

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 Электроснабжение группы цехов турбинного завода

Обучающийся

Е.А. Шило

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2022

Аннотация

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого осуществлены мероприятия по проектированию системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

На основе полученных результатов расчёта нагрузок потребителей, а также расчёта токов КЗ, в работе выбрана и обоснована схема электроснабжения объекта проектирования, осуществлён выбор проводников электрических сетей, а также проведён электрических аппаратов и системы учёта и контроля электроэнергии на объекте исследования.

Обоснование всех указанных мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта исследования в работе подтверждено соответствующими техническими расчётами и проверками, в частности, выбором современных типов приведённого оборудования и сетей разработанного проекта.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия для безопасного выполнения работ с последующим их внедрением на объекте проектирования.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика завода	7
1.1 Характеристика технологического процесса группы цехов турбинного завода.....	7
1.2 Характеристика потребителей группы цехов турбинного завода	10
2 Разработка проекта системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.....	17
2.1 Выбор схемы электроснабжения группы цехов турбинного завода .	17
2.2 Расчёт электрических нагрузок	24
2.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП	29
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП.....	33
2.5 Построение картограммы электрических нагрузок	38
2.6 Выбор сечения проводников.....	40
2.7 Расчёт токов короткого замыкания	44
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов	51
3 Техника безопасности и охрана труда	58
3.1 Организация охраны труда на предприятии	58
3.2 Анализ видов и причин опасностей	60
3.3 Мероприятия по охране труда и технике безопасности	62
Заключение	70
Список используемых источников.....	72

Введение

В работе детально рассматривается проектирование системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, в основе производственной деятельности которой лежит непосредственное производство, ремонт и обслуживание турбин различного рода (парового, газового и смешанного типов), применяемых в тяжёлой и лёгкой промышленности, на электростанциях, а также в мореходстве и прочих сферах и отраслях промышленности страны.

Данный аспект формирует системы электроснабжения объекта проектирования.

Известно, что системы электроснабжения современных участков и цехов группы цехов турбинного завода являются важным звеном энергетики регионов и страны в целом.

Они обеспечивают технологический процесс непосредственное производство и реализация турбинных установок различного рода, а также выполняют их непосредственное обслуживание, монтажные и ремонтные работы различного рода, обеспечивая таким образом технологический процесс на данном турбинном заводе.

Применение современных типов схем и оборудования для процесса непосредственного производства и реализации турбинных установок различного рода, а также использование их при непосредственном обслуживании, проведении монтажных и ремонтных работ любой сложности и трудоёмкости весьма выгодно, так как этот фактор обеспечивает мощностями технологический процесс всего предприятия в условиях, когда невозможно или очень проблематично применение классических схемных решений и устаревшего оборудования, что делает системы электроснабжения группы цехов турбинного завода практически незаменимым инструментом в технологическом процессе всего предприятия, а также в совокупности – всей промышленности страны.

Одна из таких производственных систем электроснабжения группы цехов турбинного завода детально рассматривается и разрабатывается в данной работе.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения группы цехов производственных систем турбинного завода.

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения группы цехов производственных систем турбинного завода.

Предметом исследования являются схема электрических соединений системы электроснабжения группы цехов производственных систем турбинного завода, а также элементы системы электроснабжения объекта исследования: электрические сети питающей и распределительной сети, а также электрические аппараты всех рассматриваемых в работе номинальных классов напряжения.

Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым, реконструируемым и модернизируемым системам электроснабжения объектов промышленных предприятий (в частности – предприятий тяжёлой и машиностроительной промышленности), а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности объектов и систем промышленности, находящихся на стадии проектирования, необходимой реконструкции и модернизации [1,3,7].

Актуальность исследования в работе также обусловлена и подтверждается необходимостью качественных мероприятий по проектированию, модернизации и реконструкции систем электроснабжения предприятий отечественного промышленного и энергетического комплекса всех типов согласно программе «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» [20].

Для качественной реализации указанной основной цели работы, в данной работе осуществляется решение следующих основных поставленных

задач, в частности:

– анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для решения основных задач. На основе полученных данных анализа, проводится обоснование необходимости внедрения соответствующих решений в схеме электрических соединений объекта проектирования;

– непосредственное проектирование системы электроснабжения группы цехов производственных систем турбинного завода с конечным выбором целесообразной и оптимальной схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов. В связи с этим, в работе проводятся необходимые расчёты электрических нагрузок, расчет и выбор силовых трансформаторов на понизительных подстанциях, выбор компенсирующих устройств, выбор и проверка сечения проводников, расчет токов КЗ, выбор и проверка электрических аппаратов спроектированной системы электроснабжения объекта;

– разработка мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения объекта, в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности в системе электроснабжения группы цехов производственных систем турбинного завода.

Все расчёты и проверки, а также выбор принятых решений, в работе проводятся, исходя из нормативно – технических источников с непосредственным использованием рекомендованной технической нормативной и учебной литературы.

Кроме того, при проектировании применяются сведения и знания, полученные из типовых рабочих проектов.

1 Характеристика завода

1.1 Характеристика технологического процесса группы цехов турбинного завода

Рассматриваемая и проектируемая в работе группа цехов производственных систем турбинного завода, должна быть территориально расположена в промышленной зоне вне населённых пунктов и жилых кварталов.

Данные крупные промышленные объекты рекомендовано располагать вне населённых пунктов, что связано с многочисленными экологическими факторами, в частности [18]:

- прямым и косвенным загрязнением окружающей среды вредными выбросами и веществами;
- влияние на атмосферный воздух;
- высокой опасностью прохождения по территории городской застройки воздушных линий электропередач высоких классов напряжений;
- влияние мощных шумов на здоровье и людей и экологическую систему в целом.

В связи с развитием высоких современных технологий в стране, в свете научно-технического прогресса, введения в эксплуатацию новых мощностей в условиях острого дефицита энергоресурсов, в современном обществе возникла острая необходимость в промышленных предприятиях, которые специализируются на производстве, реализации, а также обслуживании, монтаже и ремонте турбинных установок различного типа (парового, газового и смешанного типов), применяемых в тяжёлой и лёгкой промышленности, на электростанциях, а также в мореходстве и прочих сферах и отраслях промышленности страны.

К таким типам турбин относятся [18]:

- паровые турбины;

- газовые турбины;
- турбины смешанного типа;
- турбины для электростанций;
- турбины для морских судов.

Все перечисленные турбины, которые производит завод, а также осуществляет их технологический процесс ремонта, монтажа и обслуживания, разделяются на множество ветвей и направлений по своему технологическому назначению, а также природе и способу их применения.

Проектирование завода турбинных установок в современном мире в условиях жёсткой конкуренции, требует применения современных технологий производства.

Данный аспект обуславливает практическую ценность работы, так как проектирование и ввод в эксплуатацию данного предприятия с учётом инноваций в технологии производства и использованием современного энергосберегающего оборудования, способно частично решить вопросы с производством турбинных установок различного типа в регионе и стране в целом.

Технология производства продукции на проектируемом заводе турбинных установок, соответствует основным современным требованиям и нормам [18].

Технология производства продукции на проектируемом в работе заводе турбинных установок, включает в себя следующие основные этапы, а именно [18]:

- приём продуктов для технологического процесса – обеспечивается складскими помещениями, из которых первичный материал поставляют в производственный комплекс завода;
- переработка (подготовка) первичного материала – нужна для приведения первичного материала, полученного со склада, в нужную форму. Данный этап включает в себя очистку (крупную и мелкую), обработку

(физическую и химическую) первичного материала для подготовки производства на заводе турбинных установок;

– производство узлов и механизмов турбинных установок – осуществляется после обработки первичного материала на специальных производственных комплексах в соответствующих цехах и подразделениях завода;

– сборка компонентов турбинных установок (комплектация узлов и механизмов в агрегаты) – производится в специализированных сборочных цехах и на участках. При этом процесс строго контролируется и автоматизируется. На конечном этапе получается готовый продукт (турбинная установка соответствующего типа) в полностью собранном и укомплектованном состоянии;

– маркировка, покраска и упаковка – конечный полученный продукт требуется промаркировать, окрасить и упаковать для транспортировки конечному получателю. Упаковка должна быть надёжной, механически прочной и полностью герметичной, без нарушений её целостности.

Также перед непосредственным процессом упаковки, как правило, проводится дефектация полученной продукции с проверкой качества сборки основных узлов и механизмов, целостности, отсутствия механических повреждений, герметичности, маркировки, окраски и так далее.

Полученный продукт, который не прошёл процесс дефектации, отбраковывается.

После приведённого технологического процесса, полученные на заводе турбинные установки или их комплектующие, направляются на складские помещения, где хранятся при строго отведённых условиях (особое значение при этом имеет допустимое значение влажности).

Этот процесс должен контролироваться с помощью специальных датчиков влажности и быть полностью автоматизирован.

Реализация готовой продукции на заводе турбинных установок осуществляется непосредственно со складских комплексов оптовым и

розничным покупателям согласно установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров рассматриваемого в работе турбинного завода.

Также рассматриваемый в работе завод выполняет функции ремонта, монтажа и эксплуатации, а также модернизации оборудования турбинных установок.

1.2 Характеристика потребителей группы цехов турбинного завода

На рассматриваемом в работе заводе турбинных установок имеются пять производственных цехов и участков, которые вносят основной вклад в процесс изготовления готовой технологической продукции (различных турбинных установок).

На данном проектируемом заводе по производству турбинных установок, согласно технологии производства, к производственным и вспомогательным цехам и участкам относятся следующие цеха и участки завода [18]:

- производственный цех;
- сборочный цех;
- компрессорная (в том числе СТД 10 кВ);
- турбинный цех;
- административно-складской комплекс.

В современной экономике предприятий промышленного комплекса также крайне необходимо также использовать все возможности для получения прибыли, исходя из производимой продукции [12].

Поэтому помимо процесса изготовления продукции, на заводе по производству турбинных установок также необходимо предусмотреть участки, которые будут заниматься обслуживанием и ремонтов техники и оборудования завода. Для данной цели на заводе применяется оборудование

широкопрофильного турбинного цеха, в котором также выполняется модернизация оборудования турбинных установок.

Это значительно повысит спрос выпускаемой продукции завода в реалиях современной экономики, а также удешевит выпускаемую продукцию путём снижения затрат на ремонт и эксплуатацию оборудования в целом.

Также для привлечения партнёров и покупателей с целью рекламирования производимой продукции, а также её реализации, на заводе по производству турбинных установок необходимо предусмотреть торговый выставочный комплекс, который конструктивно входит в состав административно-складского комплекса.

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на технологический процесс производства и реализации готовой продукции группы цехов турбинного завода.

По этой причине они также должны быть включены в проектируемую систему электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Исходные технические данные приведённых производственных и вспомогательных цехов и участков рассматриваемого и проектируемого в работе группы цехов турбинного завода, приведены в таблице 1.

В таблице 1 указана проектная мощность для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них должно быть установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции.

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков группы цехов турбинного завода

Цех	$\sum P_{уст.}$, кВт	$P_{н.эп.}$, кВт	n , шт	$k_{и}$	$\cos \varphi$
Производственный	5300	7-60	70	0,35	0,6
Сборочный	3400	4,5-80	40	0,4	0,65
Компрессорная	400	2,8-20	15	0,3	0,7
(в том числе СТД 10 кВ)	1260	630	4	0,7	0,9
Турбинный	5500	4,5-70	80	0,65	0,65
Административно-складской комплекс	500	4-20	10	0,8	0,8
Всего по заводу	16360	-	219	0,4	0,65

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных цехов и участков группы цехов турбинного завода в принятом масштабе, а также с учётом их взаимного расположения и указания направления и длины линии от источника питания, в данной работе представлен на рисунке 1. После выполнения проектирования, на данный план расположения оборудования переносится на графический лист 1, на который также наносятся сети (питающие и распределительные), а также расположение всех понизительных подстанций.

