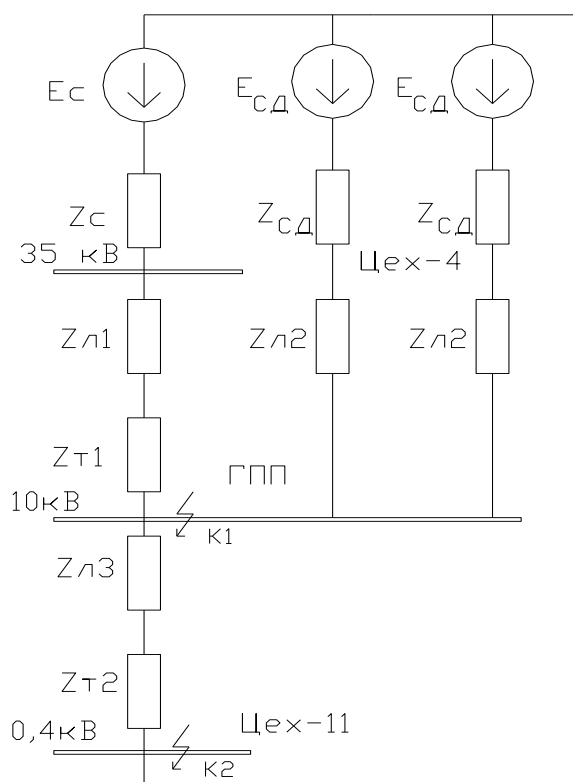


Рисунок 2 – «Схема замещения для расчётов токов КЗ» [13]

«Сопротивление системы, приведенное к 10 кВ, Ом» [13]:

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_c^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2, \quad (15)$$

где $X_{*c} = 0,3$ – «относительное сопротивление системы;

$S_c = 100$ МВт – мощность энергосистемы» [13].

$$X_c = 0,3 \cdot \frac{115^2}{100} \cdot \left(\frac{11}{115} \right)^2 = 0,35 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление силовых трансформаторов, приведенное к стороне 10 кВ, Ом» [13]:

$$X_m = \kappa^2 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{н.тр}}, \quad (16)$$

$$R_m = \kappa^2 \cdot P_\kappa \cdot \frac{U_{ном}}{S_{н.тр}}, \quad (17)$$

где « u_k – напряжение КЗ трансформатора, %» [13].

«Для трансформатора ГПП» [13]:

$$X_{T1} = 0,31^2 \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{115^2}{4} = 2,21 \text{ Ом,}$$

$$R_{T1} = 0,31^2 \cdot 0,0335 \cdot \frac{115}{4} = 0,25 \text{ Ом.}$$

«Для трансформатора участка ТП-1 (ТМ-1600/10)» [13]:

$$X_{T2} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(10,5)^2}{1,6} = 3,79 \text{ Ом},$$

$$R_{T1} = 0,0073 \cdot \frac{10,5}{0,63} = 2,03 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление СД, Ом» [13]:

$$x_{CD} = x'' \cdot \frac{U_n^2 \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{P_n}, \quad (18)$$

$$E_{CD} = \sqrt{(U_n \cdot \cos \varphi)^2 + (U_n \cdot \sin \varphi - I_n \cdot x'')^2}, \quad (19)$$

где « P_n – номинальная мощность двигателя;

η – КПД;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

I_n – номинальный ток, А;

x'' – «сверхпереходное сопротивление» [13].

$$x_{CD} = 0,24 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,92}{1,25} = 17,66 \text{ Ом}.$$

$$E_{CD} = \sqrt{(10 \cdot 0,9)^2 + (10 \cdot 0,44 - 38 \cdot 0,24)^2} = 10,16 \text{ кВ}.$$

«Сопротивление линий» [13]:

$$z_l = (x + jr) \cdot L, \text{ Ом}, \quad (20)$$

где « L – длина линии, км» [13].

«Для Л1: АС-50 (ВЛ-35 кВ) – $r_{уд} = 0,625$ Ом/км, $x_{уд} = 0,4$ Ом/км.

Для Л2: АСБ-3х25 (КЛ-10 кВ) – $r_{уд} = 1,24$ Ом/км, $x_{уд} = 0,08$ Ом/км.

Для Л3: АСБ-3х35 (КЛ-10 кВ) – $r_{уд} = 0,84$ Ом/км, $x_{уд} = 0,095$ Ом/км» [13].

«Сопротивление линий, приведенное к 10 кВ» [13]:

$$Z_{Л1} = (0,625 + j \cdot 0,4) \cdot 4 \cdot 0,31^2 = 0,24 + j \cdot 0,15 \text{ Ом.}$$

$$Z_{Л2} = (1,24 + j \cdot 0,08) \cdot 0,1 = 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом.}$$

$$Z_{Л3} = (0,84 + j \cdot 0,095) \cdot 0,1 = 0,084 + j \cdot 0,0095 \text{ Ом.}$$

«Расчет токов КЗ в сети 10 кВ в именованных единицах, А» [13]:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, \quad (21)$$

где « $Z_{k\Sigma}$ – суммарное сопротивление до точки КЗ, Ом;

E_C – напряжение системы, кВ» [13].

«Слаживаются параллельные ветви системы и СД, Ом» [13]:

$$Z_1 = \left(\frac{1}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2}{Z_{СД} + Z_{Л2}} \right)^{-1}, \quad (22)$$

$$Z_1 = 0,29 + j \cdot 2,35 \text{ Ом,}$$

$$E_C = \left(\frac{E_C}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2E_{СД}}{Z_{СД} + Z_{Л2}} \right) \cdot Z_1, \quad (23)$$

$$E_C = 10,82 + j0,024 = 10,82 \text{ кВ,}$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10,82}{\sqrt{3} \cdot |0,272 + j \cdot 2,134|} = 2,91 \text{ кА.}$$

«Постоянная времени, с» [13]:

$$T_{A1} = \frac{\sum_{R=0}^x}{\omega \cdot r \sum X=0} = \frac{\left(\frac{1}{X_C + X_{Л1} + X_{Т1}} + \frac{2}{X_{СД} + X_{Л2}} \right)^{-1}}{\omega \cdot \left(\frac{1}{R_{Л1} + R_{Т1}} + \frac{2}{R_{Л2}} \right)^{-1}}, \quad (24)$$

$$T_{A1} = \frac{2,134}{314 \cdot 0,276} = 0,025 \text{ с.}$$

«Ударный коэффициент» [13]:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/T_A}, \quad (25)$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{0,01/0,025} = 2,5.$$

«Ударный ток КЗ в точке К1, кА» [13]:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}, \quad (26)$$

$$i_{y\partial 1} = 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,91 = 10,29 \text{ кА.}$$

«Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ проводится в именованных единицах. При этом параметры схемы замещения приводим к ступени напряжения сети, на которой находится расчетная точка КЗ.

