

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения судоремонтного завода

Обучающийся

А. А. Петрук

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В. И. Платов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Работа посвящена проектированию системы электроснабжения судоремонтного завода путём внесения предложений по изменению исходной схемы электроснабжения объекта.

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ состава оборудования и определение требований к электроснабжению объекта, на основании чего разработаны и обоснованы необходимые мероприятия по внесению изменений в исходную схему первичных электрических соединений судоремонтного завода, способные значительно повысить показатели надёжности, экономичности и безопасности объекта.

На основании полученных результатов расчёта электрических нагрузок, осуществлён выбор коммутационных устройств и кабелей, включающий выбор трансформаторов на подстанциях всех типов объекта, выбор коммутационных устройств и кабелей. Осуществлено проектирование системы наружного и внутреннего освещения системы электроснабжения судоремонтного завода, а также разработка системы релейной защиты и автоматики (далее – РЗА).

Разработаны мероприятия по технике безопасности и охране труда в системе электроснабжения судоремонтного завода, для чего разработана и рассчитана система заземления и молниезащиты, а также мероприятия, необходимые для обеспечения безопасности работающего персонала.

Проведён экономический анализ проекта.

Содержание

Введение.....	4
1 Подготовка к проектированию системы электроснабжения.....	6
1.1 Общие сведения об объекте.....	6
1.2 Анализ существующей схемы и определение требований к электроснабжению объекта.....	13
1.3 Расчёт электрических нагрузок.....	23
2 Выбор коммутационных устройств и проводников.....	29
2.1 Выбор трансформаторов.....	29
2.2 Выбор коммутационных устройств и проводников.....	34
2.3 Проектирование системы наружного и внутреннего освещения.....	44
2.4 Расчёт релейной защиты и автоматики.....	47
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда.....	57
3.1 Расчёт молниезащиты главной понизительной подстанции.....	57
3.2 Обеспечение безопасности персонала.....	58
3.3 Экономический анализ проекта.....	60
Заключение.....	69
Список используемых источников.....	72

Введение

Судоремонтные заводы страны предназначены для обеспечения ремонта и обслуживания оборудования судов различного типа (гражданских и военных).

Современные грузоперевозки, как пассажирские, так и торговые, требуют значительного увеличения, соответственно, людского потока и грузопотока, что обуславливает увеличение числа судов, способных эти потоки обеспечить.

Современный торговый, пассажирский и военный флот, вследствие их увеличения и модернизации, требует постоянного ремонта и обслуживания плавсредств, что позволяет предотвратить аварии, а также способствует повышению экономических и технических составляющих.

Потребность в данном необходимом ремонте и обслуживании судов торгового, военного и пассажирского флотов, обеспечивают судоремонтные заводы, являясь, таким образом, базовыми ремонтными центрами для современного флота страны.

Применение новейших современных технологий в технологическом процессе ремонта и обслуживания плавсредств, а также инновационных решений в области электроэнергетики и автоматизации, позволило обеспечить широкое расширение деятельности отечественных судоремонтных заводов, с учётом повышенных требований к качеству и надёжности выполняемых работ.

Для заказчиков судоремонтных заводов, данные аспекты, в конечном итоге, приводят к повышению экономических показателей, снижению стоимости продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений.

Известно, что одним из способов достижения желаемого эффекта является реконструкция и модернизация производства, а также схем первичных электрических соединений систем электроснабжения

судоремонтных заводов.

Данный аспект обуславливает актуальность и необходимость исследований, которые разрабатываются в данной работе.

Основной целью работы является проектирование системы электроснабжения судоремонтного завода, осуществляемая путём внесения предложений по изменению исходной схемы электроснабжения объекта.

Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

Для решения поставленной задачи, выполнен анализ состава оборудования и определение требований к электроснабжению объекта, на основании чего разработаны и обоснованы необходимые мероприятия по внесении изменений в исходную схему первичных электрических соединений судоремонтного завода, способные значительно повысить показатели надёжности, экономичности и безопасности объекта.

На основании полученных результатов расчёта электрических нагрузок, осуществлён выбор коммутационных устройств и кабелей, включающий выбор трансформаторов на подстанциях всех типов объекта, выбор коммутационных устройств и кабелей.

Осуществлено проектирование системы наружного и внутреннего освещения системы электроснабжения судоремонтного завода, а также разработка системы РЗиА.

Разработаны мероприятия по технике безопасности и охране труда в системе электроснабжения судоремонтного завода, для чего разработана и рассчитана система заземления и молниезащиты, а также мероприятия, необходимые для обеспечения безопасности работающего персонала. Проведён экономический анализ проекта.

Все расчёты и проверки, а также выбор принятых решений, должны соответствовать нормам и ГОСТам, приведённым также в списке литературных источников в работе.

1 Подготовка к проектированию системы электроснабжения

1.1 Общие сведения об объекте

Как было указано ранее, объектом проектирования в работе является система электроснабжения судоремонтного завода.

Далее в работе, согласно заданию, необходимо привести общие сведения об объекте проектирования, включая краткую техническую характеристику основных комплексных подразделений судоремонтного завода.

На основе этих данных далее в работе проводится разработка проекта системы электроснабжения системы электроснабжения судоремонтного завода.

Рассматриваемая в работе система электроснабжения судоремонтного завода является самостоятельным энергоёмким подразделением отечественной судоремонтной промышленности страны.

Она имеет собственную систему электроснабжения, тесно связанную с энергетической системой региона.

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 предприятиях и подразделениях, которые специализируются на ремонте и эксплуатации судов различного типа, а также обслуживании, монтаже и ремонте промышленного специального оборудования и установок, обеспечивающих технологический процесс ремонта и эксплуатации данных судов.

В условиях нынешнего значительного удорожания энергоресурсов, провоцирующего повышение цен практически на все видов продукции, в условиях жёстких санкций, а также затруднения или полной невозможности взаимных расчётов, особую важность имеет развитие отечественного

производства и заполнение рынка страны собственными судоремонтными предприятиями и подразделениями. Данный вопрос является актуальным и требует незамедлительного решения.

В связи с этим, в работе проводится проектирование системы электроснабжения судоремонтного завода, которое реализуется путём внедрения новых, качественно-необходимых изменений в действующей системе электроснабжения судоремонтного завода, обусловленных несоответствием схемы первичных электрических соединений положениям и требованиям основных нормативных документов.

Рассматриваемая в работе система электроснабжения судоремонтного завода специализируется на ремонте и монтаже основных узлов, частей и механизмов судов различного типа, в частности, пассажирских и транспортных кораблей.

Для управления процессом производства на заводе, существуют различные подразделения и отделы, а также руководящий персонал предприятия, основной задачей которого является обеспечение качественного и бесперебойного технологического процесса ремонтно-эксплуатационных работ, руководство рабочим и обслуживающим персоналом с целью повышения эффективности работ и конечного результата, организация работы с заказчиками.

Структура управления на рассматриваемом в работе судоремонтном заводе, организована по классической схеме и непосредственно представлена на рисунке 1.

Руководит всеми процессами на заводе начальник судоремонтного завода (СРЗ), который должен иметь профильное образование и назначается советом директоров и акционеров.

Заместителями начальника СРЗ являются следующие должностные лица (рисунок 1):

- главный инженер – обеспечивает непосредственный полный технический, организационный и частично технологический процесс

производства, является первым заместителем начальника СРЗ, в подчинении главного инженера находятся основные технические и технологические службы завода, выполняя функцию базового технического обеспечения основного цикла производства;

- заместитель начальника СРЗ по производству – обеспечивает частичный технологический процесс производства, а также организационный контроль и управление производством, он является вторым заместителем начальника СРЗ, в подчинении заместителя начальника СРЗ по производству находятся основные производственные участки и подразделения завода, а также отдел технического контроля качества продукции, отдел кадров, производственно-диспетчерский отдел и прочие аналогичные структуры (рисунок 1).

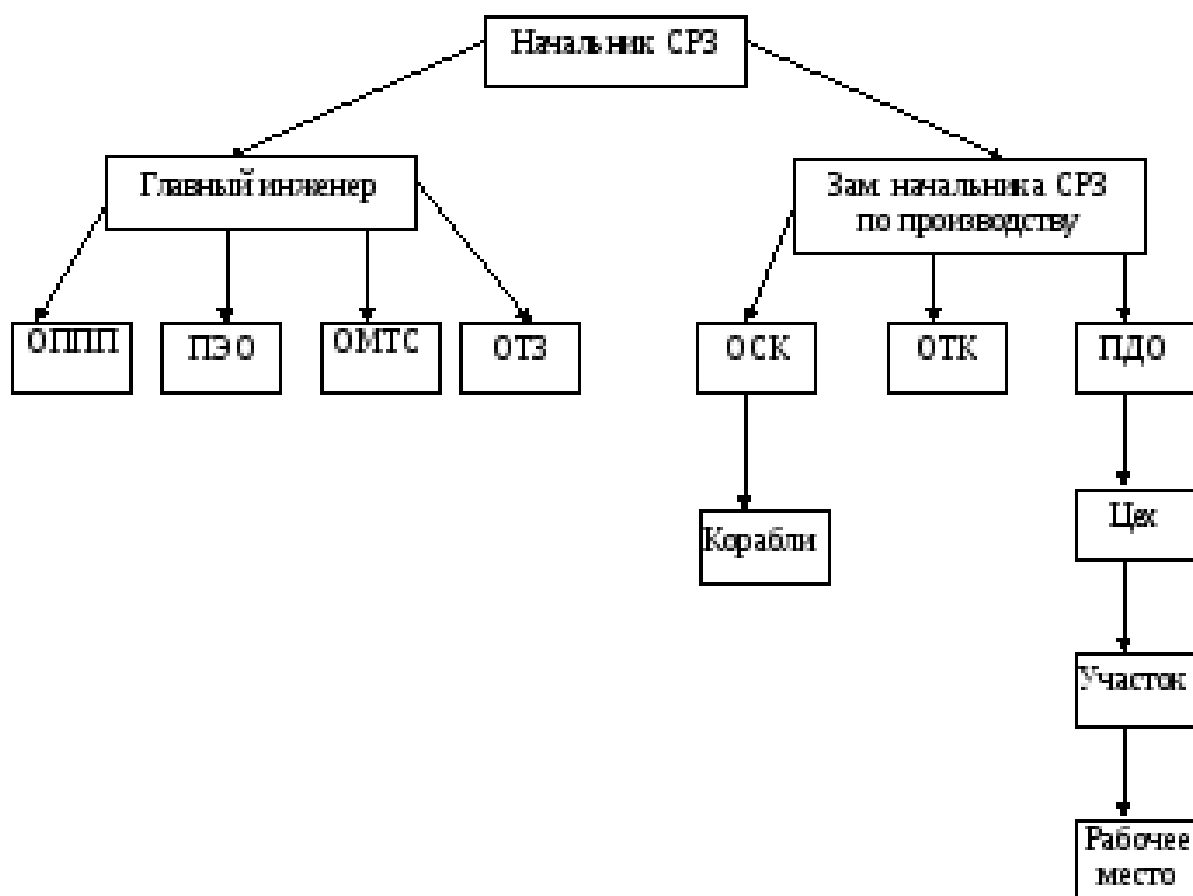


Рисунок 1 – Структура управления судоремонтного завода (классическая схема организационного управления)

Далее необходимо кратко провести описание основного технологического процесса на рассматриваемом в работе судоремонтном заводе.