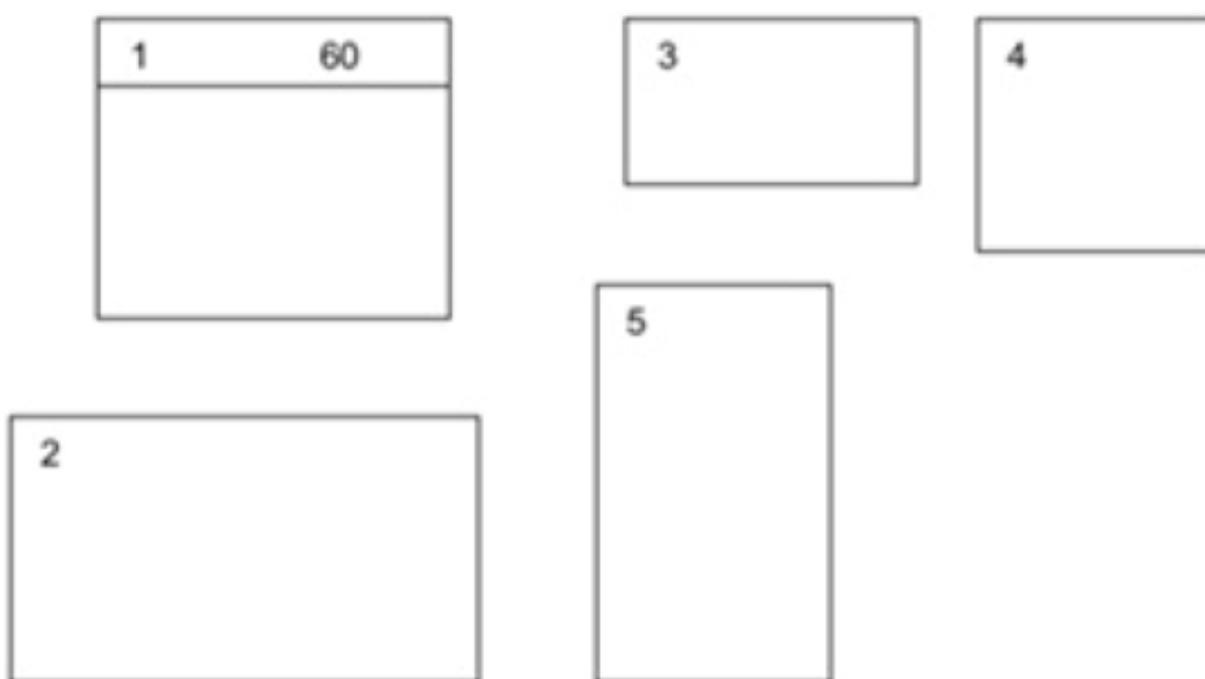


Рисунок 1 – План расположения цехов группы цехов турбинного завода

Также в работе используются следующие основные исходные данные согласно заданию на проектирование:

– питание турбинного завода от системы осуществляется от районной ПС энергосистемы 110/35/6 кВ, расположенной в 35 км от завода с двумя трансформаторами по 40 МВ·А.

- прокладка воздушной линии возможна.
- мощность, передаваемая системой $Q_{\text{э}} = 2,5$ МВ·А.
- экономический эквивалент мощности $k_{\text{э}} = 0,05$ кВт / квар.

На основании приведенных исходных данных производственных и вспомогательных цехов и участков группы цехов турбинного завода, а также исходного плана расположения цехов и участков объекта исследования, далее в работе проводится решение основных поставленных задач проектирования.

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что все потребители цехов и участков группы цехов турбинного завода работают на переменном напряжении 380/220 В, за исключением высоковольтных трёхфазных синхронных двигателей компрессорной, работающие на номинальном напряжении 10 кВ. Этот факт необходимо учесть в работе при проведении соответствующих расчётов и проверок.

Также в таблице 1 показано, что суммарная установленная проектная мощность всех цехов и участков группы цехов турбинного завода составляет 16360 кВт.

Для выполнения поставленных в работе задач, необходимо провести классификацию и систематизацию цехов и участков группы цехов турбинного завода по условиям надёжности, производственной среды и условий.

Известно, что надёжность электроснабжения потребителей должна соответствовать требованиям [10], согласно которым «электроприемники делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надёжности электроснабжения» [10].

Согласно этому, проводится разделение цехов и участков группы цехов турбинного завода на категории надёжности.

При этом, согласно анализа исходных данных, приведённых в таблице 1, в проектируемой системе электроснабжения автомобильного завода среди цехов и участков выделяются следующие основные типы, которые можно также классифицировать по следующим категориям [10]:

- основные производственные цеха и участки – I категории по надёжности электроснабжения;

- основные вспомогательные цеха и участки – II категории по надёжности электроснабжения;

– неосновные вспомогательные цеха и участки – III категории по надёжности электроснабжения.

Исходя из этого, далее в работе по соответствующим категориям проводится классификация основных цехов и участков завода.

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха и участки основного технологического производства группы цехов турбинного завода, а именно:

- производственный цех;
- сборочный цех;
- турбинный цех.

К потребителям II категории относятся основные вспомогательные цеха и участки группы цехов турбинного завода, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс производства, а именно:

- компрессорная (в том числе СТД 10 кВ).

К потребителям III категории относятся неосновные вспомогательные цеха и участки, не принимающие непосредственного участия в основном технологическом процессе производства завода:

- административно-складской комплекс.

Результаты проведённого анализа и систематизация цехов и участков группы цехов турбинного завода по категориям надёжности их потребителей (в процентном отношении) сведены в таблицу 2.

По процентному соотношению приёмников соответствующей категории можно сделать общий вывод о том, к какой категории относится весь рассматриваемый цех (участок) группы цехов турбинного завода.

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков группы цехов турбинного завода по категориям надёжности

Наименование цеха (участка) группы цехов турбинного завода	Категория надёжности потребителей цеха (участка)
Производственный цех	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.

Продолжение таблицы 2

Наименование цеха (участка) группы цехов турбинного завода	Категория надёжности потребителей цеха (участка)
Сборочный цех	70% – I кат.; 20% – II кат.; 10% – III кат.
Компрессорная (в том числе СТД 10 кВ)	10% – I кат.; 70% – II кат.; 20% – III кат.
Турбинный цех	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
Административно-складской комплекс	10% – II кат.; 90% – III кат.

Далее в работе необходимо охарактеризовать каждый цех (участок) группы цехов турбинного завода по производственной среде, исходя из технологии производства.

Характеристика производственной среды помещений цехов и участков проектируемого в работе группы цехов турбинного завода приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды помещений цехов и участков группы цехов турбинного завода

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка) группы цехов турбинного завода	Характеристика производственной среды цеха (участка) завода
1	Производственный цех	Пыльная, жаркая, сухая
2	Сборочный цех	Пыльная, жаркая, сухая
3	Компрессорная (в том числе СТД 10 кВ)	Жаркая, сухая
4	Турбинный цех	Пыльная, жаркая, сухая
5	Административно-складской комплекс	Нормальная

На основании приведённых данных по характеристике производственной среды цехов и участков проектируемой системы электроснабжения (далее – СЭС) группы цехов турбинного завода, можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха проектируемой СЭС группы цехов турбинного завода) относятся к объектам с повышенной степенью опасности, что

необходимо учесть при выборе марки кабелей и электрических аппаратов в работе далее.

На основании приведённых исходных данных, с учётом полученных результатов проведённого анализа, далее в работе непосредственно разрабатывается проект СЭС турбинного завода с выбором питающих и распределительных электрических сетей, а также с последовательным выбором и проверкой силовых трансформаторов на всех уровнях и этапах группы цехов турбинного завода.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, с детальным рассмотрением технологии и циклов производства на заводе, технических характеристик его составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта проектирования.

Детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде цеха и участки системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, в разделе обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта проектирования.

Поставленные задачи решаются в работе далее.

2 Разработка проекта системы электроснабжения группы цехов турбинного завода

2.1 Выбор схемы электроснабжения группы цехов турбинного завода

Выбор схемы электроснабжения группы цехов турбинного завода основывается на положениях и требованиях, приведённых в [10].

На первом этапе выбора необходимо определить номинальные классы напряжения, а также количество источников на питающей понизительной подстанции.

При этом, согласно требованиям [10], центральный распределительный пункт (далее – ЦРП) в качестве источника питания для электроснабжения группы цехов турбинного завода применять крайне не рекомендуется, потому что на заводе есть пять цехов (участков), относящихся к потребителям I категории, и, даже без учёта потребителей участков (цехов) II категории, можно сказать на предварительном этапе, что на заводе будет минимум десять отходящих линий, так как питание потребителей I категории должно осуществляться по двум линиям [10]. Следовательно, в этом случае на ЦРП будет также минимум десять присоединений, а нормы [10] рекомендуют применять ЦРП в случае, когда число присоединений не превышает восьми. По этой причине в качестве источника питания для системы электроснабжения группы цехов турбинного завода ЦРП не подходит.

Следовательно, для данной цели в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию (далее – ГПП).

Так было указано ранее, подавляющее большинство потребителей группы цехов турбинного завода относится к I и II категориям надёжности, следовательно, согласно нормам и требованиям [10], на ГПП завода необходимо предусмотреть два независимых источника питания. Поэтому на ГПП будут установлены два силовые трансформатора, а схему ГПП необходимо предусмотреть с резервированием питания [10].

На втором этапе выбирается высшее напряжение на ГПП группы цехов турбинного завода.

В работе принимается радиальная схема внешнего электроснабжения, так как на заводе преобладают потребители I и II категории надёжности, требующие двух независимых источников питания. По этой же причине принимается двухтрансформаторная ГПП.

На генплане предприятия указываем число и расположение цеховых ТП, а также источник электроэнергии – ГПП – вблизи ЦЭН. Трансформаторные подстанции цехов типа КТП располагаем около стен цеха или на осевой линии.

В работе принятие номинального напряжения проектируемой сети включает в себя расчётное значение напряжения, которое может быть рационально применено для каждого участка проектируемой сети, а также для всей сети в целом.

Как правило, для всей сети выбирается одно значение высшего и низшего напряжений, которые входят в шкалу номинальных значений [6].

При выполнении расчетов целесообразно к системе внешнего электроснабжения отнести трансформаторы, установленные на подстанции энергосистемы, а также питающие линии вместе с коммутационно-защитной аппаратурой, установленной в начале линии.

Так как на проектируемом турбинном заводе для группы производственных и вспомогательных цехов среди потребителей имеются потребители первой и второй категорий надёжности, то предусматривается сооружение двух питающих линий.

По условию электроснабжение завода осуществляется от районной ПС энергосистемы 110/35/6 кВ, расположенной в 35 км от завода с двумя трансформаторами по 40 МВ·А. При этом можно запитать завод как от напряжения 35 кВ, так и от напряжения 110 кВ указанной районной ПС.

Выбор напряжений для питающих линий от районной ПС до ГПП предприятия выполняем следующим образом.