Результирующие активное и индуктивное сопротивления короткозамкнутой цепи до точки К2» [13]:

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (Z_1 + Z_{T2} + Z_{Л3}) \cdot (K_T)^2 + R_{\text{доб}} \right|, \quad (27)$$

где « $R_{\text{доб}}$ – добавочное сопротивление контактов, $R_{\text{доб}} = 15$ мОм для РУ-0,4 кВ ТП» [13].

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| \frac{(0,29 + j2,35 + 2,03 + j9,63 + 0,084 + j0,0095) \times}{\times 0,04^2 + 0,015} \right| = 0,02 + j0,019 \text{ Ом.}$$

Ток КЗ:

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (0,02 + j0,019)} = 11,56 - j12,17 = 16,79 \text{ кА.}$$

«Постоянная времени» [13]:

$$T_{A2} = \frac{0,19}{314 \cdot 0,02} = 0,03 \text{ с.}$$

«Ударный коэффициент» [13]:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{0,01/0,03} = 1,396 \approx 1,4.$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [13]:

$$i_{y\partial 2} = 16,79 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,4 = 33,24 \text{ кА.}$$

Полученные результаты используются в работе далее.

Выводы по разделу.

Рассчитаны электрические нагрузки освещения, а также силовой и суммарной нагрузки системы электроснабжения объекта исследования.

«Проведён расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения объекта» [13].

3 Расчёт и проверка силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП

3.1 Выбор и проверка трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор и проверка трансформаторов для главной понизительной подстанции производственного корпуса АО «Севмаш» являются ключевыми задачами, обеспечивающими эффективное и безопасное электроснабжение предприятия.

При этом силовой трансформатор должен соответствовать не только текущим, но и прогнозируемым потребностям (перспективным нагрузкам) с учетом возможного расширения производства.

На этапе проверки трансформаторов внимание уделяется их способности выдерживать предельные нагрузки без потери функциональности.

Проводятся проверка на нагрузочную способность.

Особое значение при этом уделяется проверке системы охлаждения и защиты трансформатора, поскольку эффективное отведение тепла и надежная защита от коротких замыканий и перегрузок критически важны для обеспечения долговечности и безопасности работы оборудования.

Также необходимо убедиться, что трансформатор соответствует всем действующим стандартам и нормам по электробезопасности и экологической устойчивости.

Это включает соблюдение норм по уровню шума, устойчивости к воздействию внешних факторов и энергоэффективности. Подтверждение соответствия международным и национальным стандартам качества является обязательным условием для ввода трансформатора в эксплуатацию.

Известно, что на подстанциях нагрузка в разные часы будет различной (с учётом суточных колебаний нагрузки). Данные изменения отображаются в суточном графике нагрузки подстанции.

Если трансформатор в нормальном режиме загружен не более чем на 80%, то в аварийной режиме его можно перегрузить на 40% в течении 6 часов 5 суток подряд.

Поэтому выбор и проверку номинальной мощности трансформатора ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» производят с учетом его нагрузочной способности [9].

Для установки на ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» имеет вид [9]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зпп}}{N \cdot K_3}, \quad (28)$$

где « $S_{м.зпп}$ – полная расчетная нагрузка, кВА;

N – число трансформаторов на подстанции, шт.

K_3 – коэффициент загрузки, о.е.» [9].

$$S_{ном.т} \geq \frac{5972,9}{2 \cdot 0,8} = 3733,1 \text{ кВА}.$$

«Исходя из полученных данных, для установки на питающей ГПП-110/10 кВ выбираются два силовых трансформатора типа ТМН-4000/110, которые удовлетворяют условиям выбора и полностью совпадают с трансформаторами» [9], установленными на главной понизительной подстанции производственного корпуса АО «Севмаш» ранее.

«Проверка на соответствие номинальной мощности выполняется» [9]:

$$S_{ном.т} \geq S_{м.зпп}, \text{ МВА.} \quad (29)$$

$$S_{ном.т} = 4000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 3733,1 \text{ кВА}.$$

Для окончательной проверки целесообразности установки силового трансформатора данной марки, проводятся расчёты его перегрузочной способности:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (30)$$

$$K_{з.п} = \frac{S_{м.зпп}}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (31)$$

«Проверки выполняются» [9]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 5972,9}{4000} = 0,74 \leq 0,8.$$

$$K_{з.п} = \frac{5972,9}{4000} = 1,48 \leq 1,4.$$

Исходя из полученных данных, для установки на питающей ГПП-110/10 кВ окончательно приняты два силовых трансформатора типа ТМН-4000/110, которые удовлетворяют условиям выбора и полностью совпадают с трансформаторами, установленными на главной понизительной подстанции производственного корпуса АО «Севмаш» ранее.

Технические характеристики трансформатора представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Каталожные данные трансформатора ГПП-110/10 кВ

Тип трансформатора	S _{ном} , МВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	P _х , кВт	P _к , кВт	U _к , %	I _х , %	РПН
ТМН-4000/10	4	115	10,5	14	58	10,5	0,9	± 6 x 1,5%

Оба трансформатора в нормальном режиме включены на существующую нагрузку подстанции. В аварийном режиме один трансформатор сможет обеспечить питание всей нагрузки I и II категории надёжности всего предприятия.

3.2 Выбор расположения ГПП

Определение местоположения главной понизительной подстанции для производственного корпуса АО «Севмаш» с учетом центра электрических нагрузок представляет собой критически важную инженерную задачу, направленную на повышение эффективности электроснабжения и оптимизацию эксплуатационных издержек.

Такой подход обеспечивает не только экономическую выгоду за счет снижения затрат на передачу и распределение электроэнергии и уменьшения количества необходимого оборудования, но и повышает экологическую безопасность за счет сокращения электромагнитных излучений в производственных зонах. Более того, размещение подстанции в оптимальной точке упрощает логистику обслуживания и обеспечивает лучший доступ для технического персонала в случаях экстренного реагирования на возможные электротехнические аварии. Актуальность данного подхода обусловлена необходимостью повышения общей эффективности производственных процессов и устойчивости предприятия к внешним и внутренним изменениям операционной среды. В условиях растущей загрузки производственных мощностей и увеличения чувствительности технологического оборудования к качеству электропитания, правильное размещение понизительных подстанций становится залогом долгосрочной надежности и экономической стабильности.