Особенностью технологического процесса на рассматриваемом в работе судоремонтном заводе, являются следующие факты:

- наличие крупных и энергоёмких корпусов основного производственного цикла, в которых сосредоточено мощное производственное оборудование;
- расположение всех производственных корпусов в ряд и наличие водного направления (шлюзов) для непосредственной подачи судов в эти корпуса;
- высокие потолки для обеспечения беспрепятственного захода судов по шлюзам в производственные ремонтные корпуса судоремонтного завода;
- необходимость мощных насосных установок для обеспечения цикла отмывки и чистки корпусов и палуб судов.

По своему характеру, все производственные технологические процессы на рассматриваемом в работе судоремонтном заводе, делятся на следующие основные типы [14]:

- основные производственные технологические процессы – заключаются в непосредственном участии в основном технологическом процессе ремонта и эксплуатации судов и их оборудования, узлов и механизмов, по своему назначению основные технологические процессы делятся на заготовительные, обрабатывающие и сборочные процессы;
- вспомогательные производственные технологические процессы – предусматривают энергетическое и ремонтное обеспечение основных производственных технологических процессов;
- обслуживающие производственные технологические процессы – заключаются в обеспечении основного производства материально-

техническим обеспечением, включающим транспортное, складское, метрологическое и прочие виды обеспечения;

- управленческие производственные технологические процессы – предусматривают непосредственное управление циклом производства и контроля процесса и его результатов.

Исходя из приведённых основных типов производственных технологических процессов на рассматриваемом в работе судоремонтном заводе, далее в работе проводится описание основных подразделений (цехов и участков) данного объекта.

Весь процесс и технология производства готовой продукции в системе электроснабжения судоремонтного завода, соответствует основным современным требованиям и нормам [7].

Исходя из основных типов производственных технологических процессов, на рассматриваемом в работе судоремонтном заводе имеются следующие основные производственные комплексы, которые вносят основной вклад в основной технологический процесс ремонта и обслуживания оборудования, узлов и механизмов судов [18]:

- комплекс ремонта корпусов и трубопроводов (обеспечивает ремонт и обслуживание корпусов судов, палуб, трюмов, оборудования трубопроводов на судах, а также ремонт и обслуживание основных и вспомогательных деталей корпусов судов всех типов и видов);
- монтажно-механический комплекс (непосредственный ремонт, эксплуатация и монтаж механического оборудования, узлов и механизмов судов различной комплектации и степени сложности);
- электро-радио-монтажный комплекс (включает процессы ремонта, монтажа и обслуживания электрической, радионавигационной и прочей оснастки и оборудования судов различной комплектации и степени сложности).

Помимо основных производственных подразделений, описанных выше, на территории судоремонтного завода, согласно исходным данным,

расположены следующие вспомогательные цеха и участки, которые также относятся к системе электроснабжения судоремонтного завода:

- комплекс технического обслуживания производства – включает комплекс технических служб (механическую, электрическую, службу контрольно-измерительных приборов и автоматики, токарный участок, слесарно-механический участок, а также прочие вспомогательные службы и подразделения);
- административно-технический корпус – состоит из подразделений технических служб и руководящего состава для организации технологического процесса на судоремонтном заводе.

Исходные технические данные приведённых производственных и вспомогательных цехов и участков существующей системы электроснабжения судоремонтного завода приведены в таблице 1. Также в таблице 1 предоставлена информация по разделению всех подразделений судоремонтного завода по категорийности относительно надёжности электроснабжения. Данная информация необходима для принятия дальнейших решений по возможному изменению системы электроснабжения объекта, в особенности, изменения схемы первичных электрических соединений.

Таблица 1 – Исходные технические данные основных объектов системы электроснабжения судоремонтного завода

№ цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	$P_{уст}$, кВт	$\cos \varphi$	Категория надёжности
1	Комплекс ремонта корпусов и трубопроводов	5300	0,6	I
2	Монтажно-механический комплекс	3400	0,65	I
3	Комплекс технического обслуживания производства:			II
	- потребители 0,4 кВ	400	0,7	
	- потребители 10 кВ (СД 10 кВ)	1260	0,9	
4	Электро-радио-монтажный комплекс	5500	0,65	I
5	Административно-технический корпус	500	0,8	III
Всего по судоремонтному заводу		16360	-	-

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что всё оборудование производственных объектов системы электроснабжения судоремонтного завода работает на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ, за исключением четырёх высоковольтных синхронных электродвигателей напряжением 10 кВ и мощностью 315 кВт каждый, территориально находящихся в комплексе технического обслуживания производства.

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных объектов судоремонтного 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 2.

После выполнения задания, заключающегося в разработке мероприятий по проектированию объекта исследования, данный план расположения производственных цехов и участков переносится на графический лист 1, на который наносятся сети (питающие и распределительные), а также расположение всех понизительных подстанций, полученные в результате проведения исследований в работе.

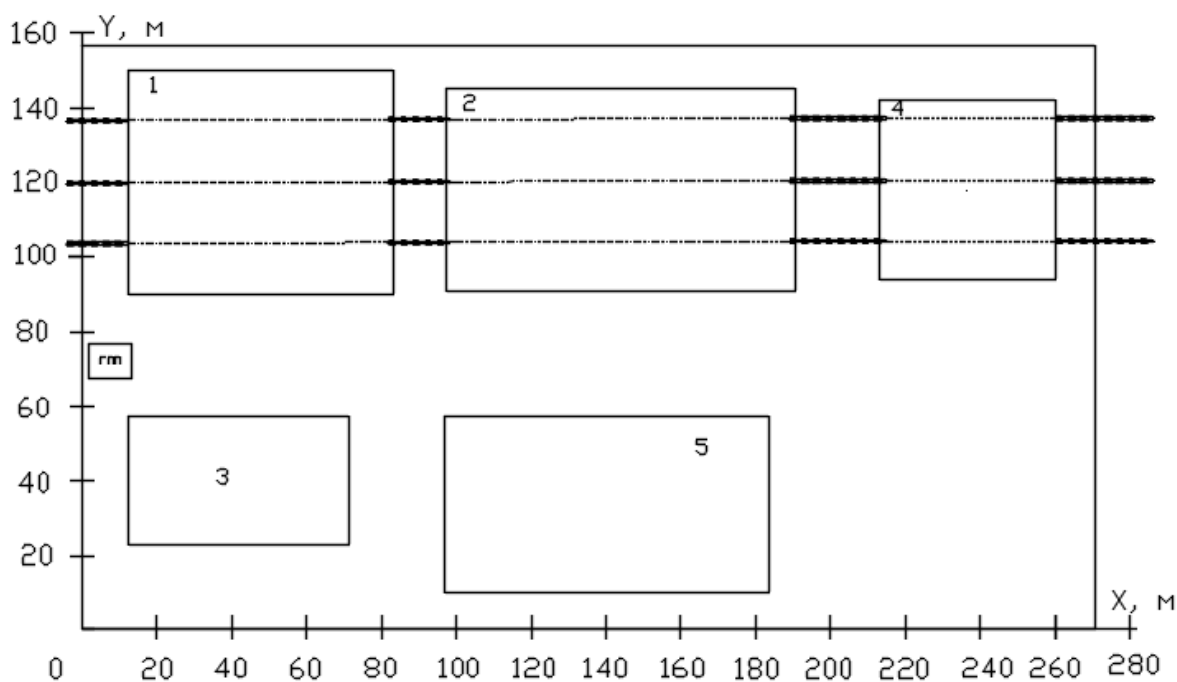


Рисунок 2 – План расположения подразделений судоремонтного завода с системами шлюзов

На основании приведённых данных, включающих исходную техническую характеристику технологического процесса и подразделений на судоремонтном заводе, а также исходный план их расположения на территории предприятия, далее в работе проводится разработка комплекса мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта исследования.

1.2 Анализ существующей схемы и определение требований к электроснабжению объекта

Далее в работе необходимо рассмотреть исходную характеристику объекта на основе исходных данных источников питания и потребителей, а также исходную существующую схему электрических соединений системы электроснабжения судоремонтного завода.

Рассматриваемая в работе существующая система электроснабжения судоремонтного завода состоит из следующих элементов (графический лист 1), описание которых приводится далее.

В схеме внешнего электроснабжения судоремонтного завода основным и единственным источником переменного напряжения является понизительная ГПП в виде ТП-35/10 кВ, в которой присутствуют основные элементы, описанные в работе далее согласно структурной схеме.

Исходная схема главной понизительной подстанции переменного напряжения внешнего электроснабжения судоремонтного завода, состоящая из следующих элементов, приведённых в работе далее, представлена на рисунке 3.

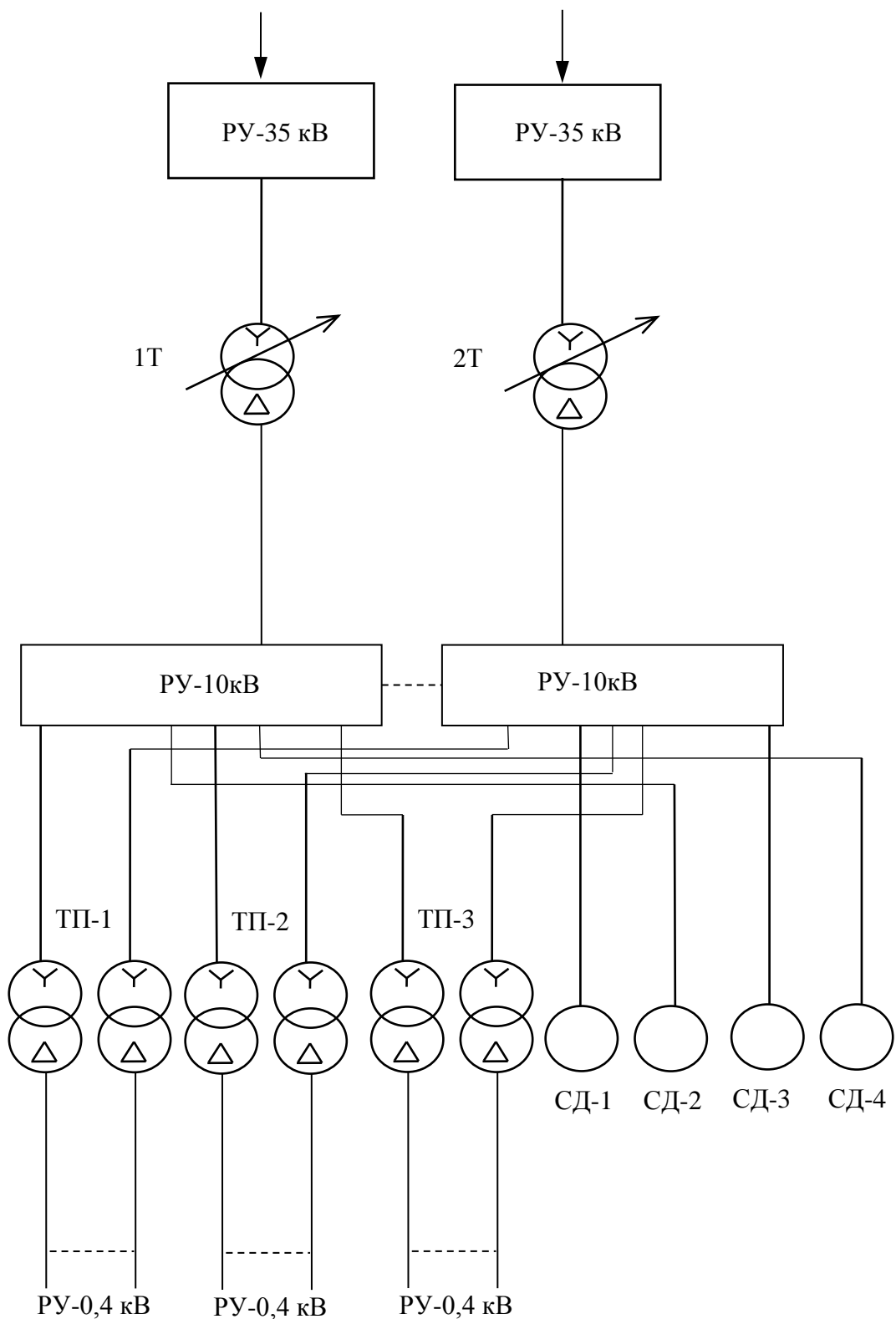


Рисунок 3 – Исходная структурная схема системы электроснабжения судоремонтного завода

Первым основным элементом структурной схемы главной понизительной подстанции переменного напряжения ПС-35/10 кВ внешней

системы электроснабжения судоремонтного завода является распределительное устройство высшего напряжения 35 кВ (далее – ОРУ 35 кВ).