Расчет выполняем по формуле Стилла, кВ [12]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 0,016P}, \quad (1)$$

где L – длина линии, км;

P – передаваемая мощность, кВт, принимается равной расчетной активной нагрузке проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, МВт.

По условию (1) для ГПП группы цехов турбинного завода

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{35 + 0,016 \cdot 16,36} = 25,77 \text{ кВ.}$$

По шкале стандартных номинальных напряжений, приведённой в [14], принимается ближайшее стандартное значение номинального напряжения, равное 35 кВ.

Следовательно, в работе принимается для питающей ГПП группы цехов турбинного завода высшее напряжение 35 кВ.

При выборе низшего напряжения на ГПП группы цехов турбинного завода, из стандартного номинального ряда напряжений, принимается напряжение 10 кВ, которое гораздо более эффективнее и экономически целесообразнее напряжения 6 кВ.

Также на напряжении 10 кВ в сеть возможно передать больше мощности, поэтому выбор данного класса напряжения на ГПП завода полностью целесообразен [14].

При разработке схем электрических соединений проектируемой ГПП 35/10 кВ для группы цехов турбинного завода, необходимо учесть количество присоединений (число линий) [7].

По предварительным данным, потребители ГПП 35/10 кВ группы цехов турбинного завода, включают в себя не менее десяти отходящих линий, питающихся на напряжении 10 кВ от шин главной понизительной подстанции.

С учётом этого, составляется уточнённая структурная схема понижающей подстанции ПС-35/10 кВ (рисунок 2).

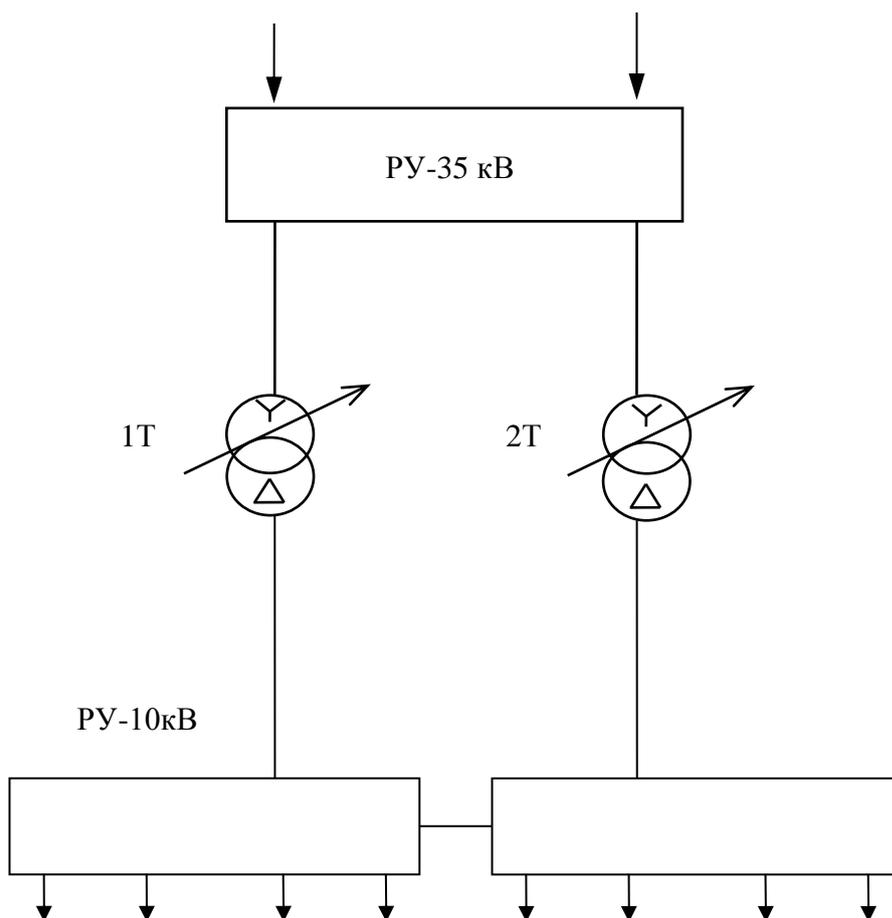


Рисунок 2 – Уточнённая структурная схема ГПП-35/10 кВ завода

Далее в работе, на основании рассмотренной уточнённой структурной схемы и исходных данных потребителей главной понижающей подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для группы цехов турбинного завода, проводится выбор и описание принципиальной схемы указанной подстанции с разработкой схем электрических соединений распределительных устройств напряжением 35 кВ и 10 кВ.

Так как большинство потребителей группы цехов турбинного завода относятся к I и II категориям надёжности, следовательно, они требуют двух независимых источников питания и соответствующего уровня резервирования [7,10].

Поэтому, в первую очередь, необходимо обеспечить в схеме данные условия.

Для ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для группы цехов турбинного завода применяется схема электрических соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [7] с установленными двумя разъединителями в ремонтной перемычке (в нормальном режиме работы отключены), а также с применением двух блоков «выключатель – разъединитель» на линиях (графический лист 2).

В схеме ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для группы цехов турбинного завода, рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы линий, рекомендованный [7].

В работе для ОРУ-35 кВ тупиковой ГПП 35/10 кВ, необходимо предусмотреть и выбрать коммутационные и защитные аппараты (применяются блоки «выключатель-разъединитель», а также «линия-разъединитель»), предусмотреть защиту от грозовых перенапряжений (ограничители перенапряжения), а также обеспечить бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока).

Схема электрических соединений ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной ПС-35/10 кВ для группы цехов турбинного завода представлена на графическом листе 2.

РУ-10 кВ рассматриваемой главной понизительной подстанции 35/10 кВ группы цехов турбинного завода выполнено с применением ячеек наружной установки двухстороннего обслуживания типа КРУН-К-59 (производитель – ЗАО «Завод высоковольтного оборудования» (ЗАО «ЗВО»)) с установленными

в них выключателями с использованием втычных контактов вместо разъединителей [18].

Исходя из рекомендаций [7,11], а также исходных данных к выполнению работы, при количестве отходящих линий $n=10$, которое имеется согласно исходных данных, для РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода применяется схема «Одна рабочая секционированная выключателем система сборных шин».

Принятая в работе схема электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода представлена на графическом листе 2.

В схеме РУ-10 кВ тупиковой подстанции ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода, рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы, рекомендованный [7].

Секционный выключатель 10 кВ в нормальном режиме работы отключён, включаясь под действием устройства автоматического включения резерва (АВР) при исчезновении напряжения по каким-то причинам на одной из секций сборных шин напряжением 10 кВ согласно положениям [10].

Для защиты и коммутации в РУ-10 кВ главной понизительной подстанции группы цехов турбинного завода применяются высоковольтные выключатели, по размещению в схеме выделяются вводные, секционный и линейные выключатели.

В виду того, что инновационные разработки оборудования КРУ(Н) предусматривают применение ячеек с наличием втычных контактов, следовательно, разъединители в ячейках КРУН-10 кВ ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода, не устанавливаются [7].

Поэтому в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода, рассматриваемой в работе, применяются блоки «линия-выключатель» (без разъединителей) на питающей и отходящих линиях, а также на секционирующем соединении.

Количество данных блоков в принципиальной схеме РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, рассматриваемой в работе, будет определено в работе далее при выборе количества цеховых трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ группы цехов турбинного завода [7].

Кроме того, в схеме должна быть предусмотрена защита от внутренних и внешних перенапряжений (ограничители перенапряжения), а также обеспечено бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока и напряжения).

Разработанная схема электрических соединений проектируемой понизительной ГПП-35/10 кВ для группы цехов турбинного завода соответствуют основным требованиям нормативных документов [1-10] и может применяться для питания потребителей I и II категорий надёжности.

В работе схема электрических соединений ГПП-35/10 кВ представлена на графическом листе 2, где показаны все основные конструктивные элементы объекта исследования.

Далее от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ получают питание понизительные цеховые подстанции напряжением 10/0,4 кВ, которые питают соответствующие потребители цехов и участков системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Следовательно, в виду рассмотрения укрупнённых показателей, можно сказать, что основными потребителями заводской главной понизительной подстанции 35/10 кВ (ГПП) являются трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, обеспечивающие питание конечных потребителей группы цехов турбинного завода на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

При этом согласно [10] в работе принято решение о проектировании всех цеховых ТП-10/0,4 кВ с использованием двух силовых трансформаторов с резервированием на шинах 0,38/0,22 кВ.

Питание всех цеховых ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ завода должно осуществляться по радиальной схеме (так как преобладают потребители I и II категорий надёжности).

Окончательное количество цеховых ТП-10/0,4 кВ принимается в работе далее на основе обоснования распределения потребителей системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Кроме того, в работе также предусматривается питание четырёх высоковольтных электродвигателей синхронного типа от шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП турбинного завода без использования понизительных цеховых ТП-10/0,4 кВ.

В результате проведённого в разделе описания объекта исследования и выбора схем электрических соединений ГПП-35/10 кВ можно сделать вывод, что заводская ГПП, которая выступает в роли источника питания, является современной и крайне необходимой для работы и снабжения электроэнергией системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

На основании приведённых технических данных источников питания, являющихся основой для рассматриваемой в работе системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, далее в работе проводится детальный выбор и проверка элементов системы электроснабжения объекта проектирования.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по проектированию схемы электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения завода, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников.

Кроме того, в связи с применением выбранной схемы электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, необходимо также учитывать условия резервирования на стороне 10 кВ,

которые осуществлены путём дополнительного подключения кабельных линий 10 кВ в схеме РУ-10 кВ ГПП.

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения группы цехов турбинного завода является проектная установленная номинальная нагрузка потребителей, которая принимается равной расчётной активной нагрузке.

В работе проводится расчёт нагрузок цехов и участков группы цехов турбинного завода, который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса.

Расчётная активная нагрузка силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков группы цехов турбинного завода, кВт:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (2)$$

где P_n – значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) группы цехов турбинного завода, кВт;
 K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха (участка) группы цехов турбинного завода.

Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ цехов и участков группы цехов турбинного завода, квар:

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

где $\operatorname{tg}\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.

Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, кВт:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (4)$$

где $K_{c.o}$ – коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) завода (справочные данные) [4];
 $P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) завода, кВт.

При этом значение последней составляющей рассчитывается таким образом:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где $P_{уд.o}$ – удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) группы цехов турбинного завода, кВт/м² (справочные данные) [4];
 F – площадь соответствующего цеха (участка) группы цехов завода по производству турбинных установок согласно генплану, м².

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) группы цехов турбинного завода

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.o})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) проектируемой СЭС рассматриваемой в данной работе группы цехов турбинного завода определяется по (1) и (2), а полная мощность определяется так:

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

Расчетная полная нагрузка группы цехов турбинного завода, определяется по суммарным расчетным нагрузкам, включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП.

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода на этапе проектирования можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{ТП} = 0,02S_{p,n}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТП} = 0,1S_{p,n}, \text{ квар}. \quad (9)$$

Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП системы электроснабжения группы цехов турбинного завода на этапе проектирования можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p,\Sigma}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p,\Sigma}, \text{ квар}. \quad (11)$$

По приведённым выше условиям (2) – (11) проводится расчёт нагрузок цехов и участков проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Также проводится предварительный расчёт потерь активной мощности в силовых трансформаторах на питающей ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, и суммарной нагрузки группы цехов турбинного завода в целом по предприятию.