При этом наиболее рациональным вариантом является расположение ГПП в центре электрических нагрузок (далее – ЦЭН). Поэтому в работе необходимо найти координаты ЦЭН, которые определяются как [10]:

$$X_0 = \frac{\sum P_{p,i} X_i}{\sum P_{p,i}}, \text{ м}, \quad (32)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{p,i} Y_i}{\sum P_{p,i}}, \text{ м}, \quad (33)$$

где « X_i, Y_i – координаты центров нагрузок отдельных участков, м» [10].

Также для каждого участка производственного корпуса определяется радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi m}}, \quad (34)$$

«где $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го участка, кВт;
 m – масштаб мощности, принимается $m = 1000 \text{ Вт/мм}^2$ » [10].

«Угол заштрихованного сектора» [10]:

$$\varphi = 360 \frac{P_{p,o}}{P_p}. \quad (35)$$

Результаты расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результат расчёта картограммы нагрузок и ЦЭН предприятия

Наименование участка	P_p , кВт	X,м	Y,м	$P_p \cdot X$, кВт·м	$P_p \cdot Y$, кВт·м	R, мм	φ ,°
Сборочно-сварочный участок	1324,8	150	280	198720	370944	21	20
Участок окраски и антикоррозийной защиты	849,8	350	280	297430	237944	16	32
Участок судовой аппаратуры и оборудования	266,8	150	220	40020	58696	9	114
Электромонтажный участок	252,8	350	220	88480	55616	9	121
Участок сборки и испытания двигателей	992,8	150	160	148920	158848	18	31
Испытательный участок	414,8	350	160	145180	66368	12	65
Участок монтажа и ремонта приборов навигации	239,7	200	50	47940	11985	9	153
Участок судоремонта	179,8	450	140	80910	25172	8	144
Сборочный участок основной сборки	275,3	420	50	115626	13765	9	88
Сборочный участок дополнительной сборки	489,4	480	250	234912	122350	12	124
Участок	459,8	10	220	4958	101156	12	14
Итого	5816,0	-	-	1403096	1222844	-	-

Координаты центра нагрузок производственного корпуса:

$$X_0 = \frac{1403096}{5816} = 241 \text{ м},$$

$$Y_0 = \frac{1222844}{5816} = 210 \text{ м}.$$

Следовательно, питающая ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» должна находиться как можно ближе к ЦЭН. Данное условие в работе соблюдено.

3.3 Выбор и проверка трансформаторов трансформаторных подстанций участков

В работе приняты двухтрансформаторные подстанции в качестве ЦТП. Проводится проверка правильности выбора мощности ТП на участках производственного корпуса АО «Севмаш».

«Удельная плотности нагрузки» [5]:

$$\sigma_{уд} = S_{см} / F_u, \text{кВА} / \text{м}^2, \quad (36)$$

где « $S_{см}$ – полная расчетная нагрузка (среднее значение) участка производственного корпуса, кВА» [5].

Последняя определяется так:

$$S_{см} = K_{зс} S_p, \quad (37)$$

где « F_u – площадь участка по генплану, м^2 » [5].

Для сборочно-сварочного участка:

$$\sigma_{уд} = 1644 / 5000 = 0,33 \text{кВА} / \text{м}^2.$$

«Мощность трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ сборочно-сварочного участка» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (38)$$

где « $\Sigma P_{\text{р.}}$ – суммарная активная нагрузка объектов, кВт;

N – количество трансформаторов ТП участка, шт.;

$\beta_{\text{т}}$ – коэффициент активной загрузки трансформаторов» [8].

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1590,8}{2 \cdot 0,7} = 1136,3 \text{ кВА.}$$

Трансформатор ближайшей стандартной мощности ТМ-1250/10 не проходит по условиям нагрузочной и перегрузочной способности, поэтому на ТП-1 (10/0,4 кВ) сборочно-сварочного участка предварительно устанавливаются два силовых трансформатора ТМ-1600/10 [8].

«Проверки по нагрузочной способности выполняются» [8]:

$$K_{\text{з.н}} = \frac{0,5 \cdot 1590,8}{1600} \approx 0,5 \leq 0,7.$$

$$K_{\text{з.л}} = \frac{1590,8}{1600} \approx 1,0 \leq 1,4.$$

«Наибольшая РМ, которую целесообразно передать через ТП» [12]:

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{(N_{\text{ном}}\beta_{\text{норм.т}}S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{см}}^2}, \text{квар.} \quad (39)$$

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1127,3^2} = 1935,7 \text{ квар.}$$

«Суммарная мощность конденсаторных батарей, квар» [12]:

$$Q_{НБК} = Q_{см} - Q_{\max,т} \quad (40)$$

Для ТП-1:

$$Q_{НБК} = 1127,3 - 1935,7 = -808,4 \text{ квар.}$$

При $Q_{НБК} < 0$ установка КУ на подстанции не требуется, значит, на ТП-1 КУ не устанавливаются. Аналогично проведён выбор трансформаторов ТП-10/0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ участков с учётом КРМ (таблица 7).

Таблица 7 – Выбор трансформаторов ТП-10/0,4 кВ участков с учётом КРМ

№ ТП	Наименование участка	$F_{ц},$ м ²	$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ квар	$S_{см},$ кВ·А	$\sigma_{уд},$ кВ·А/м ²	$S_{ном,т},$ кВА	$Q_{\max,т},$ квар	$Q_{НБК},$ квар
ТП-1	Сборочно-сварочный участок	5000	1324	905,2	1644	0,33	1600	1935,7	-808,4
	Участок судовой аппаратуры и оборудования	5000	266,8	222,1	347,1	0,07			
ТП-2	Участок сборки и испытания двигателей	5000	992,8	717,5	1224,9	0,25	1600	1214,1	-198,9
	Механический участок	1200	459,8	297,7	547,8	0,11			
ТП-3	Сборочный участок дополнительной сборки	11250	489,4	399,8	631,9	0,06	1600	1901,4	-907,7
	Участок судоремонта	4000	179,8	141,1	228,6	0,06			
	Сборочный участок основной сборки	4500	275,3	305,5	411,2	0,09			
	Участок монтажа и ремонта приборов навигации	6000	239,7	147,3	281,3	0,05			
ТП-4	Участок окраски и антикоррозийной защиты	5000	849,8	613,6	1048,2	0,21	1600	1647,8	-341,8
	Электромонтажный участок	5000	252,8	207,9	327,3	0,07			
	Испытательный участок	5000	414,8	484,5	637,8	0,13			

Принятые решения подтверждены расчётами и проверками.