В РУ-35 кВ ГПП системы электроснабжения судоремонтного завода есть два фидера с установленным на них коммутационными и защитными электрическими аппаратами, при наличии отдельных цепей питающей воздушной линии 35 кВ для обеспечения электроснабжения двух силовых трансформаторов.

Применяемая исходная схема для ОРУ-35 кВ ГПП судоремонтного завода до проведения – двухлучевая схема главных электрических соединений без резервирования.

Анализируя схему РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода можно сделать вывод, что в ней полностью отсутствует резервирование, что создаёт ряд проблем и неудобств, так как переключения схемы и вывод её в ремонт проводится при полном отключении потребителей судоремонтного завода.

Такой вариант является недопустимым согласно требованиям [10] для питания потребителей I и II категорий надёжности, которых большинство на данном объекте.

Данный аспект необходимо учесть при выборе схемы системы электроснабжения судоремонтного завода.

На отходящих линиях в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода установлены защитные и коммутационные аппараты современных конструкций и модификаций (графический лист 2):

- выключатели высокого напряжения масляные баковые марки У-35-20/1600 (введён в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода в результате модернизации 1994 г.);

- разъединители марки РЛНДЗ-2-35/600 У1 (введены в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода при вводе в эксплуатацию объекта в 1986 г.);
- трансформатор тока ТРГ-35 У1 (введён в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода при модернизации вторичных цепей объекта в 2008 г.);
- заземлитель нейтрали ЗОН-350М-У1 (введён в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода при вводе в эксплуатацию объекта в 1986 г.);
- разрядники марки РВО-35 (введены в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода в результате модернизации 1994 г.).

Исходя из анализа приведённой информации, можно сделать вывод, что все электрические аппараты (за исключением трансформаторов тока), установленные на данный момент в ОРУ-35 кВ, являются устаревшими и полностью выработали свой технический ресурс, поэтому они нуждаются в замене.

Кроме того, практически все данные марки аппаратов не выпускаются в промышленных масштабах примерно с начала 21 века [7].

Следующий элемент структурной схемы главной понизительной подстанции переменного напряжения внешнего электроснабжения судоремонтного завода – это понижающие двухобмоточные силовые трансформаторы с регулировкой под нагрузкой марки ТМН-10000/35, трёхфазный, с принудительной системой обдува для охлаждения, обычного пользования.

Силовые трансформаторы обеспечивают понижение напряжения на ГПП-35/10 кВ с номинального значения 35 кВ до номинального значения 10 кВ, с последующим его распределением в РУ-10 кВ судоремонтного завода.

В схеме нормального режима работают оба указанные силовых трансформатора ГПП-35/10 кВ.

Ещё одним важнейшим структурным элементом структурной схемы главной понизительной подстанции переменного напряжения внешнего электроснабжения судоремонтного завода выступает распределительное устройство 10 кВ (РУ-10 кВ).

Конструктивно на ГПП-110/10 системы электроснабжения судоремонтного завода РУ-10 кВ выполнено наружным с применением ячеек 10 кВ типа КРУН.

Схема электрических РУ-10 кВ ГПП – двухлучевая радиальная с резервированием и секционированием (схема первичных соединений при питании от двух независимых источников).

Между секциями шин 10 кВ установлен секционный выключатель, однако в нормальном режиме работы сети он включён. Таким образом, на шинах РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ обеспечивается параллельный режим работы данных секций.

На входных, секционной и отходящих линиях в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода установлены защитные и коммутационные аппараты следующих конструкций и модификаций (графический лист 2):

- выключатели высокого напряжения ВМПЭ-10-630-20 (введены в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода в результате модернизации 1994 г.);
- трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10-800/5 У3 (введены в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода при вводе в эксплуатацию объекта в 2008 г.);
- трансформатор напряжения марки ЗНОЛ.06-10 (введён в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода при вводе в эксплуатацию объекта в 2008 г.);
- плавкие предохранители для защиты трансформаторов напряжения марки ПКН 001-10 10 (введены в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода при вводе в эксплуатацию объекта в 2008 г.);

- ограничители перенапряжения ОПН-10У1 (введены в работу на ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода в результате модернизации 2008 г.).

Исходя из анализа приведённой информации, можно сделать вывод, что все электрические аппараты, установленные на данный момент в РУ-10 кВ, являются современными и не выработали свой технический ресурс, поэтому в замене не нуждаются, за исключением выключателей высокого напряжения: они являются устаревшими моделями горшковых маломасляных выключателей, поэтому рекомендуются к замене.

РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ в работе выполнен в виде комплектного распределительного устройства наружной установки (далее – КРУН). При этом в ячейках КРУН-10 кВ не устанавливаются разъединители, так как они заменены втычными контактами в ячейках КРУН, обеспечивая в ремонтном положении ячеек видимый разрыв.

Кроме того, от сборных шин РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения судоремонтного завода, получают питание трансформатор собственных нужд (ТСН) марки ТЛС-40/10, от которого, в свою очередь, получают непосредственное питание на напряжении 0,38/0,22 кВ потребители собственных нужд. К основным потребителям собственных нужд ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода относится освещение, обогрев оборудования в зимнее время, релейная защита, автоматика и сигнализация, а также цепи измерения и видеосвязи [12]. Все они планомерно и постепенно были введены в работу и эксплуатацию на подстанции при её вводе в эксплуатацию в 1986 году, а также при модернизации оборудования в 2008 году.

Оперативный ток на подстанции – переменный, напряжением 220 В. «Защита силового трансформатора Т1 расположена на ОРУ-35 кВ в шкафу защиты трансформатора ШЗТ-Т1 расположенного рядом с Т1, защита ввода 10 кВ расположена в релейном отсеке ввода 10 кВ Т1» [16].

Далее от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ получают питание понизительные цеховые подстанции системы внутреннего электроснабжения судоремонтного

завода напряжением 10/0,4 кВ, питающие соответствующие потребители цехов и участков электроснабжения объекта.

Всего в системе электроснабжения понизительной подстанции 35/10 кВ предусмотрено три двухтрансформаторных понизительных цеховых ТП-10/0,4 кВ. Все потребительские подстанции ТП-10/0,4 кВ системы внутреннего электроснабжения судоремонтного завода, выполнены комплектными наружной установки, их питание на стороне 10 кВ осуществляется кабельными линиями электропередачи по радиальной схеме от шин напряжением 10 кВ главной понизительной подстанции 35/10 кВ.

В исходной схеме электрических соединений для этой цели применяются трёхжильные силовые алюминиевые кабели высокого напряжения современного инновационного типа марки АСБ.

При этом для питания каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП используется двухлучевая радиальная схема с резервированием, согласно которой каждая двухтрансформаторная ТП-10/0,4 кВ питается кабелями 10 кВ от двух секций сборных шин РУ-10 кВ, в котором присутствует резервирование на секционном выключателе, секционирующем секции сборных шин (графический лист 2). Распределение объектов судостроительного завода по цеховым ТП-10/0,4 кВ в исходной схеме электроснабжения, показано в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение объектов судостроительного завода по цеховым ТП-10/0,4 кВ в исходной схеме электроснабжения

Номер ТП	Наименование цеха (участка)	$P_{уст}$, кВт	Категория надёжности	Число и мощность трансформаторов ТП, кВА
ТП-1	Комплекс ремонта корпусов и трубопроводов	5300	I	2×2500
	Монтажно-механический комплекс	3400	I	
ТП-2	Комплекс технического обслуживания производства (потребители 0,4 кВ)	400	II	2×1000
	Административно-технический корпус	500	III	
ТП-3	Электро-радио-монтажный комплекс	5500	I	2×2500

Распределение объектов судостроительного завода по цеховым ТП-10/0,4 кВ в исходной схеме электроснабжения, соответствует требованиям [10], предъявляемым к питанию потребителей: все объекты I и II категорий надёжности, получают питание по двум независимым линиям и на их ТП-10/0,4 кВ присутствуют по два силовых трансформатора.

На шинах РУ-0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ, отключены секционные автоматы в нормальном режиме с АВР, обеспечивая, таким образом, отдельный режим работы системы внутреннего электроснабжения объекта (включая также электрические сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ).

Такая схема соответствует требованиям [11] для обеспечения потребителей основного производства и предприятия, относящегося ко II категории надёжности, с учётом резервного источника питания.

Учитывая приведённую детальную характеристику элементов и оборудования схемы внутренней и внешней системы электроснабжения судоремонтного завода, далее в работе проводится решение поставленных задач по разработке мероприятий, которые будут необходимы при изменении исходной схемы электрических соединений объекта.

Далее в работе, с учётом технической характеристики потребителей, а также исходной схемы электрических соединений объекта проектирования, проводится детальный анализ и обоснование мероприятий по более качественному проектированию системы электроснабжения судоремонтного завода.

Известно, что основные нормы и требования, которые предъявляются к схемам питающих главных соединений главных понизительных подстанций и систем электроснабжения в целом, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [1]:

- характеристике технологическим схемам и параметрам с учётом номинальных рядов напряжения;
- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;

- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на подстанции и в системе электроснабжения;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанции;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования главных понизительных подстанций и систем электроснабжения в целом;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования для применения на главных понизительных подстанциях и в системах электроснабжения в целом;
- использование передовых и экономичных схемных решений в системах электроснабжения в целом;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования и сетей;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы системы электроснабжения;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов всех звеньев цепи в системе электроснабжения.

На основе указанных требований, с учётом проведённого анализа и систематизации проблемных узлов и вопросов, требующих решений, в системе электроснабжения судоремонтного завода, предлагается провести анализ проблем и внедрить необходимые практические мероприятия по

внесению изменений в исходную схему электроснабжения.