Результаты расчёта осветительной электрической нагрузки цехов и участков проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода в работе сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетные электрические нагрузки освещения группы цехов турбинного завода

Наименование цеха (участка)	A, м	B, м	$F_{ц}$, м ²	$P_{уд.о.}$, Вт/м ²	$P_{ном.о.}$, кВт	тип лампы	$K_{пр.а}$	$tg\varphi_o$	$P_{р.о.}$, кВт	$Q_{р.о.}$, квар
Производственный	50	60	3000	15	45	LED	1,05	0,43	44,89	19,35
Сборочный	45	80	3600	15	54	LED	1,05	0,43	53,87	23,22
Компрессорная	30	50	1500	15	22,5	LED	1,05	0,43	22,44	9,675
Турбинный	40	40	1600	15	24	LED	1,05	0,43	23,94	10,32
Административно-складской комплекс	70	40	2800	12	33,6	LED	1,05	0,43	33,52	14,45
Наружное освещение территории завода	250	150	37500	4	150	LED	1,05	0,43	149,63	64,5
Всего по заводу	-	-	50000	-	329,1	-	-	-	328,28	141,51

Результаты расчёта силовой электрической нагрузки цехов и участков проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода в работе сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные силовые электрические нагрузки группы цехов турбинного завода

Наименование цеха (участка)	$\sum P_{уст.}$, кВт	$k_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	I_p , А
Производственный	5300	0,35	0,6	1,33	1855	2467,2	3086,8	169,7
Сборочный	3400	0,4	0,65	1,17	1360	1591,2	2093,2	115,1
Компрессорная	400	0,3	0,7	1,02	120	122,4	171,4	9,4
(в том числе СТД 10 кВ)	1260	0,7	0,9	0,48	882	423,36	978,3	53,8
Турбинный	5500	0,65	0,65	1,17	3575	4182,8	5502,4	302,5
Административно-складской комплекс	500	0,8	0,8	0,75	400	300	500	27,5
Всего по заводу	-	-	-	-	8192	9086,9	12234	672,6

Кроме того, в работе полученные результаты расчёта суммарной электрической нагрузки цехов и участков проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода в работе сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта суммарной электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения группы цехов турбинного завода

Наименование цеха (участка)	$P_{p.n.}$, кВт	$P_{p.o.}$, кВт	$Q_{p.n.}$, квар	$Q_{p.o.}$, квар	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВт·А	ΔP_t , кВт	ΔQ_t , квар
Производственный	1855	44,89	2467,2	19,35	1899,89	2486,6	3129,3	62,59	312,93
Сборочный	1360	53,87	1591,2	23,22	1413,87	1614,4	2146	42,92	214,6
Компрессорная	120	22,44	122,4	9,675	142,44	132,08	194,3	3,89	19,43
(в том числе СТД 10 кВ)	882	-	423,36	-	882	423,36	978,3	19,57	97,83
Турбинный	3575	23,94	4182,8	10,32	3598,94	4193,1	5525,8	110,52	552,58
Административно-складской комплекс	400	33,52	300	14,45	433,52	314,45	535,6	10,71	53,56
Наружное освещение территории завода	-	149,63	-	64,5	149,63	64,5	162,9	3,26	16,29
Итого на стороне 10 кВ, без учёта компенсации РМ	8192	328,29	9087	141,52	8520,29	9228,5	12672,2	253,44	1267,22
Потери в трансформаторах ГПП с учётом компенсации РМ	-	-	-	-	8520,29	6728,5	10856,7	217,13	1085,67
Итого на стороне ВН	-	-	-	-	8737,42	7814,1	11721,8	-	-

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения группы цехов турбинного завода используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов ГПП, цеховых ТП на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников спроектированной системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Данные задачи решаются в работе далее.

2.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

С учётом разработанной и обоснованной схемы электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, в

результате которой в схеме электрических соединений каждый кабель 10 кВ на ГПП питает свои трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ на напряжении 10 кВ, необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ завода на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

При выборе силового трансформатора для установки на ГПП-35/10 кВ завода должны выполняться условия выбора и проверки, с учётом того, что рекомендуемая загрузка трансформатора должна быть не более 70% в нормальном режиме работы

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (12)$$

где n – «количество трансформаторов» [11];

K_3 – «коэффициент загрузки трансформатора ГПП» [11].

По уравнению (12) для ГПП-35/10 кВ проводится выбор мощности силовых трансформаторов

$$S_{ном} \geq \frac{11721,8}{2 \cdot 0,7} = 8372,7 \text{ кВА.}$$

Выбирается для установки на ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода, два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый [14].

Поэтому в работе предварительно принимается для установки на ГПП группы цехов турбинного завода два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14]. Данный силовой трансформатор имеет две обмотки и выбран для умеренного климата.

Параметры выбранных трансформаторов для установки на ГПП завода приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры выбранных трансформаторов для установки на ГПП турбинного завода

Тип трансформатора	P_x , кВт	P_k , кВт	U_k ; %	$I_{x.x}$; %	$S_{ном}$, кВА	$K_{зг}$
ТМН-10000/35	3,85	33,5	7,5	0,3	4000	0,77

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в нормальном режиме» [11] группы цехов турбинного завода определяется таким образом:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (13)$$

Исходя из уравнения (13):

$$K_3 = \frac{11721,8}{2 \cdot 10000} = 0,59 \leq 0,7.$$

«Условия проверки по загрузке выбранного трансформатора в нормальном режиме выполняются» [11].

Осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ГПП по какой-либо причине вышел из строя и требуется

автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверяется выбранный трансформатор по перегрузочной способности при аварийном отключении второго трансформатора.

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в послеаварийном режиме» [11] группы цехов турбинного завода определяется таким образом (принимается максимальное значение коэффициента резервирования, равное 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на ГПП – новый):

$$1,4 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (14)$$

Исходя из уравнения (14):

$$1,4 \cdot 10000 = 14000 \text{ кВА} \geq 11721,8 \text{ кВА}.$$

Условие проверки силового трансформатора ГПП-35/10 кВ в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ, в работе выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35, питающие нагрузку первой и второй секций сборных шин напряжением 10 кВ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, удовлетворяет условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на ГПП-35/10 кВ проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

Ориентировочно выбор числа и мощности цеховых трансформаторов может производиться по удельной плотности нагрузки:

$$\sigma_{уд} = S_{см} / F_{ц}, \text{кВА} / \text{м}^2, \quad (15)$$

где $S_{см}$ – полная расчетная нагрузка (среднее значение) цеха, кВ·А;

$$S_{см} = K_{зс} S_p, \quad (16)$$

где $F_{ц}$ – площадь цеха по генплану, м².

Для производственного цеха группы цехов турбинного завода:

$$\sigma_{уд1} = 3129,3 / 3000 = 1,04 \text{ кВА} / \text{м}^2. \quad (17)$$

Для цехов с разными удельными плотностями нагрузки могут быть приняты разные номинальные мощности трансформаторов. Однако, число типоразмеров трансформаторов, применяемых на предприятии, следует ограничить до 1-2, так как большое их разнообразие создает неудобство в эксплуатации и дополнительные трудности в резервировании и взаимозаменяемости. Поэтому выделяются цехи с большой плотностью нагрузки и для них выбираем трансформаторы большей мощности, чем для остальной части завода.

В этом случае близкорасположенные цеха с нагрузкой меньшей величины 1000 кВ·А целесообразно подключать к общей ТП.

При выбранной единичной мощности цеховых трансформаторов число их в целом по предприятию зависит от степени компенсации реактивной мощности.

К сетям НН подключается большое число потребителей реактивной мощности (РМ). Источниками РМ в этих сетях являются синхронные двигатели и конденсаторные батареи, а недостающая часть покрывается перетоком РМ из сети ВН 10 кВ. Этот переток экономически целесообразно осуществлять только в пределах загрузки трансформаторов, не превышающего принятого в ГОСТе нормативного коэффициента загрузки $\beta_{норм.т}$, т.к. трансформаторы стоят дороже, чем конденсаторы.

В этом случае выбор числа цеховых трансформаторов напряжением 10 кВ и оптимальной мощности конденсаторных батарей напряжением ниже 1000 В, производится одновременно.

«Проводится выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ» [16] группы цехов турбинного завода с учётом выбранной схемы электрических соединений объекта проектирования.

Мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ определяется по следующему условию [12]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{\sum P_p}{N\beta_t}, \quad (18)$$

где $S_{ном.т.р}$ – «значение полной номинальной расчетной мощности силового трансформатора, кВА» [12];

$\sum P_p$ – «суммарное значение расчетной активной нагрузки цехов (участков), питающихся от данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, кВт» [12];

N – «количество силовых трансформаторов данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, шт.» [12];

β_m – «коэффициент загрузки силового трансформатора данной цеховой ТП-10/0,4 кВ» [4].

Согласно (18) для ТП-1, питающей производственный и сборочный цеха:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1899,89 + 1413,87}{2 \cdot 0,8} = 2071,1 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных расчётных значений, выбирается силовой трансформатор марки ТМ-2500/10. На цеховой ТП-1 устанавливаются два силовых трансформатора марки ТМ-2500/10 [12].

При окончательном выборе числа цеховых трансформаторов в целом по предприятию принимаются во внимание следующие требования [12]:

- необходимость обеспечения требований к надежности электроснабжения;
- длина КЛ напряжением ниже 1000 В не должна превышать 200 м;
- учет взаимного расположения трансформаторов и питающих линий напряжением 6 - 10 кВ на генплане завода.

Учитывая, что $N_{\text{онт}} > N_0$, фактический коэффициент загрузки трансформаторов β будет меньше нормативного, то есть появляется возможность загружать цеховые трансформаторы реактивной мощностью, передаваемой из сети напряжения 10 кВ.

Наибольшую РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть НН без превышения предусмотренного $\beta_{\text{норм.т}}$, определяется по формуле, квар:

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{\left(N_{\text{онт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_{\text{см}}^2} \quad (19)$$

Для ТП-1:

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{\left(2 \cdot 0,8 \cdot 2500\right)^2 - 3313,76^2} = 2240,3 \text{ квар.}$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей напряжением 0,4 кВ составит, квар:

$$Q_{НБК} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (20)$$

Если $Q_{НБК} < 0$, то установка КУ на данной подстанции не требуется.

Для ТП-1:

$$Q_{НБК} = 4101 - 2240,3 = 1860,7 \text{ квар.}$$

Выбирается для установки на цеховой ТП-1 2 КУ марки КРМ «ВЕР» 0,4-800, суммарная скомпенсированная РМ на ТП-1 составит $Q_{НБК.ст} = 2 \cdot 800 = 1600$ квар.

Эта мощность вычитается из суммарной реактивной нагрузки ТП

$$Q_{mn} = Q_p - Q_{НБК.ст} \quad (21)$$

Для ТП-1:

$$Q_{mn} = 4104 - 1600 = 2504 \text{ квар.}$$

После этого пересчитывается значение нагрузки ТП после компенсации РМ.

На других цеховых ТП группы цехов турбинного завода, полученных в результате проведения проектирования, выбор и проверка силовых трансформаторов аналогичен.

Полученные результаты, а также исходные данные для выбора, сведены в таблицу 8.

Кроме того, в таблице 8 проведено распределение цехов и участков системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

При этом отдельные двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ обязательно должны быть предусмотрены для питания потребителей I и II категорий надёжности.

Участки и цеха, которые питают потребители III категорий надёжности группы цехов турбинного завода, подключаются к шинам 0,4 кВ уже принятых цеховых ТП-10/0,4 кВ по возможности равномерно.