Все полученные результаты выбора силовых трансформаторов с учётом КРМ, показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

Исходя из полученных данных, для установки на питающей ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» окончательно приняты два силовых трансформатора типа ТМН-4000/110, которые удовлетворяют условиям выбора и полностью совпадают с трансформаторами, установленными на главной понизительной подстанции данного объекта ранее.

Оба трансформатора в нормальном режиме включены на существующую нагрузку подстанции. В аварийном режиме один трансформатор сможет обеспечить питание всей нагрузки I и II категории надёжности всего предприятия (при условии отключения потребителей III категории надёжности).

Рассчитан центр электрических нагрузок предприятия.

Определено, что питающая ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» находится в непосредственной близости к ЦЭН.

Для питания нагрузки участков на напряжении 0,38/0,22 кВ, с учётом перспективной нагрузки, выбраны и проверены четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами марки ТМ-1600/10 (на всех четырёх ЦТП).

Предложено все ТП-10/0,4 кВ участков выполнить в виде комплектных подстанций, которые удобнее, компактнее и надёжнее закрытых и открытых типов подстанций. Таким образом, данный выбор обоснован.

4 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

4.1 Выбор и проверка проводников

Далее в работе необходимо выбрать и проверить проводники вводных линий питающей сети производственного корпуса АО «Севмаш» напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

Все линии питающей сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ выполнены в виде кабельных линий.

Для питающей сети 10 кВ используются классические кабели марки АСБ-10 (трёхжильные), для питающей сети 0,4 кВ приняты классические кабели марки ВВГнг-LS (четырёхжильные).

Кабели марки АСБ-10 представляют собой алюминиевые силовые кабели, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках на напряжение до 10 кВ.

Они обладают рядом характеристик, делающих их предпочтительным выбором для широкого спектра применений в электроэнергетике.

Применение алюминия в качестве проводящего материала обеспечивает кабелям АСБ-10 легкость и сниженную стоимость по сравнению с медными аналогами, при этом алюминий является достаточно эффективным проводником для большинства распределительных и передающих сетей.

Материал изоляции повышает механическую прочность кабеля и его стойкость к воздействиям различных химических веществ, влаги и температурных колебаний.

Это делает такие кабели идеально подходящими для использования в условиях открытого воздуха и в помещениях с повышенной влажностью или агрессивными химическими воздействиями.

Кроме того, изоляция таких кабелей обладает высокими диэлектрическими свойствами, что значительно увеличивает безопасность

использования кабелей в электрических сетях, предотвращая риски коротких замыканий и утечек тока.

Это обеспечивает не только повышенную безопасность эксплуатации, но и улучшает надежность электроснабжения конечных потребителей.

Выбор кабелей питающей сети 10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» проводится «по экономической плотности тока» [12]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (41)$$

где « j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [12].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [14]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p, \quad (42)$$

где « $I_{\text{дон}}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [14].

«Проверка проводника в послеаварийном режиме работы» [14]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (43)$$

где « $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток, А» [14].

«Минимальное допустимое сечение проводника» [14]:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (44)$$

Проводится выбор кабельной линии 10 кВ, питающей ТП-1 от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш».

Определяются расчетные токи в нормальном и послеаварийном режимах для кабеля от ГПП до ТП-4, питающей данный реконструируемый участок сети:

$$I_{p.норм} = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (45)$$

$$I_{p.норм} = \frac{1517,4}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 41,7 \text{ A},$$

$$I_{p.ав} = 2I_{p.норм}, \quad (46)$$

$$I_{p.ав} = 2 \cdot 41,7 = 83,4 \text{ A}.$$

Экономическое сечение жил данного кабеля 10 кВ питающей сети:

$$F_э = \frac{41,7}{1,4} = 29,8 \text{ мм}^2,$$

Выбирается кабель АСБ–10 (3×35), $I_{дл.доп.} = 115 \text{ A}$, прокладка кабеля – в траншее [4].

Проводятся необходимые проверки выбранного сечения кабельной линии по допустимому нагреву токами нормального и послеаварийного режимов работы, а также по допустимой потере напряжения в конце выбранных линий.

Проверка кабеля в нормальном режиме работы:

$$115 \text{ A} \geq 41,7 \text{ A}.$$

Условие выполняется.

Проверка кабеля в послеаварийном режиме работы:

$$115 \text{ A} \geq 83,4 \text{ A}.$$

Условие выполняется.

Для питающей сети 0,38/0,22 кВ принимаются силовые кабели классического типа марки ВВГнг-LS.

Кабели марки ВВГнг-LS представляют собой силовые кабели с негорючей изоляцией, что делает их особенно подходящими для применения в условиях, требующих устойчивости к различным атмосферным и химическим воздействиям. Использование алюминия как проводящего материала придает кабелям легкость и снижает их стоимость, в то время как такая изоляция обеспечивает хорошую гибкость и устойчивость к механическим повреждениям.

Особенностью такой изоляции является ее способность противостоять действию масел, жиров и большинства типов кислот, что значительно расширяет возможности использования кабелей ВВГнг-LS в различных промышленных и строительных сферах, где часто встречаются агрессивные условия.

Кроме того, такая изоляция не поддерживает горение, что делает кабели ВВГнг-LS безопасными при возникновении пожара, минимизируя риск распространения огня.

Имея хорошую электрическую изоляцию, кабели ВВГнг-LS способствуют снижению потерь электроэнергии, что обеспечивает их эффективное использование в сетях электроснабжения.

Это, в свою очередь, повышает энергоэффективность объектов и помогает снизить эксплуатационные расходы.

Таким образом, кабели марки ВВГнг-LS обладают комбинацией свойств, делающих их надежным выбором для широкого спектра приложений, гарантируя долговечность, экономическую выгоду и безопасность.

Этим обусловлено его применение на объекте.