Перечень проблем и путей их решения, для проведения изменений в существующей системе электроснабжения судоремонтного завода, в работе представлен в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Перечень проблем и путей их решения, для проведения изменений в существующей системе электроснабжения судоремонтного завода

Составляющая часть схемы электроснабжения объекта	Критерий	Выполнения критерия	Предлагаемое мероприятие для решения проблемы
Схема ОРУ-35 кВ	Резервирование питания на стороне 35 кВ для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно [11]	нет	Применить схему с резервированием ремонтной перемычкой [18]. В схеме выбрать и установить дополнительные электрические аппараты в ремонтной перемычке 35 кВ
Схема РУ-10 кВ	Режим работы секции сборных шин 10 кВ с учётом резервирования питания на стороне 10 кВ для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности [11]	нет	Применить отдельный режим работы секции сборных шин 10 кВ. Установить систему АВР на секционном выключателе РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Обеспечить комплексную наладку и согласование работы системы резервирования, при которой при исчезновении напряжения на одной из секций сборных шин 10 кВ, автоматически включать секционный выключатель системой АВР.
Электрические аппараты ОРУ-35 кВ	Обеспечение надёжности и безотказности работы схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно [11]	нет	Заменить следующие устаревшие и ненадёжные электрические аппараты: выключатели высокого напряжения, разъединители, разрядники (на ОПН). Остальные аппараты проверить на работоспособность при технических условиях сети.
Электрические аппараты РУ-10 кВ	Обеспечение надёжности и безотказности работы схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно [11]	нет	Заменить следующие устаревшие и ненадёжные электрические аппараты: все выключатели высокого напряжения (вводные, секционный, линейные). Остальные аппараты проверить на работоспособность при технических условиях сети.

Предложенные мероприятия по решению поставленных задач, для проведения качественных изменений в существующей системе электроснабжения судоремонтного завода, детально должны быть рассмотрены в работе далее.

1.3 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по усовершенствованию исходной существующей схемы электрических соединений электроснабжения судоремонтного завода, осуществляемую путём внесения изменений в схемы исходных электрических соединений ОРУ-35 кВ, КРУН-10 кВ, а также модернизации оборудования, в работе при расчёте электрических нагрузок используется схема, полученная с учётом внедрения данных мероприятий.

Разработанная схема системы электроснабжения судоремонтного завода с внесёнными в неё качественными изменениями, детально описана в работе ранее и приведена на графическом листе 3.

В сети переменного тока расчёту подлежат активная, реактивная и полная расчётные электрические нагрузки.

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения судоремонтного завода, является установленная номинальная нагрузка потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке.

Численное значение «расчётной активной нагрузки силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков системы электроснабжения судоремонтного завода, кВт» [8]:

$$P_{р.} = K_c P_n, \quad (1)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода, кВт»,

исходя из [8];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8] (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода.

Расчетная реактивная нагрузка силовых потребителей соответствующего цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода, квар:

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

где $tg\varphi$ – «значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].

В работе, помимо силовой расчётной нагрузки объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки судоремонтного завода, исходя из площади, которая подлежит освещению.

Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) судоремонтного завода, кВт:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{н.o}, \quad (3)$$

где $K_{c.o}$ – коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода [4];

$P_{н.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода, кВт.

При этом значение последней составляющей осветительной нагрузки рассчитывается таким образом:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (4)$$

где $P_{уд.о.}$ – удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода, кВт/м², исходя из [4];

F – площадь соответствующего цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода согласно генплану, м².

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) системы электроснабжения судоремонтного завода [14]:

$$S_p = \sqrt{(P_n + P_{н.о})^2 + Q_p^2} \quad (5)$$

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) в рассматриваемой системе электроснабжения судоремонтного завода рассчитываются по приведённым ранее расчётным условиям (1) и (2), а полная расчётная силовая нагрузка объекта определяется так [14]:

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

Расчетная полная нагрузка системы электроснабжения «определяется по суммарным расчетным нагрузкам, включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП» [8].

Расчёт нагрузок в работе проводится с учётом потерь в элементах сети. Как правило, максимальные потери, которыми нельзя пренебречь, являются потери в трансформаторах ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП [17].

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ» [8] системы электроснабжения

судоремонтного завода на этапе проверки можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.n}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.n}, \text{ квар}. \quad (8)$$

Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода на этапе проверки можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02 \cdot P_{p.\Sigma}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1 \cdot Q_{p.\Sigma}, \text{ квар}. \quad (10)$$

По приведённым выше условиям (1) – (10) проводится расчёт нагрузок цехов и участков системы электроснабжения судоремонтного завода.

Основой для дальнейших расчётов и выбора оборудования и сетей является суммарная расчётная нагрузка цехов (участков) и судоремонтного завода в целом.

Результаты расчёта суммарных значений электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения судоремонтного завода и всего предприятия в целом, сведены в таблицу 4.

В работе в таблицу 3 сведены результаты расчёта следующих видов нагрузки:

- силовой;
- осветительной;
- суммарной.

При этом в расчётах всех видов нагрузки, проводится расчёт активной, реактивной и полной составляющей нагрузки.

Таблица 4 – Результаты расчёта суммарных значений электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения судоремонтного 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
Комплекс ремонта корпусов и трубопроводов	1855	44,89	2467,2	19,35	1899,89	2486,6	3129,3	62,59	312,93
Монтажно-механический комплекс	1360	53,87	1591,2	23,22	1413,87	1614,4	2146	42,92	214,6
Комплекс технического обслуживания производства:	120	22,44	122,4	9,675	142,44	132,08	194,3	3,89	19,43
Высоковольтные двигатели 10 кВ	882	-	423,36	-	882	423,36	978,3	19,57	97,83
Электро-радио-монтажный комплекс	3575	23,94	4182,8	10,32	3598,94	4193,1	5525,8	110,52	552,58
Административно-технический корпус	400	33,52	300	14,45	433,52	314,45	535,6	10,71	53,56
Наружное освещение	-	149,63	-	64,5	149,63	64,5	162,9	3,26	16,29
Итого на стороне 10 кВ (без КРМ)	8192	328,29	9087	141,52	8520,29	9228,5	12672,2	253,44	1267,22
Потери ЭЭ в трансформаторах ГПП (с КРМ)	-	-	-	-	8520,29	6728,5	10856,7	217,13	1085,67
Итого на вводе 35 кВ ГПП-35/10 кВ	-	-	-	-	8737,42	7814,1	11721,8	-	-

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы внешнего электроснабжения судоремонтного завода, используются в работе далее при выборе и проверке силовых трансформаторов для установки на ГПП и цеховых ТП, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников на объекте исследования, которые проводятся в работе далее.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, в работе приведён исходный анализ существующей схемы электроснабжения судоремонтного завода, с учётом источников питания, технических характеристик основных составляющих

структурной схемы, а также потребителей объекта проектирования. Детально рассмотрен источник питания системы электроснабжения судоремонтного завода, в качестве которого выступает ГПП-35/10 кВ.

Рассмотрена и детально описана система электроснабжения объекта реконструкции с анализом исходных данных и систематизации их по производственному назначению с учётом категоричности по надёжности электроснабжения. На основе требований нормативных документов, с учётом проведённого анализа и систематизации проблемных узлов и вопросов, требующих решений, в системе электроснабжения судоремонтного завода, проведён анализ проблем и обоснованы необходимые практические мероприятия по качественному преобразованию исходной схемы электроснабжения объекта. С учётом перечня проблем и путей их решения для проведения реконструкции системы электроснабжения судоремонтного завода, составлена уточнённая структурная схема понижающей подстанции ГПП-35/10 кВ объекта проектирования, которая в полной мере соответствует требованиям по обеспечению надёжности схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности.

Осуществлён расчёт электрических нагрузок в системе электроснабжения судоремонтного завода, включающей индивидуальный расчёт силовой, осветительной и суммарной нагрузок всех объектов и подразделений, а также указанных видов нагрузки всей системы электроснабжения объекта исследования. Для этого составлена уточнённая структурная схема понижающей подстанции ГПП-35/10 кВ объекта проектирования, которая в полной мере соответствует требованиям по обеспечению надёжности схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности.

Реализация предложенных мероприятий осуществляется с использованием перспективных технических решений и современных расчётных методик на основе нормативных документов.

2 Выбор коммутационных устройств и проводников

2.1 Выбор трансформаторов

Согласно схеме электроснабжения, в системе электроснабжения судоремонтного завода требуется выбрать и проверить следующие силовые трансформаторы, которые установлены на следующих трансформаторных подстанциях:

- на ГПП-35/10 кВ – два трансформатора марки ТМН-10000/35;
- на цеховых ТП-10/0,4 кВ – три ЦТП по два силовых трансформатора на каждой (ТП-1, ТП-3 – трансформаторы ТМ-2500/10, ТП-2 – трансформаторы ТМ-1000/10).

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода установлены два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35.

В работе необходимо проверить данные трансформаторы на допустимую загрузку потребляемой мощностью и, в случае необходимости, заменить их на актуальные.

Также, с учётом внесённых изменений в исходную существующую схему электрических соединений системы электроснабжения судоремонтного завода, в результате которой в схеме электрических соединений применяется раздельный режим работы в ОРУ-35 кВ и КРУН-10 кВ, также необходимо провести проверку трансформаторов ГПП на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

Выбор и проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта в работе проводится по следующему алгоритму [14]:

- выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимым коэффициентам загрузки с предварительной проверкой по допустимой расчётной нагрузке;

- проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме;
- проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимой нагрузке в послеаварийном режиме работы.

«При выборе силового трансформатора для установки на ГПП системы электроснабжения судоремонтного завода должны выполняться условия проверки, с учётом того, что рекомендуемая нагрузка каждого силового трансформатора должна быть не более 70% в нормальном режиме работы» [6]

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (11)$$

где n – «количество трансформаторов, шт.» [11];

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

По (11)

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

Предварительный проверочный расчёт силового трансформатора по расчётной нагрузке заключается в том, что номинальная мощность трансформатора должна быть не меньше расчётной мощности [7]:

$$S_{ном.т}, \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р}, \text{ кВА.} \quad (12)$$

Из результатов расчёта можно сделать вывод, что номинальная мощность силовых трансформаторов, установленных на главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода, превышает расчётное значение, полученное по условию (12)

$$S_{ном.т} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 8372,7 \text{ кВА}.$$

Условия проверки трансформаторов по расчётной мощности и потребляемой нагрузке соответствуют требуемым.

Предварительные условия проверки трансформаторов по расчётной мощности и потребляемой нагрузке соответствуют требуемым.

Поэтому выбирается для установки на ГПП-35/10 системы электроснабжения судоремонтного завода, два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый [14].

Исходя из полученных результатов расчёта, предварительно выбирается для установки на главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода после проведения реконструкции, два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14].

Данный силовой трансформатор конструктивно имеет две обмотки и выбран для умеренного климата. Производится указанный трансформатор в компании «Гольяттинский трансформатор» [14].

Однако правилами и требованиями [10], дополнительно необходимо также дополнительно проверить выбранные трансформаторы по допустимой нагрузке и перегрузочной способности, исходя из принятых значений коэффициента загрузки выбранных трансформаторов на главной понизительной подстанции завода.