Как видно из таблицы 8, в работе предусмотрена установка трёх цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Таблица 8 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов системы электроснабжения группы цехов турбинного завода

№ ТП	Наименование цеха	F_u , м ²	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	$\sigma_{уд}$, кВ·А/м ²	$n \times S_{ном.т}$, кВ·А
ТП-1	Производственный	3000	1899,89	2486,6	3129,3	1,04	2x2500
	Сборочный	3600	1413,87	1614,4	2146	0,6	
ТП-2	Компрессорная	1500	142,44	132,08	194,3	0,78	2x1000
	(в том числе СТД 10 кВ)		882	423,36	978,3		
	Административное здание	2800	433,52	314,45	535,6	0,19	
ТП-3	Турбинный	1600	3598,94	4193,1	5525,8	3,45	2x2500

Выбор компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях системы электроснабжения группы цехов турбинного завода представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях системы электроснабжения группы цехов турбинного завода

№ ТП	Наименование цеха	$Q_{max.т}$, квар	$Q_{НБК}$, квар	$Q_{НБК.ст}$, квар	$P_{тн}$, кВт	$Q_{тн}$, квар	$S_{тн}$, кВ·А
ТП-1	Производственный	2240,3	1860,7	$2 \times 800 =$ $= 1600$	3313,76	2504	4153,4
	Сборочный						
ТП-2	Компрессорная	659,2	210,69	$2 \times 100 =$ $= 200$	1457,96	669,89	1604,5
	(в том числе СТД 10 кВ)						
	Административное здание						
ТП-3	Турбинный	1745,7	2447,4	$2 \times 1200 =$ $= 2400$	3598,94	1793,1	4020,9

Все выбранные трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности в работе показаны на графическом листе 2.

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ на заводе выполняются комплектными, что является современным технологическим решением и рекомендовано требованиями [1,10].

2.5 Построение картограммы электрических нагрузок

В работе для определения эффективного и рационального места установки ГПП-35/10 кВ группы цехов турбинного завода, необходимо провести расчёт и построить картограмму электрических нагрузок.

Известно, что картограмма электрических нагрузок в общем случае представляет собой размещенные на генплане окружности, площади которых в выбранном масштабе равны расчетным мощностям цехов, кВт:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m. \quad (22)$$

Из данного выражения определяется искомое значение радиуса окружности в принятом масштабе:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi m}}, \quad (23)$$

где « $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха, кВт» [15];

m – «масштаб мощности, принимается исходя из удобства

геометрического построения, принимается в работе $m = 1$ кВт/мм²»

[15].

Для каждого цеха проектируемой системы электроснабжения группы цехов турбинного завода определяется и наносится на генплан рассчитанная

окружность. При этом каждая такая окружность имеет заштрихованный сектор, соответствующий по площади осветительной нагрузке [15].

Угол заштрихованного сектора, соответствующего площади, равной расчётной мощности осветительной нагрузке рассчитывается так:

$$\varphi = 360 \frac{P_{p.o}}{P_p}. \quad (24)$$

Результаты расчета оформляются в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Построение картограммы цехов и участков группы цехов завода

Наименование цеха (участка)	$P_{p.o}$, кВт	P_p , кВт	X , м	Y , м	$P_p \cdot X$, кВт·м	$P_p \cdot Y$, кВт·м	R , м	φ , °
Производственный	44,89	1899,89	50	100	94994,5	189989,0	24,60	8,51
Сборочный	53,87	1413,87	40	30	56554,8	42416,1	21,22	13,72
Компрессорная (включая СТД 10 кВ)	22,44	1024,44	150	120	153666,0	122932,8	18,06	7,89
Турбинный	23,94	3598,94	220	100	791766,8	359894,0	33,85	2,39
Административное здание	33,52	433,52	140	50	60692,8	21676,0	11,75	27,84
Итого	178,66	8370,66	-	-	1157674,9	736907,9	-	-

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) для установки в них ГПП системы электроснабжения группы цехов турбинного завода:

$$X_0 = \frac{\sum P_{p,i} X_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (25)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{p,i} Y_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (26)$$

где X_i, Y_i – координаты центров нагрузок отдельных цехов, м.

$$X_0 = \frac{1157674,9}{8370,66} = 138,3 \text{ м.}$$

$$Y_0 = \frac{736907,9}{8370,66} = 88 \text{ м.}$$

Картограмма нагрузок приведена на графическом листе 1 работы.

Также на данном графическом листе отмечен ЦЭН с координатами (138,3; 88) м.

Примерно в районе ЦЭН (идеально – точно в ЦЭН, если позволяют условия) должна быть размещена главная понизительная подстанция (ГПП) завода, которая выбирается и проектируется в работе далее.

ГПП не должна загромождать проходов и проездов, поэтому она смещается немного выше от ЦЭН по оси Y в сторону западного крыла цеха №3 по плану (компрессорная).

2.6 Выбор сечения проводников

Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Выбору подлежат следующие проводники напряжением 35 кВ и 10 кВ согласно разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода:

- питающая сеть 35 кВ – воздушная линия от энергосистемы до ОРУ-35 кВ ГПП завода напряжением 35 кВ;

- распределительная сеть 10 кВ – от секций сборных шин напряжением 10 кВ ГПП до потребительских цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Известно, что выбор сечений кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по выражению:

$$F_9 = \frac{I_n}{j_9}, \quad (27)$$

где I_{max} – «рабочий ток нормального режима кабельной линии электропередачи, А» [11];

j_9 – «экономически выгодная плотность тока, А/мм²» [11].

Рабочий ток нормального режима кабельной линии определяется, исходя из рассчитанной ранее в работе нагрузки

$$I_n = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (28)$$

где S_p – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима для линии с учётом резервирования

$$I_a = 1,4 \cdot I_n. \quad (29)$$

Выбранное сечение кабельной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы [1]

$$I_{дон} \geq I_n, \quad (30)$$

где $I_{дон}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [4].

«Также выбранное сечение кабельной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [4]

$$I_{дон} \geq I_a. \quad (31)$$

«Далее выбранное сечение кабельной линии необходимо дополнительно проверить по условию допустимой потери напряжения» [4].

«Известно, что потери напряжения в линиях питающей сети определяется так» [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \% \quad (32)$$

По допустимой потере напряжения воздушная линия 35 кВ не проверяется, что обусловлено экономическими критериями [11].

Поэтому в работе по данному критерию проверке подлежат только кабельные линии 10 кВ.

«Проводятся расчёты и выбор сечения провода питающей ВЛ-35 кВ» [4]:

$$I_p = \frac{11721,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 96,7 \text{ А.}$$
$$I_{p.\max} = \frac{11721,8}{\sqrt{3} \cdot 35} = 193,4 \text{ А.}$$

«Сечение провода питающей ВЛ-35 кВ, выбранное по условию экономической плотности тока» [1]

$$F_s = \frac{96,7}{1,1} = 87,9 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается ближайшее стандартное сечение провода $F_{cm} = 95 \text{ мм}^2$ марки АС-95/16 с допустимым током $I_{дон} = 330 \text{ А}$ » [4].

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [4]

$$330 \text{ A} \geq 96,7 \text{ A.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]

$$330 \text{ A} \geq 193,4 \text{ A.}$$

«Исходя из результатов проверок, в работе окончательно принимается провод на питающей ВЛ-35 кВ марки АС-95/16 с $I_{don} = 330 \text{ A}$ » [4].

По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ (выбираются только по допустимому нагреву), питающих двухтрансформаторные цеховые ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода с приведением результатов выбора в форме таблицы 11.

Таблица 11 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода

Линия	Кол-во	S_p , кВА	$I_{p.n.}$, А	$I_{p.av.}$, А	Площадь сечения, мм ²			Марка	L, м	R, Ом/ км	X, Ом/ км	$\Delta U\%$
					по $J_{эк}$	по наг- реву	принято					
U _{ном} = 10 кВ												
ГПП- ТП1	2	4153,4	114,2	228,4	81,6	95	3x95	АСБ	40	0,31	0,083	0,21
ГПП- ТП2	2	1604,5	44,1	88,2	31,5	35	3x35	АСБ	20	0,84	0,095	1,12
ГПП- ТП3	2	4020,9	110,5	221	78,9	95	3x95	АСБ	80	0,31	0,083	0,68
ГПП- СТД	2	978,3	26,9	53,8	19,2	25	3x25	АСБ	90	1,17	0,099	1,52

Продолжение таблицы 11

Линия	Кол-во	S_p , кВА	$I_{p.n.}$, А	$I_{p.ав.}$, А	Площадь сечения, мм ²			Марка	L, м	R, Ом/ км	X, Ом/ км	$\Delta U\%$
					по $J_{эк}$	по наг- реву	принято					
$U_{ном} = 0,38/0,22$ кВ												
ТП1- РП1	2	3129,3	2258,4	3161,8	-	7x185	7 шт. 3x185+1x95	АВВГ	10	0,16	0,059	1,17
ТП1- РП2	2	2146	1548,7	2168,2	-	5x185	5 шт. 3x185+1x95	АВВГ	30	0,16	0,059	1,47
ТП2- РП3	2	194,3	140,2	196,3	-	70	3x70+1x35	АВВГ	10	0,42	0,061	2,37
ТП2- РП5	1	535,6	386,5	541,1	-	2x95	2 шт. 3x95+1x50	АВВГ	20	0,31	0,06	2,18
ТП3- РП4	2	5525,8	3987,9	5583,1	-	12x185	12 шт. 3x185+1x95	АВВГ	10	0,16	0,059	0,24

Все выбранные в работе силовые кабели напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ распределительной сети системы электроснабжения группы цехов турбинного завода удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы, а также по допустимой потере напряжения в выбранной кабельной линии.

Все выбранные кабельные линии в работе показаны на предложенной разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, полученной путём внедрения основных мероприятий по проектированию схемы электрических соединений (графический лист 2).

2.7 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в рассматриваемой системе электроснабжения группы цехов турбинного завода, по принятой в работе схеме электроснабжения (графический лист 2) составляется схема замещения для данного участка сети, а также для всей схемы в целом по методике [12].

Так как в предложенной в работе схеме электрических соединений каждый трансформатор работает на свою секцию шин 10 кВ отдельно (применяется раздельный режим работы), с целью упрощения, для расчёта токов КЗ рассматривается один из участков «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», по которой составляется схема замещения (рисунок 4).

Для остальных участков схемы типичных участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», результаты полученных токов КЗ будут отличаться незначительно, находясь в допустимых пределах принятых погрешностей [12].

На другой ветви в общей схеме замещения сети системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, рассматриваемого в работе, показывается и учитывается подпитка от высоковольтных синхронных двигателей 10 кВ [12].

Расчет КЗ производится с выключенным АВР и двумя СД, запитанными от одного кабеля (рисунок 3).