Сечение проводников остальных кабельных линий питающей сети 10 кВ и 0,4 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» выбраны аналогично и представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор сечений проводников кабельных линий питающей сети 10 кВ и 0,4 кВ производственного корпуса АО «Севмаш»

Линия	n, шт.	S _p , кВА	I _{p.норм} , А	I _{p.ав} , А	Площадь сечения, мм ²			Марка	L, м	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU%
					по J _{эк}	по нагреву	принято					
Питающие кабельные линии сети 10 кВ												
ГПП-ТП1	2	1991,1	54,7	109,5	39,1	16	3×16	АСБ	100	0,84	0,095	0,21
ГПП-ТП2	2	1772,7	48,7	97,5	34,8	16	3×16	АСБ	250	0,84	0,095	1,12
ГПП-ТП3	2	1553,0	42,7	85,4	30,5	16	3×16	АСБ	400	0,84	0,095	1,48
ГПП-ТП4	2	2013,3	55,4	110,8	39,6	16	3×16	АСБ	100	0,84	0,095	0,21
ГПП-1 (СД)	2	1250,0	34,4	68,8	24,6	16	3×16	АСБ	100	1,17	0,099	0,35
Питающие кабельные линии сети 0,4 кВ												
ТП1-3	2	266,8	202,7	405,4	-	95	3×95+1×50	ВВГнг-LS	25	0,59	0,063	0,34
ТП2-11	2	459,8	349,3	698,6	-	2×150	2 шт. 3×150+1×70	ВВГнг-LS	200	0,20	0,059	2,17
ТП3-8	2	179,8	136,6	273,2	-	185	3×185+1×70	ВВГнг-LS	180	0,16	0,059	3,47
ТП3-9	2	275,3	209,1	418,2	-	2×95	2 шт. 3×95+1×50	ВВГнг-LS	350	0,59	0,063	4,37
ТП3-7	2	239,7	182,1	364,2	-	2×70	2 шт. 3×70+1×35	ВВГнг-LS	400	0,42	0,061	4,18
ТП4-4	2	252,8	192,0	384,0	-	2×70	2 шт. 3×70+1×35	ВВГнг-LS	25	0,42	0,061	0,24
ТП4-6	2	414,8	315,1	630,2	-	2×150	2 шт. 3×150+1×70	ВВГнг-LS	120	0,20	0,059	1,22

Выбранные сечение проводников кабельных линий производственного корпуса АО «Севмаш» показаны в графической части работы.

4.2 Выбор электрических аппаратов

В рамках данного исследования, осуществляется выбор электрического оборудования для питающей сети анализируемого объекта.

Данная задача решается в два этапа [15]:

- на первом этапе происходит выбор типов ячеек для распределительного устройства;
- на втором этапе производится подбор электрических аппаратов, необходимых для оснащения выбранных ячеек.

При этом в качестве ГПП выбрана модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш» [18].

Для установки на питающей ГПП-110/10 кВ с целью её модернизации, предложено выбрать такие ячейки и типы распределительных устройств [15]:

- «на стороне 110 кВ – современное комплектное элегазовое РУ (далее – КРУЭ-110 кВ) с ячейками марки ЯТЭ 110Л/2500 У2, произведенное ЗАО «ЗЭТО» (Великолукский завод электротехнического оборудования)» [7];
- на стороне 10 кВ – вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ 6 (10) кВ «ЭЛТИМА-Лайт», произведенное АО «Электронмаш» [6].

Ячейки КРУЭ-110 кВ и КРУ-10 кВ устанавливаются в помещениях закрытого типа на ГПП-110/10 кВ.

«Комплектные распределительные устройства (КРУЭ) на 110 кВ с ячейками марки ЯТЭ 110Л/2500 У2, произведенные ЗАО «ЗЭТО»» [7], представляют собой высокотехнологичные системы, разработанные для обеспечения надежного и безопасного распределения электроэнергии.

Использование в конструкции ячеек ЯТЭ 110Л/2500 У2 обеспечивает улучшенные характеристики по сравнению с традиционными решениями в этой области.

Разработка данных устройств включает применение современных материалов и технологий, что позволяет достичь высокой степени автоматизации управления и мониторинга работы устройств.

Это обеспечивает не только повышенную точность контроля за работой системы, но и значительно упрощает процессы обслуживания и эксплуатации.

Способность ячеек ЯТЭ 110Л/2500 У2 выдерживать высокие нагрузки и рабочие напряжения делает их идеально подходящими для использования в ключевых узлах электросетей, где требуется гарантированная надежность и минимальный риск аварийных ситуаций.

Кроме того, применение данных устройств способствует оптимизации потребления электроэнергии и снижению эксплуатационных расходов за счет более эффективного распределения ресурсов и предотвращения потерь энергии.

Таким образом, «КРУЭ на 110 кВ с ячейками марки ЯТЭ 110Л/2500 У2 от ЗАО «ЗЭТО» являются продуктом, который сочетает в себе передовые технологические решения с повышенными требованиями к надежности и экономичности, что делает их востребованным решением для современных электросетей» [7].

«Вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ 6 (10) кВ «ЭЛТИМА-Лайт», произведенное АО «Электронмаш», представляет собой современное решение в области электротехники, обеспечивающее высокую надежность и эффективность распределения электроэнергии» [6].

Это устройство разработано с использованием вакуумной коммутационной технологии, что значительно уменьшает вероятность возникновения дуги и повышает общую безопасность системы.

Особенностью КРУ «ЭЛТИМА-Лайт» является наличие выкатных элементов, что упрощает обслуживание и ремонт устройства, делая эти процессы более быстрыми и безопасными.

Компактность конструкции и модульность системы позволяют гибко настраивать устройство под конкретные условия эксплуатации, обеспечивая тем самым его широкую адаптацию к различным проектным требованиям.

Применение вакуумной технологии также способствует снижению эксплуатационных расходов за счет уменьшения потребности в регулярном техническом обслуживании и повышении срока службы компонентов.

Следовательно, устройство «ЭЛТИМА-Лайт» отличается высокой экологической безопасностью, так как вакуумные коммутаторы не используют в качестве изоляции газ SF₆, который оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Далее проводится компоновка выбранных ячеек РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ объекта исследования.

«Результаты выбора выключателей высокого напряжения» [8], представлены в форме таблицы 9.