При этом коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме на главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода не должен превышать нормируемого значения 0,7 [7]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (13)$$

Коэффициент загрузки трансформатора главной понизительной

подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода в послеаварийном режиме не должен превышать значения 1,4 [7]:

$$K_{з.п} = \frac{S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (14)$$

Проводится проверка трансформаторов главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода по условиям загрузки каждого трансформатора в нормальном режиме.

Условно принимается, что на каждый из двух силовых трансформаторов подстанции нагрузка потребителей распределяется равномерно (с учётом равномерного питания равноценных по мощности трансформаторов двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ от двух секций 10 кВ ГПП).

Проверка по условию (13) выполняется:

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

«В послеаварийном режиме один силовой трансформатор подстанции принимает на себя нагрузку всей подстанции с учётом отключения потребителей III категории надёжности» [10].

Учитывая этот факт, необходимо обеспечить своевременное отключение неответственных потребителей от системы электроснабжения объекта в послеаварийном режиме.

Исходя из этого требования, проверка по условию (14) для трансформаторов главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода, будет иметь следующий вид:

$$K_{з.п} = \frac{11721,8}{10000} = 1,17 \leq 1,4.$$

Условие всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35, установленные на главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода в исходной схеме электрических соединений объекта, выдержат допустимую перегрузку на данной подстанции в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций системы электроснабжения судоремонтного завода с учётом изменений, внесённых в схему электрических соединений объекта.

Изначально в системе электроснабжения судоремонтного завода было три понизительные цеховые ТП-10/0,4 кВ.

Известно, что номинальная полная мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий, определяется по следующему условию [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_t}, \quad (15)$$

где $S_{\text{ном.т.р}}$ – «расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

$\sum P_p$ – «активная нагрузка объектов, питающихся от ТП, кВт» [12];

N – «количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 по условию (15):

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

Для установки на цеховой ТП-1 системы электроснабжения судоремонтного завода приняты два силовых трансформатора марки ТМ-2500/10 [12].

На других цеховых ТП-10/0,4 кВ выбор силовых трансформаторов аналогичен.

Полученные данные сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбор и проверка числа и мощности цеховых трансформаторов системе электроснабжения судоремонтного завода

Номер ТП	Наименование цеха (участка)	Р _р , кВт	Категория надёжности	Число и мощность трансформаторов ТП, кВА
ТП-1	Комплекс ремонта корпусов и трубопроводов	1899,89	I	2×ТМ-2500/10
	Монтажно-механический комплекс	1413,87	I	
	Всего по ТП-1	3313,76	I	-
ТП-2	Комплекс технического обслуживания производства (потребители 0,4 кВ)	842,44	II	2×ТМ-1000/10
	Административно-технический корпус	433,52	III	
	Всего по ТП-2	1275,96	II, III	-
ТП-3	Электро-радио-монтажный комплекс	3598,94	I	2×ТМ-2500/10
	Всего по ТП-3	3598,94	I	-

В результате выбора и проверки силовых трансформаторов на ГПП-35/10 кВ и всех цеховых ТП-10/0,4 кВ установлено, что все типонамины и мощности силовых трансформаторов, установленные на этих энергетических установках, совпадают с теми, которые были установлены на данных подстанциях в исходной схеме, данные трансформаторы не требуют замены.

2.2 Выбор коммутационных устройств и проводников

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку коммутационных устройств и кабелей системы электроснабжения судоремонтного завода после внедрения мероприятий по внесению изменений в исходную схему, описанных детально в работе ранее.

В работе в системе электроснабжения судоремонтного завода, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП-35/10 кВ), питающей сети 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ) и питающей сети 0,4 кВ (отходящие кабельные линии к РП-0,4 кВ объектов).

При этом в сети 10 кВ выбираются кабельные линии, отходящие от ГПП-35/10 кВ к цеховым ТП-10/0,4 кВ с учётом того, что в схеме электрических соединений РУ-10 кВ секции сборных шин разделены на две, питающие каждая своих потребителей (по одному трансформатору цеховых ТП-10/0,4 кВ приходится на каждую секцию сборных шин 10 кВ).

«Известно, что выбор сечений кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по выражению» [8]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{э}}}, \quad (16)$$

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

$j_{\text{э}}$ – «экономически выгодная плотность тока, А/мм²» [11].

Рабочий ток нормального режима линии электропередач определяется, исходя из рассчитанной ранее в работе нагрузки [18]:

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (17)$$

где $S_{\text{р}}$ – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_n, \quad (18)$$

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

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_a. \quad (19)$$

Следовательно, для корректного выбора сечения проводников линий электропередач системы электроснабжения судоремонтного завода, необходимо предварительно провести расчёт максимальных токов послеаварийного режима присоединений 35 кВ и 10 кВ (соответственно, питающей и распределительной сетей системы внешнего и внутреннего электроснабжения объекта).

Расчёт максимальных рабочих токов послеаварийного режима проводится с учётом резервирования в схеме электроснабжения с учётом мероприятий, внедрённых после проведения анализа схемы электроснабжения объекта, с учётом принятых решений по резервированию и изменению режима работы в сетях 35 кВ (в ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ) и сетях 10 кВ (в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ).

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима для линии с учётом резервирования в системе электроснабжения объекта [15]:

$$I_a = 1,4 \cdot I_n. \quad (20)$$

Рассчитанные значения максимальных токов послеаварийного режима для сети 35 кВ и 10 кВ используются далее для выбора сечения соответствующих проводников линий.

Также эти расчётные данные используются при выборе и проверке электрических аппаратов в работе далее.

Необходима также проверка сечений проводников линий по условию допустимой потере напряжения [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \% \quad (21)$$

Известно, что максимальные допустимые потери в сетях всех уровней и классов напряжения должны быть не более 5% [15].

«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» [11].

Далее в работе проводится детальный выбор и проверка сечения проводника воздушной линии 35 кВ, которая осуществляет питание двух силовых трансформаторов ГПП-35/10 системы электроснабжения судоремонтного завода от питающей подстанции энергосистемы.

При этом питание трансформаторов ГПП осуществляется по независимой радиальной схеме с учётом резервирования на стороне 35 кВ.

Расчётный ток нормального режима и максимальный рабочий ток ВЛ-35 кВ:

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

Сечение провода питающей ВЛ-35 кВ, исходя из экономических соображений:

$$F_9 = \frac{96,7}{1,1} = 87,9 \text{ мм}^2.$$

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

Данная линия выполняется двучепной (две отдельные ветви линии расположены на одних опорах).

«Проверка ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме» [4]

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

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

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

Известно, что по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения, чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также назначения линии.

Математически это условие выражается так [12]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов АС для линий 35 кВ находятся на уровне не менее 70 мм² [9].

Проверка предварительного выбранного сечения провода ВЛ-35 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется:

$$95 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

Условия проверок выполняются, следовательно, выбранный провод питающей линии ГПП судоремонтного завода марки АС-95/16 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки, и подходит в качестве провода для питающей линии 35 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции после её реконструкции.

По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, служащие для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ с приведением результатов выбора в форме таблицы 6.

Как было указано ранее, в работе питающая сеть напряжением 10 кВ выполняется силовыми кабелями при прокладке в траншеях.

При этом резервирование линий 10 кВ, отходящих к ТП-10/0,4 кВ, также должны быть учтены при расчёте.

В схеме данное резервирование осуществляется через секционный выключатель в РУ-10 кВ подстанции.

Известно также, что кабельные линии высокого напряжения при скрытой прокладке, в отличие от воздушных линий, не подлежат проверке по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам [12].

В таблице 6 также выбраны кабели 10 кВ для питания высоковольтных электродвигателей (СТД).

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода

Отходящая линия к ТП (СД)	Количество кабелей в линии, шт.	Кр	Марка кабельной линии	$I_{доп}$, А	ΔU , %
Линия к ТП-1	2	1,4	АСБ-10 (LS) 3x95	145,0	1,08
Линия к ТП-2	2	1,4	АСБ-10 (LS) 3x35	75,0	1,27
Линия к ТП-3	2	1,4	АСБ-10 (LS) 3x95	145,0	1,21
Линия к СТД-10 кВ	1	1,4	АСБ-10 (LS) 3x25	55,0	1,73

Выбор кабельных линий для обеспечения питания РП-0,4 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, проводится, исходя из условий перегрева кабеля в максимальном режиме работы, приведённом выше.

Результаты выбора кабельных линий 0,4 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора кабельных линий 0,4 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода

Отходящая линия к РП-0,4 кВ	Условия резервирования в схеме	Марка кабельной линии	$I_{доп}$, А	ΔU , %
Линия к РП-1	да	7шт АВВГ (3x185+1x95)	7x210	2,12
Линия к РП-2	да	7шт АВВГ (3x185+1x95)	7x210	2,12
Линия к РП-3	да	АВВГ (3x70+1x35)	62	3,27
Линия к РП-4	да	12шт АВВГ (3x185+1x95)	12x210	2,16
Линия к РП-5	да	2шт АВВГ(3x95+1x50)	2x140	1,58

Для ТСН и вводов силовых трансформаторов ГПП на стороне 10 кВ сечение провода воздушных линий не используются (для этой цели на подстанции применяется жёсткий шинопровод). Поэтому для данных присоединений выбор проводников линий 10 кВ в работе не проводится.

Все выбранные в работе проводники (воздушная линия 35 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели питающей сети напряжением 10 кВ и питающей сети 0,4 кВ внутреннего электроснабжения) судоремонтного завода, удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки.

Далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов системы электроснабжения судоремонтного завода.

В результате проведения анализа, предложено в исходной схеме заменить следующие устаревшие и ненадёжные электрические аппараты:

- в ОРУ-35 кВ: выключатели высокого напряжения, разъединители, разрядники (на ОПН). Остальные аппараты проверить на работоспособность при технических условиях сети;
- в РУ-10 кВ: все выключатели высокого напряжения (вводные, секционный, линейные). Остальные аппараты проверить на работоспособность при технических условиях сети.

Выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ главной понизительной подстанции 35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, проводится в работе далее согласно принятой методики выбора и проверки [17].

Основные критерии выбора электрических аппаратов состоят в выборе их по номинальным значениям напряжения и тока с последующими проверками по способности выдержать аварийный режим в сети (проверка на термическую и динамическую стойкости токам короткого замыкания).

Результаты расчёта токов короткого замыкания и ударных токов в сети 35 кВ и 10 кВ взяты по исходным данным энергосистемы объекта проектирования.