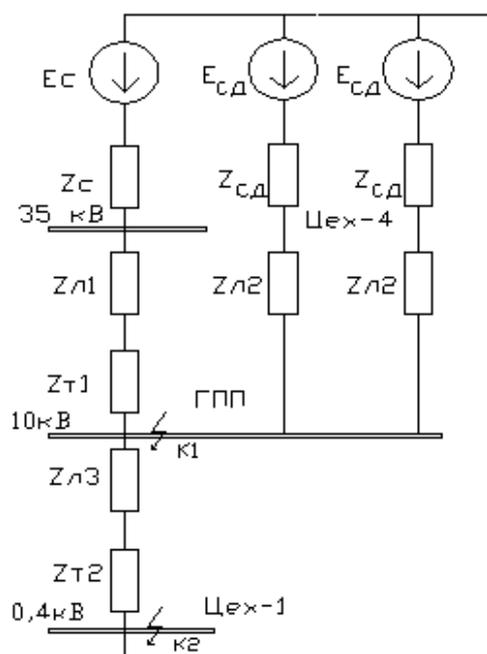


Рисунок 3 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения группы цехов турбинного завода, составленная по принятой схеме электроснабжения

Выбираются базисные условия:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА.}$$

$$U_{\sigma.BH} = 1,05 \cdot U_{ном} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ.}$$

$$U_{\sigma.HH} = 1,05 \cdot U_{ном} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

Сопротивление системы, приведенное к 10 кВ, Ом:

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_c^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2, \quad (33)$$

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

$S_c = 100$ МВт – мощность энергосистемы.

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

Сопротивление силовых трансформаторов, приведенное к 10 кВ, Ом:

$$X_m = \kappa^2 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{н.тр}}, \quad (34)$$

$$R_m = \kappa^2 \cdot P_{\kappa} \cdot \frac{U_{ном}}{S_{н.тр}}, \quad (35)$$

где u_k – напряжение КЗ трансформатора, %.

Для трансформатора ГПП (ТМН – 10000/35):

$$X_{T1} = 0,31^2 \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{35^2}{10} = 2,21 \text{ Ом;}$$

$$R_{T1} = 0,31^2 \cdot 0,0335 \cdot \frac{35}{10} = 0,25 \text{ Ом.}$$

Для цехового трансформатора ТП-1 (ТМ-2500/10):

$$X_{T2} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{10,5^2}{2,5} = 3,79 \text{ Ом;}$$

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

Сопротивление СД, Ом:

$$x_{CD} = x'' \cdot \frac{U_n^2 \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{P_n}; \quad (36)$$

$$E_{CD} = \sqrt{(U_n \cdot \cos \varphi)^2 + (U_n \cdot \sin \varphi - I_n \cdot x'')^2}, \quad (37)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя;

η – КПД;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

I_n – номинальный ток, А;

x'' – сверхпереходное сопротивление, Ом.

$$x_{CD} = 0,24 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,92}{0,63} = 17,66 \text{ Ом.}$$

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

Сопротивление линий:

$$Z_l = (x + jr) \cdot L, \quad (38)$$

где L – длина линии, км.

Для Л1: ВЛ-35 кВ – $r_{уд} = 0,625$ ом/км, $x_{уд} = 0,4$ Ом/км.

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

Для Л3: КЛ-10 кВ – $r_{уд} = 0,84$ ом/км, $x_{уд} = 0,095$ Ом/км.

Сопротивление Л1, приведенное к 10 кВ:

$$Z_{л1} = (0,625 + j \cdot 0,4) \cdot 4 \cdot 0,31^2 = 0,24 + j \cdot 0,15 \text{ Ом.}$$

Сопротивление Л2:

$$Z_{л2} = (1,24 + j \cdot 0,08) \cdot 0,1 = 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом.}$$

Сопротивление Л3:

$$Z_{л3} = (0,84 + j \cdot 0,095) \cdot 0,1 = 0,084 + j \cdot 0,01 \text{ Ом.}$$

Проводится расчет токов КЗ в сети 10 кВ.

Расчет токов КЗ выполняется в именованных единицах, А:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, \quad (39)$$

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

E_C – напряжение системы, кВ.

Суммарное эквивалентное сопротивление параллельных ветвей системы и STD, Ом:

$$Z_1 = \left(\frac{1}{Z_C + Z_{л1} + Z_{Т1}} + \frac{2}{Z_{CD} + Z_{л2}} \right)^{-1}. \quad (40)$$

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

$$E_C = \left(\frac{E_C}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2E_{CD}}{Z_{CD} + Z_{Л2}} \right) \cdot Z_1. \quad (41)$$

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

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10,82}{\sqrt{3} \cdot |0,272 + j \cdot 2,134|} = 2,9 \text{ кА.}$$

Постоянная времени для расчётной точки К1, с:

$$T_{A1} = \frac{x_{\sum R=0}}{\omega \cdot r_{\sum X=0}} = \frac{\left(\frac{1}{X_C + X_{Л1} + X_{Т1}} + \frac{2}{X_{CD} + X_{Л2}} \right)^{-1}}{\omega \cdot \left(\frac{1}{R_{Л1} + R_{Т1}} + \frac{2}{R_{Л2}} \right)^{-1}}. \quad (42)$$

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

Ударный коэффициент:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/T_A}. \quad (43)$$

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

Ударный ток в точке К1, кА:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}. \quad (44)$$

$$i_{y\partial 1} = 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,9 = 10,25 \text{ кА.}$$

Проводится расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ (за силовым трансформатором цеховой ТП-1).

Расчет токов КЗ производится в именованных единицах. При этом параметры схемы замещения приводятся к ступени напряжения сети, на которой находится расчетная точка КЗ.

Результирующие активное и индуктивное сопротивления короткозамкнутой цепи до точки К2:

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (Z_1 + Z_{T2} + Z_{Л3}) \cdot (K_T)^2 + R_{доб} \right|, \quad (45)$$

где $R_{доб}$ – добавочное сопротивление контактов, принимается в работе

$$R_{доб} = 15 \text{ мОм для РУ-0,4 кВ ТП.}$$

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

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (0,02 + j0,019)} = 11,56 - j12,17 = 16,8 \text{ кА.}$$

Постоянная времени для расчётной точки К2:

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

Ударный коэффициент в расчётной точке К2:

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

Ударный ток КЗ в точке К2:

$$i_{y\partial 2} = 16,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,4 = 33,3 \text{ кА.}$$

Полученные в работе результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения группы цехов турбинного завода приведены в работе в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения группы цехов турбинного завода

Точка КЗ	$I_{k3}^{(3)}, \text{кА.}$	$T_A, \text{с.}$	$k_{y\partial}, \text{кА.}$	$i_{y\partial}, \text{кА.}$
К1	2,9	0,025	2,5	10,25
К2	16,8	0,03	1,4	33,3

На основе полученных результатов расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ на ГПП объекта проектирования.

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе выбору и проверке подлежат электрические аппараты напряжением 35 кВ и 10 кВ, установленные в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

В работе ОРУ-35 кВ ГПП завода выполнено открытым, поэтому выбор электрических аппаратов для установки в ОРУ-35 кВ будет проводиться только для аппаратов наружной установки.

Распределительный пункт 10 кВ РУ-10 кВ ГПП, от которого получают питание потребительские ТП-10/0,4 кВ на напряжении 10 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки. Конструктивно он выполнен с использованием ячеек КРУН, в которых

непосредственно используется выкатной элемент в сборе с выключателями высокого напряжения и трансформаторами тока. Ремонтное положение выкатного элемента обеспечивает видимый разрыв, поэтому в них не устанавливаются разъединители. Ячейки поставляются с предприятия – изготовителя полностью собранными и укомплектованными, при монтаже необходимо их установить согласно проекту, сфазировать и подключить в работу [12].

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по и формулам» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (46)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (47)$$

«Кроме того, выбранные аппараты высокого напряжения подлежит следующим проверкам по условиям отключения токов КЗ и ударных токов, а также на термическую и динамическую стойкость по условиям», приведённым ниже [12]. Для «отключающих аппаратов проводится проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (48)$$

«В данном случае учитывается симметричный (трёхфазный) ток КЗ» [12]. «Для отключающих аппаратов в данной работе должна быть проведена проверка на отключение аperiodической составляющей тока КЗ» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (49)$$

где $\beta_{ном}$ – «номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [12];

$i_{а.ном}$ – «номинальное допускаемое значение аperiodической

составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость» [12]:

- «по условию номинального тока отключения» [12]

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (50)$$

- «по величине ударного тока» [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (51)$$

где $i_{дин.}$ – «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата».

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (52)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости по каталогу» [12];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости, с» [12].

По приведённым условиям выбора и проверки электрических аппаратов, проводится их выбор с приведением результатов в форме таблиц.

В работе детально рассматривается выбор вводного высоковольтного выключателя на ОРУ-35 кВ для защиты и коммутации высоковольтной линии напряжением 35 кВ, питающей силовой трансформатор ГПП-35/10 кВ.

Таких линий в работе две (по числу трансформаторов ГПП с учётом принятого раздельного режима). Максимальный рабочий ток питающей линии 35 кВ с учётом подключения дополнительной нагрузки соседней линии в ПАВ-режиме работы:

$$I_{\max} = \frac{11725,9}{\sqrt{3} \cdot 35} = 193,4 \text{ А.}$$

По значению максимального рабочего тока линии, а также учитывая номинальный класс напряжения, в работе предварительно выбирается вакуумный выключатель наружной установки типа ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока.

Производится основная проверка выбранного выключателя 35 кВ:

$$I_t^2 t = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} > 2,9^2 \cdot (5,2 + 0,023) = 97,49 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

$$\sqrt{2} \cdot 2,9 + 10,25 = 15 \text{ кА}^2 \text{ с} > \sqrt{2} \cdot 10,3 \left(1 + e^{\frac{-(0,05+0,1)}{0,007}}\right) = 14,8 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Условия выбора и проверки выполняются. Выбор высоковольтных выключателей для установки их в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ выполняется аналогично и результаты выбора представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Выбор высоковольтных выключателей 10 кВ

Место установки	Марка	Условие	Расчёт	Каталог
ТП-1	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 228,4 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \text{ с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$
ТП-2	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 88,2 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \text{ с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$
ТП-3	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 221 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \text{ с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 13

Место установки	Марка	Условие	Расчёт	Каталог
СТД	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 53,8 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$
Вводной выключатель	ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48	$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 676,9 \text{ А}$	$I_H = 1000 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$
Секционный выключатель	ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48	$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 676,9 \text{ А}$	$I_H = 1000 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Результаты выбора разъединителей напряжением 35 кВ сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты выбора разъединителей 35 кВ

Разъединитель марки РЛНД3-2-35/600		
Условие выбора	Данные расчёта	Данные каталога
$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_H = 35 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 193,4 \text{ А}$	$I_H = 600 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 10,25 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 20 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 97,49 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2\text{с}$

Результаты выбора и проверки трансформатора тока 10 кВ на вводе в РУ-10 кВ приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Марка ТТ	Условия	Данные расчёта	Данные каталога
ТПК-10	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 676,9 \text{ А}$	$I_n = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{дин} = 45,7 \text{ кА}$
	$B_k \leq I_m^2 \cdot K_m$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 \cdot K_m = 972 \text{ кА}^2\text{с}$

Остальные трансформаторы тока на отходящих линиях 10 кВ выбираются аналогично.

На стороне 35 кВ выбирать трансформаторы тока не требуется, так как они встроены в выключатели.

На стороне 10 кВ выбирается трансформатор напряжения типа НТМИ-10-66УЗ с номинальной вторичной нагрузкой 200 ВА при классе точности 0,5.

Все выбранные аппараты показаны в графической части работы (листы 2 и 3).

Все они в полной мере удовлетворяют условиям выбора и проверок в системе электроснабжения.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела, исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, в работе обоснованы и внедрены следующие практические мероприятия по проектированию системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

- проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-35/10 кВ (ТМН-10000/35) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (ТМ различного типоминала) на

потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

– осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10, а также провод питающей воздушной линии напряжением 35 кВ марки АС-95/16;

– выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки их в соответствующих РУ на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования.