Таблица 9 – Результаты выбора выключателей ВН (на примере вводных присоединений) в системе ЭС предприятия

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2, модуль выключателя КРУЭ-110 кВ ЯТЭ 110Л/2500 У2 [7]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 34,58 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 9,3 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 23,67 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 9,3^2 \cdot 3 = 259,47 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
«Вводы 1 и 2, выключатели РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ЗЕТО-31,5/2000 (вакуумные)» [8]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 249,16 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 5,78 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,22 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 5,78^2 \cdot 3 = 100,23 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$

Результаты выбора разъединителей (на примере вводных присоединений в РУЭ-110 кВ) в системе ЭС предприятия, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора разъединителей (на примере вводных присоединений) в системе ЭС предприятия

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Модуль разъединителя КРУЭ-110 кВ ЯТЭ 110Л/2500 У2 [8]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 34,58 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 23,67 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 9,3^2 \cdot 3 = 259,47 \text{ кА}^2\text{с.}$	$I_T^2 \cdot t_T = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Выбор измерительных трансформаторов тока (далее – ТТ) и трансформаторов напряжения (далее – ТН) осуществляется по потребляемой мощности в требуемом классе точности. В работе выбираются ТТ для установки на сторонах 110 кВ и 10 кВ (таблица 11).

Таблица 11 – Результаты проверки ТТ на стороне 10 кВ

Тип ТН	$\frac{I_H}{I_{уст}}, \text{ А}$	$\frac{U_H}{U_{уст}}, \text{ кВ}$	$\frac{S_H}{S_2 \Sigma}, \text{ ВА}$	Класс точности	$\frac{i_y}{i_{дин.}}, \text{ кА}$	$\frac{B_K}{I_T^2 \cdot t_T}, \text{ кА}^2\text{с}$
Модуль ТТ КРУЭ-110 кВ ЯТЭ 110Л/2500 У2	$\frac{50}{34,58}$	$\frac{110}{110}$	$\frac{300,0}{\leq 300,0}$	1,0	$\frac{23,67}{31,5}$	$\frac{259,47}{19200}$
ТОЛ-СЭЦ-10-21	$\frac{300}{249,16}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{30,0}{\leq 30,0}$	1,0	$\frac{10,22}{20,0}$	$\frac{100,23}{2976,8}$

«Выбор трансформаторов напряжения на сторонах 110 кВ и 10 кВ представлены в таблице 12» [15].

Таблица 12 – Результаты выбора ТН на сторонах 110 кВ и 10 кВ

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_H}{U_{уст}}, \text{ кВ}$	$\frac{S_H}{S_2 \Sigma}, \text{ ВА}$
Модуль ТН КРУЭ-110 кВ ЯТЭ 110Л/2500 У2	2	600/2	1,0	$\frac{110}{110}$	$\frac{1200,0}{\leq 1200,0}$
НАМИТ-10	2	100/2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{\leq 200,0}$

Для защиты от перенапряжений, которые могут возникнуть в сети 110 кВ и 10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ вследствие ударов молнии либо при внутренней коммутации вакуумных выключателей, выбираются современные ограничители перенапряжений (далее – ОПН). Основной задачей ОПН является обеспечение защиты электротехнического оборудования от повреждений, вызываемых высокими уровнями напряжения в электросети.

Устройства защиты от перенапряжений предупреждают подобные повреждения. Эти устройства монтируются на местах ввода воздушных и кабельных линий электропередач, а также используются в ячейках 10 кВ в сочетании с ранее выбранными вакуумными выключателями, что позволяет нейтрализовать перенапряжения, возникающие в результате формирования «вакуумной дуги».

Таким образом, ОПН играют важную роль на подстанциях, обеспечивая защиту оборудования, стабильность и надёжность системы.

Таким образом, выбраны следующие типы ОПН для установки на ГПП-110/10 кВ:

- «В РУ-110 кВ: ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПНп-110/800/146-10-III-УХЛ1;
- в РУ-10 кВ: ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПН-П-10/12,7/10/1,1» [17].

Всё выбранное и проверенное оборудование представлено в графической части работы.

Выводы по разделу.

В работе выбраны проводники и электрические аппараты для применения в системе электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш».

Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ различных сечений, проложенные в земляной траншее.

При этом в качестве ГПП выбрана модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш».

Для установки на питающей ГПП-110/10 кВ с целью её модернизации, предложено выбрать такие ячейки и типы распределительных устройств:

- «на стороне 110 кВ – современное комплектное элегазовое РУ (далее – КРУЭ-110 кВ) с ячейками марки ЯТЭ 110Л/2500 У2, произведенное ЗАО «ЗЭТО» (Великолукский завод электротехнического оборудования)» [7];
- на стороне 10 кВ – вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ 6 (10) кВ «ЭЛТИМА-Лайт», произведенное АО «Электронмаш» [6].

Ячейки КРУЭ-110 кВ и КРУ-10 кВ устанавливаются в помещениях закрытого типа на ГПП-110/10 кВ.

Выбрано и проверено основное оборудование для комплектования данных ячеек РУ (выключатели, разъединители, измерительные ТТ и ТН, а также ОПН).

Установлено, что всё выбранное оборудование напряжением 110 кВ и 10 кВ подходит для применения на ГПП-110/10 кВ объекта исследования.

5 Выбор устройств систем вторичной коммутации ГПП

Установлено в результате проведения анализа, что выбор устройств систем вторичной коммутации на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» обусловлено комплектованием данного типа подстанции.

Ранее в работе в качестве ГПП выбрана модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш».

Вторичные цепи устанавливаются в ОПУ данной ГПП-110/10 кВ и комплектуются следующими типами оборудования [18]:

- РУСН 0,4 кВ на базе НКУ «Ассоль»;
- СОПТ «ExOnSys»;
- шкафами РЗА и ПА;
- шкафами телемеханики / АСУ ТП;
- шкафом связи и синхронизации.

На ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» применяется комплекс вторичных цепей, который включает в себя разнообразное оборудование, обеспечивающее функционирование, контроль и управление электроэнергетическими процессами.

Каждый элемент этого комплекса выполняет определенную функцию в структуре управления подстанцией.

Распределительное устройство низкого напряжения РУСН 0,4 кВ на базе НКУ «Ассоль» предназначено для распределения и контроля электроэнергии внутри подстанции.

Такое устройство обладает высокой функциональностью и надежностью, что обеспечивает стабильную работу всех систем подстанции.

Система оперативного переключения трансформаторных подстанций (СОПТ) «ExOnSys» является автоматизированной системой, предназначенной

для управления переключениями электроустановок без вмешательства оператора.

Данная система повышает безопасность работы персонала, минимизирует время реакции на изменение режимов работы и способствует повышению общей эффективности управления энергосистемой.