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

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (23)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (24)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (25)$$

«Проверка на отключение апериодической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (26)$$

где « $\beta_{ном}$ – апериодическая составляющая в отключаемом токе» [12];

« $i_{а.ном}$ – номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость [12]:

– «по условию номинального тока отключения» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}, \quad (27)$$

– «по величине ударного тока» [6,7]:

$$i_y \leq i_{дин}. \quad (28)$$

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (29)$$

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

Результаты выбора и проверки аппаратов для установки в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода после внедрения мероприятий по внесению изменений в исходную схему электрических соединений объекта проектирования, представлены в работе в виде таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки аппаратов для установки в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода после внедрения мероприятий по внесению изменений в исходную схему электрических соединений объекта проектирования

Наименование аппарата	Марка аппарата	Особенности
Аппараты 35 кВ		
Выключатели высокого напряжения	ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	-
Разъединители	РГЗ-2-35/600	с учётом ремонтной перемычки
Ограничители перенапряжения	ОПН-35 УХЛ1	однофазные
Заземлитель нейтрали	ЗОН-350М- У1	в нейтрали Т1 и Т2
Трансформаторы тока	ТРГ-35 У1	
Аппараты 10 кВ		
Выключатель вводной	ВЭ-10-20/630-У2-48	электромагнитный
Выключатель секционный	ВЭ-10-20/630-У2-48	электромагнитный
Выключатель линейный	ВЭ-10-20/630-У2-48	электромагнитный
Трансформаторы тока	ТОЛ-СЭЦ-10-800/5 У3	схема «неполной звезды»
Трансформаторы напряжения	ЗНОЛ.06-10	-
Плавкие предохранители	ПКН 001-10 10	для защиты трансформаторов напряжения
Ограничители перенапряжения	ОПН-10У1	-

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Следовательно, на основании полученных результатов в работе установлено, что в результате проведения проверочных расчётов по выбору электрических аппаратов для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода с целью внедрения изменений первоначальной схеме, все выбранные аппараты отвечают условиям всех требуемых проверок.

Принятые решения подтверждены на основе расчётных результатов и показателей.

2.3 Проектирование системы наружного и внутреннего освещения

Далее в работе проводится проектирование системы наружного и внутреннего освещения системы электроснабжения судоремонтного завода с выбором количества и мощности источников освещения.

При расчёте освещения, учитывается площадь объекта, а также технические данные выбранных источников освещения с учётом поправочных технических коэффициентов.

«Расчёт освещения проводится методом коэффициента использования светового потока» [12]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta_u}, \quad (30)$$

где « E_n - заданная минимальная освещенность, лк» [12];

« K_z – коэффициент запаса ($K_z=1,15$ для светодиодных ламп)» [12];

« S – освещаемая площадь, м²» [12];

« Z – коэффициент неравномерности, равный 1,1 - 1,2» [12];

« N – общее количество светильников, шт» [12];

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

«Индекс помещения» [18]

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}. \quad (31)$$

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света» [7]

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ис} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (32)$$

Проводится расчёт освещения на примере наружного освещения территории судоремонтного завода с учётом площади объекта, а также технических данные выбранных источников освещения с учётом поправочных технических коэффициентов.

Для наружного освещения территории судоремонтного завода, применяется наружное прожекторное освещение.

Далее в работе проводится расчёт наружного освещения судоремонтного завода.

Индекс системы наружного освещения территории судоремонтного завода

$$i = \frac{150 \cdot 270}{5 \cdot (150 + 270)} = 19,3.$$

«Требуемый световой поток светильника» [14]

$$\Phi = \frac{5 \cdot 40500 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{30 \cdot 0,65} = 13136,5 \text{ лм.}$$

Исходя из полученных результатов расчёта, в работе для наружного освещения территории судоремонтного завода предлагается использовать современные светодиодные прожектора типа FREGAT FLOOD LED 110 (60) 5000К со световым потоком 14600 лм [14].

Количество прожекторов наружного освещения – 30 единиц, расположение – равномерно по всему периметру судоремонтного завода, а также на центральной дороге предприятия (между производственными объектами 1-2-4 и 3-5).

Внешний вид и основные элементы данного типа прожектора представлены на рисунке 4.

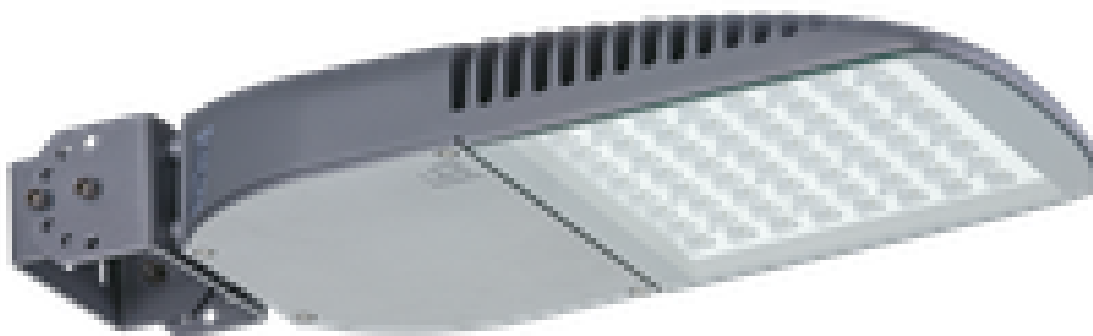


Рисунок 4 – Внешний вид и основные элементы прожектора типа FREGAT FLOOD LED 110 (60) 5000K

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

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного прожектора находится в допустимых пределах (-10÷20%)» [10]

$$\Delta\Phi = \frac{14600 - 13136,5}{13136,5} \cdot 100 = 11,1\%.$$

Аналогично проведён расчёт внутреннего освещения производственных помещений объектов системы электроснабжения судоремонтного завода с учётом внутренних факторов, технических коэффициентов и размеров помещений, а также типов источников света.

Аварийное освещение производственных помещений объектов системы электроснабжения судоремонтного завода выделяется из системы рабочего освещения и принимается 10% от рабочего [1]. Результаты светотехнического расчёта производственных помещений объектов системы электроснабжения судоремонтного завода приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты светотехнического расчёта производственных помещений объектов системы электроснабжения судоремонтного завода

Наименование помещения	$S, м^2$	Тип лампы	$\Phi_{л}, Вт$	$n, шт$
Комплекс ремонта корпусов и трубопроводов	300	АТ-ДО-25	3250	64
Монтажно-механический комплекс	360	АТ-ДО-25	3250	78
Комплекс технического обслуживания производства:	150	АТ-ДО-25	3250	32
Электро-радио-монтажный комплекс	160	АТ-ДО-25	3250	34
Административно-технический корпус	350	АТ-ДО-25	3250	76

Электрическая схема системы наружного освещения территории и внутреннего освещения производственных помещений объектов системы электроснабжения судоремонтного завода, представлены на графическом листе 4.

2.4 Расчёт релейной защиты и автоматики

Далее в работе проводится выбор устройств релейной защиты и автоматики системы электроснабжения судоремонтного завода, а также выбор уставок их срабатывания.

На главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода, в качестве блоков релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) выбираются следующие современные блоки РЗА на микропроцессорной основе, которые лишены недостатков устаревших индукционных реле.

Такие микропроцессорные блоки РЗА способны выполнять тысячи операций в единицу времени, что эквивалентно сотням старых индукционных реле.

Кроме того, такие блоки значительно надёжны и компактны, а также не требуют таких значительных затрат на монтаж, ремонт, наладку и эксплуатацию, как старые реле.

Структура микропроцессорных блоков РЗиА представлена в работе на рисунке 5.

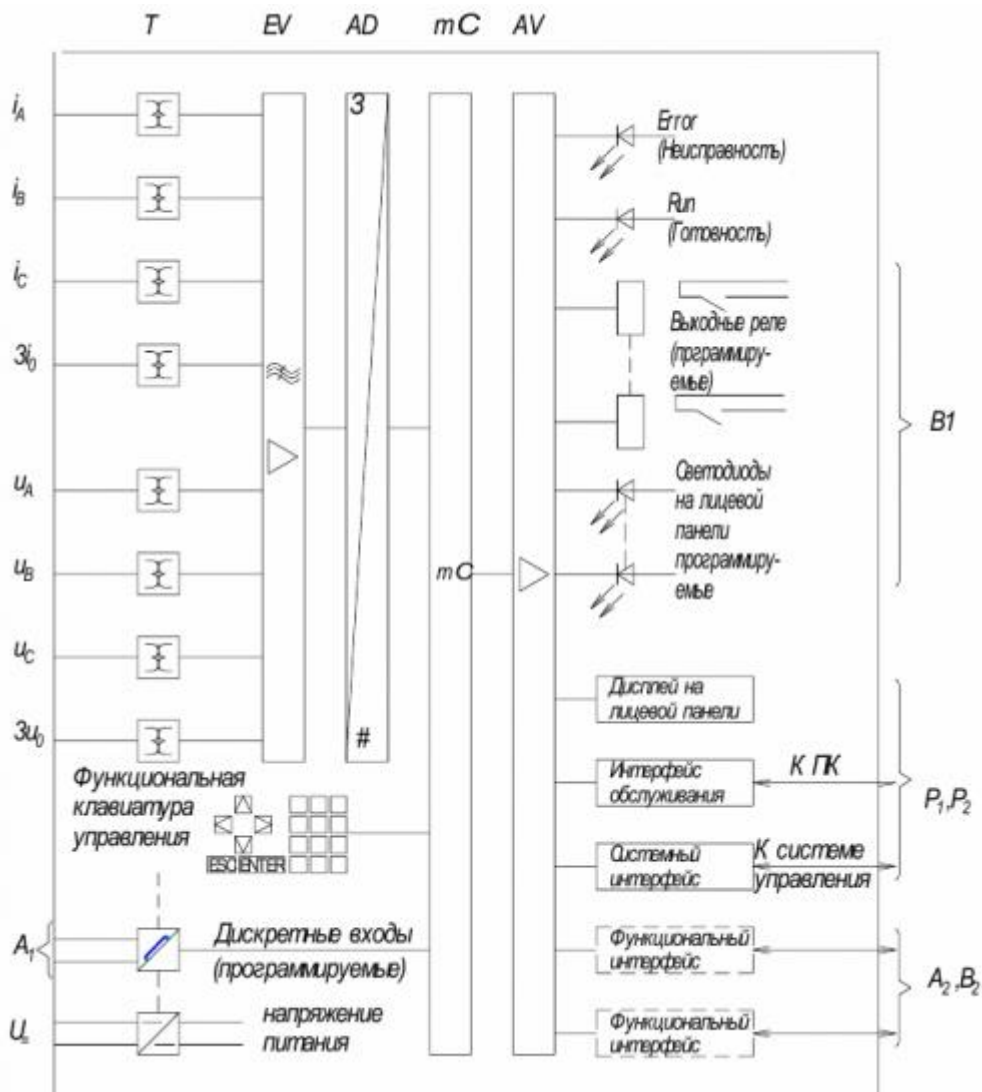


Рисунок 5 – Структура микропроцессорных блоков РЗиА

В работе для установки на подстанции выбираются современные блоки РЗиА типа МП РЗА производства Schneider Electric.

На таких микропроцессорных блоках РЗиА реализуются все основные функции системы, они включают в себя несколько выходов, которые могут быть запрограммированы для различных функций и целей.

Кроме того, такие блоки значительно надёжны и компактны, а также не требуют таких значительных затрат на монтаж, ремонт, наладку и эксплуатацию, как старые реле.

Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки МП РЗА производства Schneider Electric, в которую входят основные релейные защиты трансформаторов, отходящих линий и секционных соединений, которые присутствуют на объекте исследования.

Внешний вид и основной функционал выбранной модификации микропроцессорного блока РЗиА марки МП РЗА производства Schneider Electric представлены на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид и основной функционал выбранной модификации микропроцессорного блока РЗиА марки МП РЗА производства Schneider Electric для применения в системе электроснабжения судоремонтного завода

Далее в работе проводится расчёт уставок релейной защиты и автоматики судоремонтного завода на базе выбранных блоков РЗиА марки МП РЗА производства Schneider Electric.