Выбор всего оборудования для проектирования системы электроснабжения группы цехов турбинного завода в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания.

3 Техника безопасности и охрана труда

3.1 Организация охраны труда на предприятии

Ответственность за обеспечение охраны труда, согласно действующему законодательству, лежит на директоре предприятия [7]. Он, принимая на работу персонал, берёт на себя ответственность за жизнь и здоровье работника.

Также на предприятии для безопасного проведения работ назначаются ответственные соблюдение норм охраны труда, которых назначает своим приказом руководитель предприятия.

Выполнение основных целей по охране труда на предприятии имеет замкнутый цикл (рисунок 4).

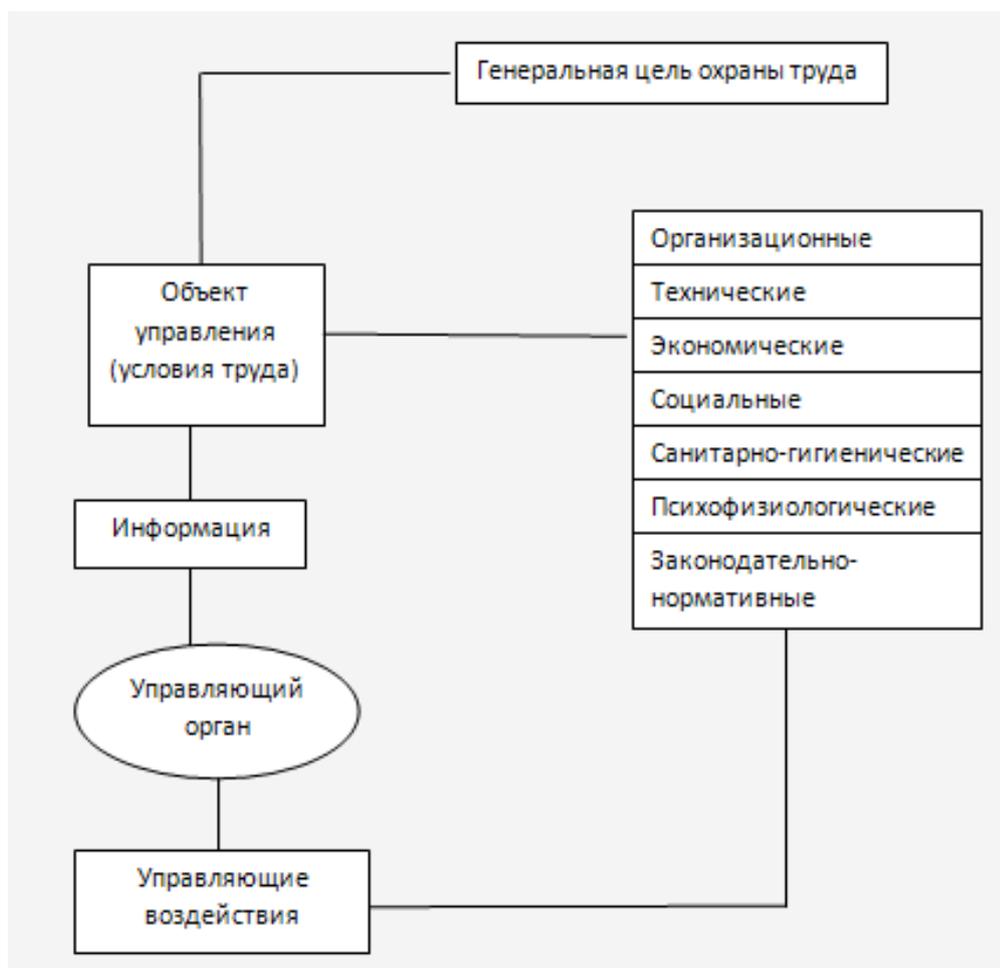


Рисунок 4 – Выполнение основных целей по охране труда на предприятии

Непосредственную ответственность за соблюдение охраны труда в подразделениях несут и руководители этих подразделений: начальники служб, смен, участков, мастера и прочие ответственные работники, которые назначаются приказами по предприятию.

Кроме того, на предприятии есть служба по охране труда, работниками которых проводится разъяснительная и предупредительная работа среди рабочего персонала предприятия: разработка документации, проведения инструктажей, а также дней охраны труда и соответствующих мероприятий по охране труда в зависимости от направлений (электробезопасность, пожарная безопасность и так далее).

Для всех работников, согласно действующего законодательства [7], установлены минимально допустимые квалификационные группы [7].

Например, такие работники должны иметь группы, не ниже следующих с постоянной и периодической проверкой знаний по электробезопасности [7]:

- водители автомобилей, машин, механизмов, трактористы - I группу;
- стропальщики, сторожа, уборщицы помещений - I группу;
- медицинский персонал - I группу;
- работники, работающие на компьютерах - I группу. При наличии блоков автономного питания, принтеров и т.п., рекомендовано - II группу;
- операторы технологических процессов на электроприводе - II;
- электросварщики и токари - II;
- машинисты грузоподъемных машин - II группу;
- работники, допущенные к управлению машинами и оборудованием с электроприводом - не ниже II группы.

В базу знаний этих работников входит владение элементарными электротехническими знаниями электроустановок, на которых они работают, при четком представлении об опасности электрического тока и приближении к токоведущим частям [7].

Лицам, ответственным за безопасную организацию работ, следует, в первую очередь, решить такие вопросы:

- разработать и утвердить инструкции по эксплуатации оборудования;
- организовать контроль за учетом и выдачей документации в установленные сроки;
- установить и оформить личные карты учета выдачи документации работникам по установленной форме;
- периодическое опробование, обновление и проверка пригодности должностных инструкций и нормативных положений на предприятии;
- выдавать приказы работодателя об утверждении должностных инструкций и нормативных положений на предприятии;
- завести и поддерживать в надлежащем виде журналы по охране труда (пронумерованные, прошнурованные и скрепленные печатью);
- обеспечение со стороны работодателя надлежащего ухода по всем вопросам охраны труда.

3.2 Анализ видов и причин опасностей

На предприятии существуют опасности для работающего персонала, связанные с риском для здоровья и жизни людей.

По этой причине следует провести их краткий анализ.

В силу различных обстоятельств и производственных факторов, существуют следующие виды опасностей:

- производственные опасности, которые заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности. Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода;
- опасность поражения электрическим током – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических

мероприятий, позволяющих обезопасить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в электроустановках;

– пожарная опасность – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий по недопущению возгорания материалов, зданий и сооружений;

– экологическая опасность – состоит в недопущении или устранении вредного и опасного воздействия на окружающую среду.

Анализ воздействия объекта на окружающую среду заключается в проявлении следующих факторов:

– возможность утечки масла в грунт из силовых трансформаторов подстанции;

– возможное попадание на объект животных и их поражение электрическим током и дугой;

– загрязнение грунта отходами тяжёлых металлов при технологическом процессе на объекте;

– загрязнение воздуха выбросами производственной деятельности объекта;

– утечка в грунт септиков и стоков в результате непроизводственной деятельности на объекте.

Аварийные ситуации на объекте могут возникнуть в таких случаях:

– повреждение изоляции оборудования и сетей;

– несрабатывание либо позднее срабатывание устройств релейной защиты;

– грубое нарушение установленных правил и норм технологического процесса;

– неправильные оперативные переключения в цепях электроустановок и сетей объекта;

– ввод в эксплуатацию просроченного и непроверенного оборудования и сетей;

- использование технологического оборудования и сетей не по назначению;
- нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности на объекте;
- прочие производственные и непроизводственные факторы.

Все виды производственных и непроизводственных опасностей учтены в работе далее при разработке мероприятий по их устранению либо предупреждению.

3.3 Мероприятия по охране труда и технике безопасности

Мероприятия по всем видам производственных и непроизводственных опасностей, перечисленных выше, имеют цель не допустить появления этих опасностей, а в случае их возникновения – быстро ликвидировать их очаг (очаги).

На рисунке 5 представлена классификация мероприятий по охране труда на предприятии в классическом виде.

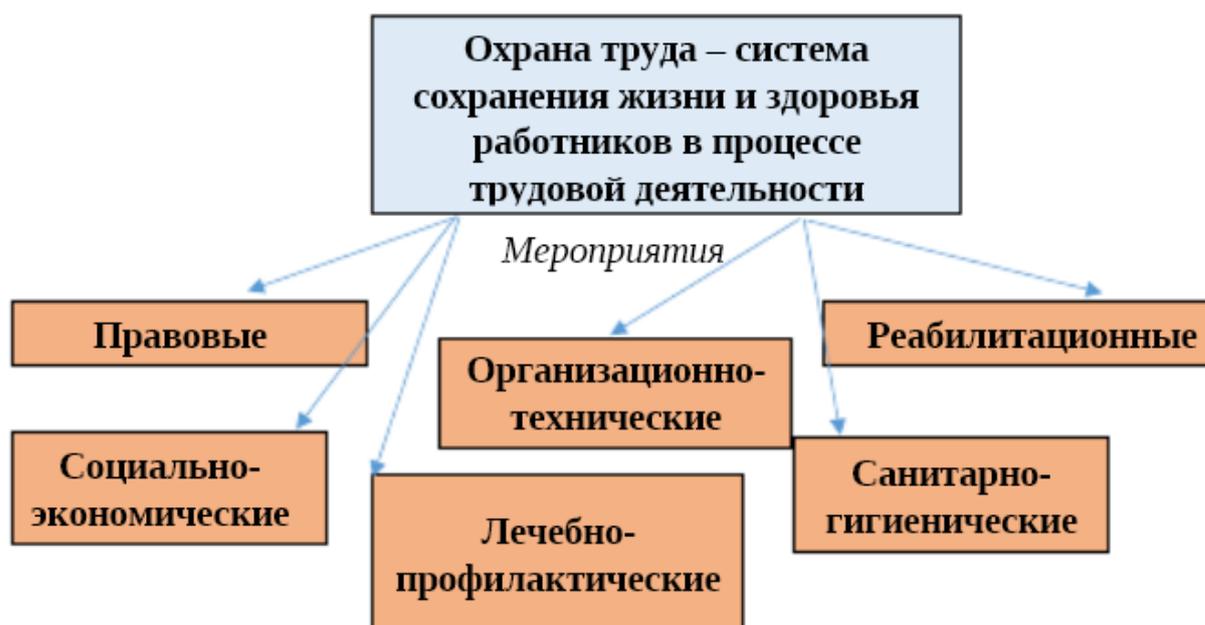


Рисунок 5 – Классификация мероприятий по охране труда на предприятии в классическом виде

Далее в работе рассматриваются все основные составляющие мероприятий по охране труда на предприятии.

Особое место занимают инструктажи по технике безопасности и охране труда. В зависимости от назначения и инструктируемых работников, они могут быть следующих видов: первичные инструктажи, инструктажи на рабочем месте, повторные инструктажи.

Из числа первичных инструктажей выделяется вводный инструктаж, который имеет целью осветить общий принцип и порядок работы на предприятии.

Любой инструктаж должен быть доведён под подпись того, кому он предназначен.

Также должна стоять подпись ответственного лица, проводившего данный инструктаж.

Без проведения всех необходимых инструктажей и отсутствия соответствующих подписей в установленных журналах, инструктируемое лицо к работам не допускается [16].

Производственные опасности заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности.

Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода.

Для каждого предприятия в зависимости от специфики и характера работы производственные опасности имеют различный характер.