Шкафы РЗА (релейной защиты и автоматики) и ПА (противоаварийной автоматики) являются ключевыми элементами в системе безопасности подстанции.

Они предназначены для мониторинга параметров работы электрооборудования и автоматического отключения участков сети при обнаружении нештатных или аварийных режимов, что предотвращает возможные повреждения оборудования и обеспечивает безопасность персонала.

Шкафы телемеханики и АСУ ТП (автоматизированной системы управления технологическим процессом) «представляют собой комплексные системы для удаленного управления и контроля за работой подстанции, обеспечивая сбор, передачу и обработку данных в реальном времени» [18].

Данный аспект позволяет оперативно реагировать на изменения в работе подстанции и оптимизировать процессы управления электроэнергетикой.

Шкаф связи и синхронизации обеспечивает координацию работы всех компонентов подстанции, включая синхронизацию времени всех устройств учета и контроля.

Это критически важно для точности функционирования автоматизированных систем, особенно в условиях, требующих высокой точности и согласованности действий.

Внешний вид шкафов вторичных систем коммутации ГПП-110/10 кВ (модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш») представлен на рисунке 3.

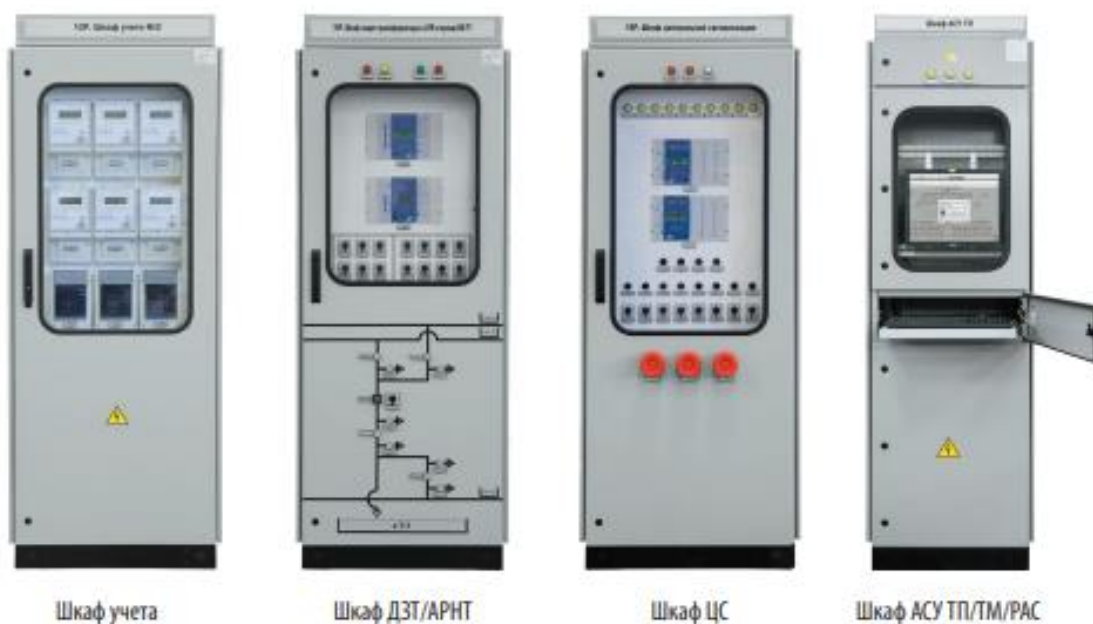


Рисунок 3 – Внешний вид шкафов вторичных систем коммутации ГПП-110/10 кВ (модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш»)

Компоновка шкафов вторичных систем коммутации ГПП-110/10 кВ (модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш») представлена на рисунке 4.

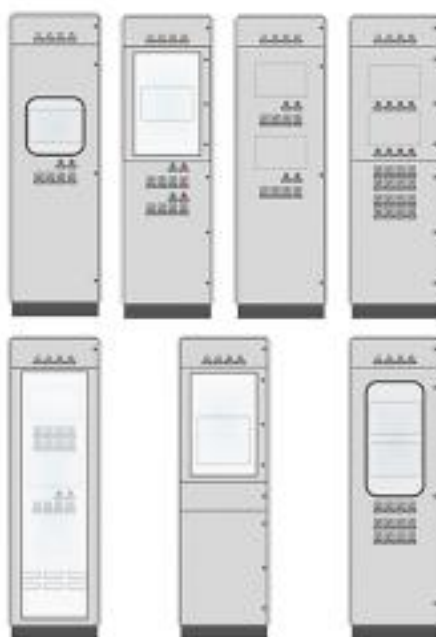


Рисунок 4 – Компоновка шкафов вторичных систем коммутации ГПП-110/10 кВ (модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш»)

Таким образом, интеграция данного оборудования в структуру ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» не только повышает эффективность работы всей подстанции, но и способствует повышению надежности, безопасности и управляемости всей системы электроснабжения объекта исследования.

Выводы по разделу.

В работе проведён выбор устройств систем вторичной коммутации на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш».

Установлено, что данный выбор обусловлен комплектованием данного типа подстанции. Ранее в работе в качестве ГПП выбрана модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш», поэтому выбирается компоновка вторичных цепей, установленная заводом-изготовителем.

Определено, что вторичные цепи устанавливаются в ОПУ данной ГПП-110/10 кВ и комплектуются следующими типами оборудования:

- РУСН 0,4 кВ на базе НКУ «Ассоль»;
- СОПТ «ExOnSys»;
- шкафами РЗА и ПА;
- шкафами телемеханики / АСУ ТП;
- шкафом связи и синхронизации.

Определено, что интеграция данного оборудования в структуру ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» не только повышает эффективность работы всей подстанции, но и способствует повышению надежности, безопасности и управляемости всей системы электроснабжения объекта исследования.

Заключение

В работе осуществлена разработка мероприятий по реконструкции системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» с последовательной проверкой основных решений. Данная реконструкция обусловлена вводом в эксплуатацию новых потребителей участков данного объекта.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы. Рассмотрен состав объекта исследования. Установлено, что в него входит комплекс, состоящий из восьми участков и подразделений. Приведено краткое описание функций перечисленных подразделений. Установлено, что каждый из участков завода выполняет уникальный набор задач, обеспечивая полный цикл производства от литья и обработки до сборки и испытания готовой продукции.