Известно, что релейная защита и автоматика (далее – РЗиА) устанавливается на выключателях высокого напряжения объекта.

Так как в работе применяются новейшие микропроцессорные блоки, значит, расчёт уставок основных защит должен проводиться по упрощённой

методике, без учёта коэффициентов самозапуска, надёжности и возврата, которые присущи только устаревшим индукционным реле [8].

Известно, что для расчёта уставок РЗА на первом этапе необходимо определить [14]:

- первичный ток измерительных трансформаторов тока (далее – ТТ), при этом вторичный ток ТТ принимается равным 5 А на всех присоединениях схемы;
- коэффициент трансформации ТТ.

Данные параметры определяются, исходя из значения максимальных рабочих токов, рассчитанных в работе ранее (при выборе сечений проводников).

При выборе первичных токов ТТ применяется таблица стандартных токов [18].

Исходя из этого, полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода, приводятся в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода

Наименование линии (присоединения)	$I_{p,max}$, А	$I_{ТТ1}$, А	$I_{ТТ2}$, А	K_T
Питающая ВЛ-35 кВ				
ВЛ-35 кВ-Т1, Т2	231,2	300	5	60
Трансформаторы Т1, Т2 (10000 кВА)				
Сторона 35 кВ	231,2	300	5	60
Сторона 10 кВ	809,3	1000	5	200
Отходящие ВЛ-10 кВ				
ТП-1	202,3	300	5	60
ТП-2	80,9	100	5	20
ТП-3	202,3	300	5	60

Далее в работе, на основании результатов выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на главной понизительной подстанции

ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода, проводится выбор уставок РЗиА всего оборудования.

Расчёт уставок РЗиА на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода, в работе включает:

- расчёт уставок РЗиА линий (питающей линии 35 кВ и отходящих линий 10 кВ);
- расчёт уставок РЗиА силовых трансформаторов (на сторонах 35 кВ и 10 кВ).

В работе применяются следующие виды защит и устройств автоматики для главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода [16]:

- для силовых трансформаторов – максимальная токовая защита (далее – МТЗ), дифференциальная защита (далее – ДЗ), газовая защита (далее – ГЗ), защита от однофазных замыканий на землю (далее – ЗОЗ). При этом ДЗ и ГЗ устанавливаются на стороне 35 кВ, а МТЗ и ЗОЗ – на стороне 10 кВ;
- для отходящих линий 10 кВ – ДЗ, МТЗ, ЗОЗ, АПВ (далее – автоматическое повторное включение);
- для вводов 10 кВ – ДЗ, МТЗ, ЗОЗ;
- для секционного присоединения 10 кВ – ДЗ, МТЗ, ЗОЗ, АВР (далее – автоматическое включение резерва).

Так как в работе применяются новейшие микропроцессорные блоки, значит, расчёт уставок основных защит должен проводиться по упрощённой методике, без учёта коэффициентов самозапуска, надёжности и возврата, которые присущи и характерны только устаревшим индукционным реле, которые в работе не используются [18].

Известно, что ток срабатывания защит от внутренних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального рабочего тока по следующему условию [16]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_M, \quad (33)$$

где K_o – коэффициент отстройки.

Ток срабатывания защит от внешних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального тока КЗ по следующему условию [16]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_K. \quad (34)$$

Для всех защит принимаются различные значения коэффициента отстройки (в зависимости от типа защит и назначения – основная или резервная).

При этом действительный ток срабатывания защит (ток срабатывания релейного микропроцессорного элемента) с учётом коэффициента трансформации ТТ при коэффициенте схемы, равном единице (соединение ТТ и блоков РЗиА в полную и/или неполную звезду) согласно [16]:

$$I_{c.p} \geq \frac{I_{c.з}}{K_m}, \quad (35)$$

где K_m – коэффициент трансформации ТТ.

На ГПП-35/10 кВ МТЗ является основной защитой от внутренних повреждений, поэтому она отстраивается от значения максимального рабочего тока с $K_o = 1,1$ [17].

Селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания [16] (начиная от источника к потребителю).

При этом рекомендуется применять степень селективности с интервалом 0,5 с [12].

Выбор уставок тока и времени срабатывания МТЗ на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода представлен в таблице 11.

Селективность МТЗ обеспечивается со следующими интервалами (от источника питания): 0,5 с – 1 с – 1,5 с.

Таким образом, в работе принимается ступень селективности схемы, равная 0,5 с.

Таблица 11 – Выбор уставок МТЗ на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода

Наименование линии (присоединения)	$I_{p,max}$, А	K_T	$I_{c,z}$, А	$I_{c,p}$, А	$t_{c,z}$, с
Питающая ВЛ-35 кВ					
ВЛ-35 кВ-Т1, Т2	231,2	60	254,31	4,23	0,5
Трансформаторы Т1, Т2 (10000 кВА)					
Сторона 10 кВ	809,3	200	890,23	4,45	1,0
Секционный выключатель	809,3	200	890,23	4,45	1,0
Отходящие ВЛ-10 кВ					
ТП-1	202,3	60	222,53	3,71	1,5
ТП-2	80,9	20	88,99	4,45	1,5
ТП-3	202,3	60	222,53	3,71	1,5
СТД1-4	28,3	6	36,8	6,1	1,5

Далее проводится выбор токов срабатывания ДЗ схемы.

ДЗ является основной защитой от внешних повреждений, поэтому отстраивается от максимального тока КЗ с $K_o = 1,3$.

ДЗ выполняется без выдержки времени.

Селективность ДЗ обеспечивается подбором тока срабатывания (мгновенная защита).

Выбор уставок тока и времени срабатывания ДЗ представлен в таблице 12.

В таблице 12 для секционного соединения 10 кВ принят максимальный ток КЗ схемы, исходя из различных значений за трансформаторами в сети 10 кВ. Токи КЗ в сети 35 кВ и сети 10 кВ приняты в работе по данным энергосистемы.

Таблица 12 – Выбор уставок ДЗ главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ судоремонтного завода

Наименование линии (присоединения)	I_k , кА	K_T	$I_{c.з.}$, кА	$I_{c.p.}$, кА
Питающая ВЛ-35 кВ				
ВЛ-35 кВ-Т1, Т2	1,24	10	1,61	0,16
Трансформаторы Т1, Т2 (6300 кВА)				
Страна 35 кВ	1,24	80	1,61	0,02
Секционный выключатель 10 кВ	4,62	80	6,00	0,02
Отходящие ВЛ-10 кВ				
ТП-1	4,62	20	6,00	0,30
ТП-2	4,62	20	6,00	0,30
ТП-3	4,62	20	6,00	0,30

ЗОЗ является основной защитой от однофазных замыканий на землю. Учитывая требования [10], принимается в работе для ЗОЗ спроектированной системы электроснабжения судоремонтного завода:

- для ЗОЗ трансформаторов ГПП-35/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ: $I_{c.з.} = 100$ А, $t_{c.з.} = 1$ с;
- для ЗОЗ всех линий 35 кВ и 10 кВ: $I_{c.з.} = 5$ А, $t_{c.з.} = 0$ с (без выдержки времени).

Для устройств автоматики принимаются следующие уставки времени срабатывания согласно рекомендациям [10]: для АВР на секционном присоединении 10 кВ принимается время срабатывания пускового устройства $t_{c.з.} = 2$ с.

Устройство АПВ на отходящих линиях 10 кВ не используется, так как в работе все отходящие линии выполнены кабельными, в которых данное устройство автоматики не применяется.

Для АПВ на питающей воздушной линии 35 кВ, принимается время срабатывания пускового устройства $t_{c.з.} = 1$ с.

Выбранные уставки РЗиА главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода соответствуют всем требованиям нормативных документов для обеспечения качественной и быстрой защиты оборудования.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, осуществлено проектирование системы электроснабжения судоремонтного завода.

Внесены изменения в исходную схему электроснабжения судоремонтного завода, предусматривающие внедрение следующих мероприятий по таким направлениям:

- в схеме ОРУ-35 кВ: применена схема с резервированием ремонтной перемычкой [18]. В схеме выбраны и установлены дополнительные электрические аппараты в ремонтной перемычке 35 кВ
- в схеме РУ-10 кВ: применён отдельный режим работы секции сборных шин 10 кВ. Установлена система АВР на секционном выключателе РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Обеспечена комплексная наладка и согласование работы системы резервирования, при которой при исчезновении напряжения на одной из секций сборных шин 10 кВ, автоматически включается секционный выключатель системой АВР;
- электрические аппараты ОРУ-35 кВ: с целью обеспечения надёжности и безотказности работы схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно, проведена замена следующих устаревших и ненадёжных электрических аппаратов: выключатели высокого напряжения, разъединители, разрядники (на ОПН). Остальные аппараты проверены на работоспособность при технических условиях сети;
- электрические аппараты ОРУ-35 кВ: с целью обеспечения надёжности и безотказности работы схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно, проведена замена следующих устаревших и ненадёжных выключателей высокого напряжения (вводных, секционных, линейных). Остальные аппараты проверены на работоспособность при технических условиях сети.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач (с приведением основных результатов):

- на питающей ГПП предприятия выбраны два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35;
- для питания потребителей предприятия в работе выбрано три цеховых ТП-10/0,4 кВ, на которых принята установка двух силовых трансформаторов марок ТМ-1000/10 (ТП-2) и ТМ-2500/10 (ТП-1 и ТП-3);
- для питания ГПП от энергосистемы, выбрана и проверена питающая воздушная линия электропередачи, с применением провода напряжением 35 кВ марки АС-95/16;
- для питания ТП-10/0,4 кВ, а также высоковольтных двигателей, от ГПП предприятия выбраны кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10 различных сечений;
- для питания сети 0,38/0,22 кВ выбраны кабели марки АВВГ;
- для защиты и коммутации сети 35 кВ и 10 кВ выбраны и проверены электрические аппараты для установки в ячейках РУ-10 кВ и на ОРУ-35 кВ на питающей ГПП-35/10 кВ предприятия, обеспечивающем питание понизительных трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, а также непосредственно на самой подстанции;
- для системы внешнего и внутреннего освещения судоремонтного завода выбраны современные источники света;
- для релейной защиты и автоматики выбран блок МП РЗА производства Schneider Electric, в которую входят основные релейные защиты трансформаторов, отходящих линий и секционных соединений, присутствующие на объекте исследования, с последующим выбором основных уставок основных релейных защит и автоматики данных блоков.

3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1 Расчёт молниезащиты главной понизительной подстанции

Далее в работе проводится расчёт молниезащиты главной понизительной подстанции системы электроснабжения судоремонтного завода.

«Для молниезащиты ГПП-35/6 кВ судоремонтного завода принимается четыре стержневых молниеотвода, установленные по периметру понизительной подстанции» [11].