На объекте исследования производственные опасности заключаются в получении травм различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, ремонту и обслуживанию оборудования, получение ожогов частей тела и слизистых оболочек, падение с высоты при выполнении работ, травмы, обусловленные попаданием частей тела под различные трущиеся и вращающиеся поверхности и т.п.

Профилактическими мероприятиями при производственных видах опасностей являются их недопущение применением организационных и технических мероприятий.

К таким мероприятиям относятся проведение инструктажей, ограждение рабочих и опасных мест, контроль выполнения работы несколькими членами бригады и т.п.

Следующий вид опасности – это опасность поражения электрическим током.

Для объекта исследования в работе в виду его специфики он представляется наиболее важным и вероятным, поэтому данному виду опасности следует уделить особое внимание.

Профилактические мероприятия по недопущению и предупреждению поражения электрическим током заключаются в проведении разъяснительной работы среди персонала, установки защитных средств, изоляции опасных участков электрической сети.

Также к профилактическим мероприятиям относятся установка световой и звуковой сигнализации, а также релейной защиты и автоматики на объектах энергетики.

Организационные мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются в организации выполнения работ строго по инструкции и нормам охраны труда, назначение ответственных лиц для контроля выполнения работ и норм безопасности, выдачу нарядов и распоряжений для выполнения работ, допуск персонала к работе, организацию работ на рабочем месте, премирование исполнительных работников и наказание злостных нарушителей.

Технические мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются во внедрении технических мер при строгом соблюдении всех нормативов.

К таким мероприятиям относятся, например, установка запрещающих, предписывающих и информационных плакатов на месте работы, ограждение

рабочего места, проведение оперативных переключений, заземление оборудования и так далее.

Особое внимание следует уделить средствам защиты от поражения электрическим током при работе в электроустановках.

К таким средствам относятся перчатки, диэлектрические коврики и подставки, инструменты, защитные маски и очки. Все они должны быть проверены непосредственно перед началом работ. Кроме того, срок их эксплуатации должен быть в норме.

Просроченный рабочий и защитный инструмент ни в коем случае использовать нельзя, так как это является прямой угрозой жизни и здоровью людей.

Кроме того, для уменьшения поражения электрическим током людей, в электроустановках необходимо заземлять и занулять (только в сетях до 1 кВ) оборудование.

Применение переносных заземляющих устройств для безопасного проведения работ целесообразно только после проведения оперативных переключений коммутационных аппаратов и проверки отсутствия напряжения на шинах электроустановок.

Далее следует привести краткий алгоритм порядка выполнения работ в электроустановках при неукоснительном соблюдении мероприятий по охране труда.

Перед началом любых работ в электроустановках персонал обязан пройти инструктаж на рабочем месте, в котором указываются как его обязанности, так и обязанности других членов бригады, а также характер и расположение опасностей.

Далее старший (руководитель работ) даёт команду на подготовку рабочего места.

Рабочее место подготавливают, как правило, опытные работники с соответствующими группами по электробезопасности (в электроустановках

до 1 кВ – не ниже третьей, а в электроустановках выше 1 кВ – не ниже четвертой группы).

После этого проводятся оперативные переключения и отключения, которые согласовываются с диспетчером сетей. Затем указателями напряжения соответствующих классов проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях оборудования, где будут проводиться работы.

После этого накладывается переносное заземление на токоведущие части либо включаются заземляющие ножи оборудования (если таковые предусмотрены конструкцией).

Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности. Основные типы плакатов по технике безопасности, применяемые при работах в электроустановках, показаны на рисунке 6.

Только после всех перечисленных мероприятий бригада может приступить к выполнению работ.

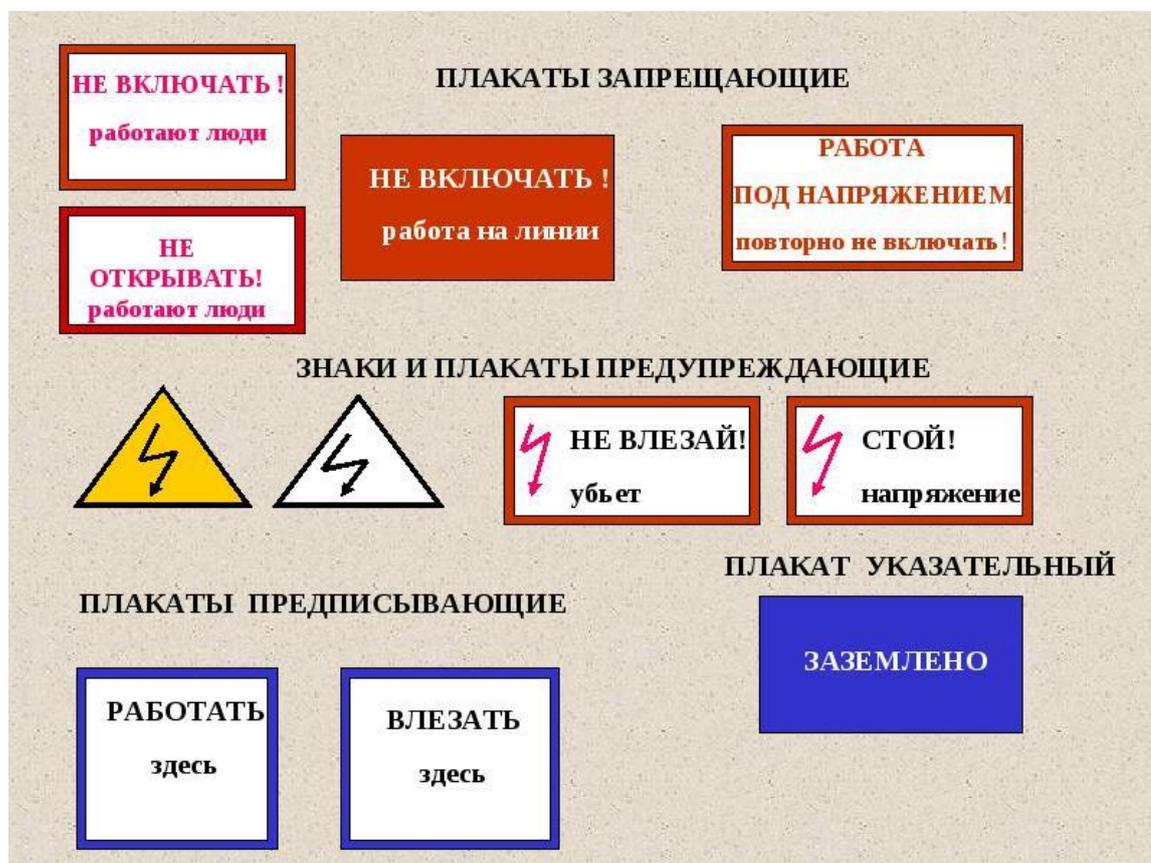


Рисунок 6 – Основные типы плакатов по технике безопасности, применяемые при работах в электроустановках

В процессе выполнения работ при необходимости можно организовать перерыв, для чего бригада полностью выводится с места работ, а двери электроустановок закрываются на ключ.

Допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;
- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);
- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;
- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и неплановых), так и во время проверок.

Как показывают статистические исследования [19], также для обеспечения пожарной безопасности очень важное значение играет поддержание территории объекта в чистоте. Для этого необходимо скашивать сухую траву, утилизировать ветошь, поддерживать чистоту на объекте.

Указанные мероприятия позволят не допустить самовозгорание на объекте в сухую жаркую погоду, а также не допустить распространение пожара на объекте и быстро его локализовать.

При выполнении работ на ГПП системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, необходимо строго соблюдать мероприятия по

нормам экологической безопасности. Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой. На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы:

- утечка масла в грунт из маслonaполненного оборудования;
- загрязнение септиками и химикатами окружающей среды;
- загрязнение и запылённость воздуха;
- опасность для флоры и фауны;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то:

- проведения организационных мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- техническое обеспечение экологической безопасности;
- профилактические меры по обеспечению экологической безопасности;
- законодательное обеспечение экологической безопасности.

Экологическая безопасность на ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения группы цехов турбинного завода при нормальных стандартных условиях находится под контролем руководства согласно [17].

Законодательная база регламентирует как административную, так и уголовную ответственность за нарушение закона. Такое развитие ситуации необходимо предусмотреть и бороться с её возникновением и возможными последствиями на законодательном уровне.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению в систему электроснабжения производства.

Выводы по разделу 3.

«В результате выполнения данного раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях системы электроснабжения» [7] группы цехов турбинного завода.

Путём проведения выборочного анализа, в работе «установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности» [7].

На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии «безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения группы цехов турбинного завода» [7].

«Указанные мероприятия по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на» [7] электрооборудовании и в электрических сетях, должны быть приняты и внедрены в систему системы ЭС объекта исследования в работе.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения группы цехов турбинного завода при соблюдении заданных требований к надежности схемы электроснабжения и качеству электроэнергии, передаваемой потребителям.

Для реализации основной цели работы, в работе осуществлено последовательное решение следующих основных поставленных задач по проектированию системы электроснабжения группы цехов турбинного завода:

- проведён исходный анализ системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, с детальным рассмотрением технологии и циклов производства на заводе, технических характеристик его составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта проектирования;

- детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде цеха и участки системы электроснабжения группы цехов турбинного завода. На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта;

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения группы цехов турбинного завода, которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

- проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-35/10 кВ марки ТМН-10000/35 и цеховых ТП-10/0,4 кВ марки ТМ различных типоминалов, на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10, а также провод питающей воздушной линии напряжением 35 кВ марки АС-95/16;

– выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки их в соответствующих РУ на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования. Выбор всего оборудования для проектирования системы электроснабжения производства в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания;

– путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности. Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям;

– на основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения группы цехов турбинного завода.

Разработанная система электроснабжения группы цехов турбинного завода отличается надёжностью схемы электрических соединений ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, электробезопасностью, минимумом затрат на обслуживание и ремонт, позволяет свести межремонтный и эксплуатационный период до минимума, а также значительно повысить показатели энергоэффективности объекта проектирования и его потребителей.

Результаты работы соответствуют всем требованиям основных нормативных документов.

Список используемых источников

1. Анчарова Т. В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. 415 с.
2. Будзко И.А., Лещинская Т.Б., Сукманов В.И. Электроснабжение сельского хозяйства : учебник. М. : Колос, 2018. 536 с.
3. Водяников В. Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК : учебное пособие. М. : КолосС, 2018. 263 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: КолосС, 2016. 184 с.
6. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2017. 664 с.
7. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. учебник. М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 2016. 356 с.
9. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. учеб. пособ. ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / под общ. ред. В.В. Дрозд. - 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 252 с.
11. Рогалев Н.Д., Зубкова А.Г., Мастерова И.В. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2018. 288 с.
12. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студентов учреждений

профессионального образования. М.: 2016. 448 с.

13. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.

14. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Электроснабжение учебник. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

15. : Гужов Н. П., Ольховский В. Я., Павлюченко Д. А. Системы электроснабжения. учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. 257 с.

16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012.

17. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

18. Технологии производства паровых и газовых турбин / Под ред. Н. Я. Баумана и др.- М.: Энергия, 2018. 342 с.

19. Фролов Ю. М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. учебник. М.: Лань, 2015. 480 с.

20. Шкрабак В.С., Луковников А.В., Тургиев А.К. Безопасность жизнедеятельности на производстве. учебник. М.: Колос, 2019. 360 с.