Определено, что в состав объекта исследования входят два приемника напряжением 10 кВ. Это – высоковольтные электродвигатели сборочно-сварочного участка. Остальные приёмники производственного корпуса предприятия работают на напряжении 0,38/0,22 кВ. Данные аспекты необходимо учесть в работе далее.

Показано, что в работе, согласно заданию, необходимо провести разработку проекта реконструкции системы электроснабжения участка объекта исследования.

В работе, согласно заданию, необходимо провести разработку проекта реконструкции внутризаводской системы электроснабжения объекта исследования. Для этого в работе необходимо выбрать рациональные решения. Установлено, что для решения поставленной задачи необходимо выбрать и обосновать новые схемные решения, которые предлагается использовать при вводе в эксплуатацию новых участков производственного корпуса предприятия, к которым относятся:

- участок окраски и антикоррозийной защиты;

- электромонтажный участок;
- испытательный участок.

Определено, что мощность новых потребителей участка составляет 150 кВт. Предлагается новые потребители подключить отдельной питающей кабельной линией 10 кВ к новой ТП-10/0,4 кВ. Такая схема удовлетворяет требованиям нормативных документов и реализуется в работе.

Рассчитаны электрические нагрузки освещения, а также силовой и суммарной нагрузки системы электроснабжения объекта исследования.

Проведён расчёт токов КЗ.

Исходя из полученных данных, для установки на питающей ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» окончательно приняты два силовых трансформатора типа ТМН-4000/110, которые удовлетворяют условиям выбора и полностью совпадают с трансформаторами, установленными на главной понизительной подстанции данного объекта ранее.

Оба трансформатора в нормальном режиме включены на существующую нагрузку подстанции. В аварийном режиме один трансформатор сможет обеспечить питание всей нагрузки I и II категории надёжности всего предприятия (при условии отключения потребителей III категории надёжности).

Рассчитан центр электрических нагрузок предприятия.

Определено, что питающая ГПП-110/10 кВ производственного корпуса АО «Севмаш» находится в непосредственной близости к ЦЭН.

Для питания нагрузки участков на напряжении 0,38/0,22 кВ, с учётом перспективной нагрузки, выбраны и проверены четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами марки ТМ-1600/10 (на всех четырёх ЦТП).

Предложено все ТП-10/0,4 кВ участков выполнить в виде комплектных подстанций, которые удобнее, компактнее и надёжнее закрытых и открытых типов подстанций. Таким образом, данный выбор обоснован.

В работе выбраны проводники и электрические аппараты для применения в системе электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш».

Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ различных сечений, проложенные в земляной траншее.

При этом в качестве ГПП выбрана модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш».

Для установки на питающей ГПП-110/10 кВ с целью её модернизации, предложено выбрать такие ячейки и типы распределительных устройств:

- «на стороне 110 кВ – современное комплектное элегазовое РУ (далее – КРУЭ-110 кВ) с ячейками марки ЯТЭ 110Л/2500 У2, произведенное ЗАО «ЗЭТО» (Великолукский завод электротехнического оборудования)» [7];
- на стороне 10 кВ – вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ 6 (10) кВ «ЭЛТИМА-Лайт», произведенное АО «Электронмаш» [6].

Ячейки КРУЭ-110 кВ и КРУ-10 кВ устанавливаются в помещениях закрытого типа на ГПП-110/10 кВ.

Выбрано и проверено основное оборудование для комплектования данных ячеек РУ (выключатели, разъединители, измерительные ТТ и ТН, а также ОПН).

Установлено, что всё выбранное оборудование напряжением 110 кВ и 10 кВ подходит для применения на ГПП-110/10 кВ объекта исследования.

В работе проведён выбор устройств систем вторичной коммутации на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш».

Установлено, что данный выбор обусловлен комплектованием данного типа подстанции. Ранее в работе в качестве ГПП выбрана модификация КТПБ-110/10 кВ «ELM» АО «Электронмаш», поэтому выбирается компоновка вторичных цепей, установленная заводом-изготовителем.

Определено, что вторичные цепи устанавливаются в ОПУ данной ГПП-110/10 кВ и комплектуются следующими основными типами электрооборудования:

- РУСН 0,4 кВ на базе НКУ «Ассоль»;
- СОПТ «ExOnSys»;
- шкафами РЗА и ПА;
- шкафами телемеханики / АСУ ТП;
- шкафом связи и синхронизации.

Определено, что интеграция данного оборудования в структуру ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производственного корпуса АО «Севмаш» не только повышает эффективность работы всей подстанции, но и способствует повышению надежности, безопасности и управляемости всей системы электроснабжения объекта исследования.

Список используемых источников

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы	6
1.1 Исходная характеристика объекта исследования	6
1.2 Обоснование реконструкции системы электроснабжения объекта исследования ..	11
2 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания	15
2.1 Расчёт электрических нагрузок.....	15
2.2 Расчёт токов короткого замыкания	23
3 Расчёт и проверка силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП.....	30
3.1 Выбор и проверка трансформаторов главной понизительной подстанции.....	30
3.2 Выбор расположения ГПП	33
3.3 Выбор и проверка трансформаторов трансформаторных подстанций участков	35
4 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов	39
4.1 Выбор и проверка проводников.....	39
4.2 Выбор электрических аппаратов	43
5 Выбор устройств систем вторичной коммутации ГПП.....	50
Заключение	54
Список используемых источников.....	58

1. АО «Севмаш» [Электронный ресурс]: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Северное_машиностроительное_предприятие (дата обращения: 12.04.2024).
2. АО «Севмаш». [Электронный ресурс]: URL: <https://sevmash.ru/rus/> (дата обращения: 12.04.2024).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 12.04.2024).
4. Длительно допустимый ток кабелей АСБ. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.pinterest.com/pin/463870830372952509/> (дата обращения: 12.04.2024).
5. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций

и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.

6. Комплектное распределительное устройство «ЭЛТИМА-Лайт», АО «Электронмаш». [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-raspredelitelnye-ustroistva-do-35-kv/kru-6-10-kv-eltima> (дата обращения: 12.04.2024).

7. Комплектное распределительное устройство КРУЭ–110 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://zeto.ru/krue-110/> (дата обращения: 12.04.2024).

8. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.

9. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

10. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 12.04.2024).

14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

16. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 12.04.2024).

17. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.

18. Функциональная модульная платформа КТП-ELM 110 (220) кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-110-220-kv> (дата обращения: 12.04.2024).

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.