«Определяется радиус защиты на уровне 8,5 м» [11]:

$$r_x = a + y, \quad (36)$$

где « $y=1 \dots 2$ м» [16].

$$r_x = 29,8 + 2 = 31,8 \text{ м.}$$

«Высота молниеотвода» [11]:

$$h = \frac{r_x}{1,5} + \frac{h_0}{0,92}, \text{ м.} \quad (37)$$

$$h = \frac{31,8}{1,5} + \frac{8,5}{0,92} = 30,4 \text{ м.}$$

«Активная высота молниеотвода» [11]:

$$h_a = 0,92 \cdot h, \text{ м.} \quad (38)$$

$$h_a = 0,92 \cdot 30,4 = 27,96 \text{ м.}$$

«Радиус зоны защиты на уровне земли» [11]:

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \text{ м.} \quad (39)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 30,4 = 45,6 \text{ м.}$$

На основе полученных результатов установлено, что спроектированная в работе система молниезащиты ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, отвечает всем требуемым нормам документов отрасли, следовательно, она может быть применена на данном объекте.

«Высота молниеотводов в вертикальной плоскости, а также схема расположения и зона защиты молниеотводов в горизонтальной плоскости на ГПП-35/6 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, приведены на графическом листе 6» [11].

3.2 Обеспечение безопасности персонала

Обеспечение безопасности персонала при выполнении работ в системе электроснабжения судоремонтного завода является приоритетной задачей, решать которую должны как руководители высшего звена (директор и его заместители, а также главные инженер, энергетик и механик), так и руководители среднего звена, к которым относятся начальники и мастера смен и участков [9].

Мероприятия, которые должны проводиться для обеспечения безопасности персонала при выполнении работ в системе электроснабжения судоремонтного завода, сводятся к организационным и техническим.

Организационные мероприятия предусматривают проведение инструктажей по технике безопасности (вводного, на рабочем месте и специальных), назначение и распределение должностных обязанностей и лиц, ответственных за безопасность проведения работ в электроустановках, выполнение оперативного надзора и организацию охраны труда на предприятиях, составление и внедрение должностных инструкций и

документов по безопасности проведения работ, ответственность за нарушения и поощрения в случаях выполнения указаний.

Технические мероприятия по безопасному выполнению работ предусматривают множество соответствующих мероприятий, целью которых является совершенствование и предупреждение аварийных ситуаций техническим путём.

К техническим мероприятиям относятся: заземление всех металлических конструкций электроустановок, электрических машин, воздушных и кабельных линий, установка переносного контура заземления при непосредственном выполнении работ, вывешивание предупреждающих плакатов по технике безопасности, оперативные переключения в электроустановках, ограждение рабочего места и прочие мероприятия, направленные на техническое ограничение аварийных ситуаций в электроустановках.

Известно, что все инструменты, которые используются при выполнении электромонтажных работ и работ по ремонту и обслуживанию электроустановок, должны быть поверены в электротехнической лаборатории. Просроченные инструменты и оборудование категорически не допускается к применению обслуживающим персоналом системы электроснабжения судоремонтного завода.

Все электроустановки должны быть оборудованы средствами обеспечения защиты персонала [9].

К таким средствам относятся:

- устройства релейной защиты (особенно, защита от коротких замыканий на землю);
- защитная автоматика;
- защитная сигнализация;
- телемеханика и видеонаблюдение;
- защитное заземление (включая переносное);
- защитное зануление (в сети 0,38/0,22 кВ);

- защитное отключение (на аппаратах);
- система блокировок различных уровней и видов.

Все перечисленные мероприятия должны применяться для обеспечения безопасности обслуживающего персонала в системе электроснабжения судоремонтного завода.

3.3 Экономический анализ проекта

Известно, что экономические показатели разработанных систем электроснабжения, в совокупности с надёжностью, являются важным критерием при принятии решений [15].

Поэтому в работе необходимо провести расчёт основных экономических показателей проекта, предварительно выполнив расчёт капитальных вложений в разработанную систему электроснабжения судоремонтного завода с целью оценки расходов и затрат.

Исходными данными для проведения экономического расчёта являются принятые основные решения в системе электроснабжения судоремонтного завода, приведённые в работе:

- на питающей ГПП предприятия выбраны два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35;
- для питания потребителей предприятия в работе выбрано три цеховых ТП-10/0,4 кВ, на которых принята установка двух силовых трансформаторов марок ТМ-1000/10 (ТП-2) и ТМ-2500/10 (ТП-1 и ТП-3);
- для питания ГПП от энергосистемы, выбрана и проверена питающая воздушная линия электропередачи, с применением провода напряжением 35 кВ марки АС-95/16;
- для питания ТП-10/0,4 кВ, а также высоковольтных двигателей, от ГПП предприятия выбраны кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10 различных сечений;

- для питания сети 0,38/0,22 кВ выбраны кабели марки АВВГ;
- для защиты и коммутации сети 35 кВ и 10 кВ выбраны и проверены электрические аппараты для установки в ячейках РУ-10 кВ и на ОРУ-35 кВ на питающей ГПП-35/10 кВ предприятия, обеспечивающем питание понизительных трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, а также непосредственно на самой подстанции;
- для релейной защиты и автоматики выбран блок МП РЗА производства Schneider Electric, в которую входят основные релейные защиты трансформаторов, отходящих линий и секционных соединений, присутствующие на объекте исследования.

Перечисленное оборудование разработанной системы электроснабжения судоремонтного завода используется в работе далее для расчёта экономических показателей проекта.

Экономические расчёты в работе проводятся по укрупнённым экономическим показателям.

Исходя из принятых решений в работе, капитальные вложения в систему электроснабжения судоремонтного завода, с учётом систематизации оборудования по его назначению, типу и расположению, определяются [15]:

$$K = K_{ТП} + K_C + K_A, \quad (40)$$

где $K_{ТП}$ – капиталовложения в трансформаторные подстанции, включая питающую ГПП и цеховые ТП-10/0,4 кВ (с учётом трансформаторов и шкафов РУ-10 кВ);

K_C – капиталовложения в электрические сети (включая выбранные кабельные линии номинальным напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ, а также питающую ВЛ-35 кВ);

K_A – капиталовложения в электрические аппараты 35 кВ и 10 кВ (включая распределительные шкафы и ячейки, а также АСКУЭ).

Капиталовложения в питающую ГПП и цеховые ТП-10/0,4 кВ, на каждой из которых расположены по два силовых трансформатора, системы электроснабжения судоремонтного завода определяются [15]:

$$K_{ТП} = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (41)$$

где n - количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн.}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

H_p - накладные расходы, тыс. руб.

Результаты расчёта стоимости оборудования питающей ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения судоремонтного завода, с учётом выбранных в работе силовых трансформаторов, а также шкафов РУ-10 кВ, сведены в таблицу 13.

Электрические аппараты на питающей ГПП-35/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения судоремонтного завода, будут учтены в работе далее.

Экономический расчёт в работе проводится по укрупнённым экономическим показателям.

Таблица 13 – Результаты расчета стоимости оборудования подстанций в системе электроснабжения судоремонтного завода

Тип электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Силовой трансформатор ТМН-10000/35	2	750,0	1500,0
Силовой трансформатор ТМ-1000/10	4	500,0	2000,0
Силовой трансформатор ТМ-1000/10	2	350,0	700,0
Шкаф РУ-10 кВ (без оборудования)	15	60,0	900,0
Итого	23	-	5100

Капиталовложения в питающую ГПП и цеховые ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода

$$K_{ТП} = 5100 + 0,3 \cdot 5100 + 0,1 \cdot 5100 = 7140 \text{ тыс.руб.}$$

Далее в работе необходимо рассчитать стоимость и суммарные капиталовложения в электрические сети системы электроснабжения судоремонтного завода. Электрические сети проектируемого объекта напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ в работе выполняются с помощью силовых кабелей, а питающая воздушная линия 35 кВ – проводом марки АС-95/16.

Капиталовложения в электрические сети судоремонтного завода определяются так [15]

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_n + H_p, \quad (42)$$

где l_C - длина сети (соответствующих линий), км;

C_C - стоимость 1 км сети (соответствующих линий), тыс. руб.

Результаты расчета стоимости электрических сетей системы электроснабжения сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты расчета стоимости электрических сетей

Марка кабеля	Кол-во, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Сеть 35 кВ			
АС-95/16	5,0	180,0	900,0
Сеть 10 кВ			
АСБ 3×25	0,2	350,0	70,0
АСБ 3×35	0,2	420,0	84,0
АСБ 3×95	0,5	550,0	275,0
Сеть 0,38/0,22 кВ			
АВВГ 3×70+1×35	0,4	416,0	166,4
АВВГ 3×95+1×50	0,5	512,0	256,0
АВВГ 3×185+1×95	1,0	720,0	720,0
Итого	7,8	-	2471,4

Капиталовложения в электрические сети в системе электроснабжения судоремонтного завода:

$$K_C = 2471,4 + 0,3 \cdot 2471,4 + 0,1 \cdot 2471,4 \approx 3460 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические аппараты (включая распределительные шкафы и ячейки, а также блок РЗиА) судоремонтного завода [15]

$$K_A = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (43)$$

где n - количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

H_p - накладные расходы, тыс. руб.

Результаты расчета стоимости электрических аппаратов завода по укрупнённым экономическим показателям сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты расчета стоимости электрических аппаратов

Марка оборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Разъединитель РГЗ-2-35/600 (линейные и ремонтные)	6	100,0	600,0
Ограничители перенапряжения ОПН-35 УХЛ1	6	60,0	360,0
Выключатель высокого напряжения ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока	2	500,0	1000,0
Трансформатор тока ТРГ-35 У1	2	150,0	300,0
Выключатель высокого напряжения ВЭ-10-20/630-У2-48	15	300,0	4500,0
Трансформатор тока ТОЛ-СЭЦ-10-800/5 У3	30	40,0	1200,0
Трансформатор напряжения ЗНОЛ.06-10	2	80,0	160,0
МП РЗА Schneider Electric (комплект)	1	150,0	150,0
Итого	62	-	8270,0

С учётом стоимости выбранных аппаратов, капиталовложения в электрические аппараты определяются как алгебраическая сумма рассчитанных составляющих:

$$K_A = 8270 + 0,3 \cdot 8270 + 0,1 \cdot 8270 = 11578,0 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы общих капитальных вложений (суммарных капиталовложений) в систему электроснабжения судоремонтного завода

$$K = 7140 + 3460 + 11578 = 22178 \text{ тыс.руб.}$$

С учётом рассчитанной величины суммарных капиталовложений в систему электроснабжения судоремонтного завода, далее в работе проводится определение сметной стоимости данного проекта по укрупнённым экономическим показателям.

В состав сметной стоимости предложенного проекта системы электроснабжения судоремонтного завода входят суммарные капиталовложения, рассчитанных ранее, и суммарные эксплуатационные издержки (затраты), расчёт которых проводится в работе далее.

В общем виде расчетная формула эксплуатационных издержек (затрат) для системы электроснабжения судоремонтного завода по укрупнённым экономическим показателям [15]:

$$\text{ЭЗ} = \text{ЗП} + \text{СВ} + A_o + P_{\text{ТО}} + \text{Пр}, \quad (44)$$

где ЗП – заработная плата, тыс. руб.;

СВ – страховые взносы, тыс. руб.;

A – амортизационные отчисления, тыс. руб.;

P – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.

Далее в работе определяются все составляющие выражения (64) по укрупнённым экономическим показателям. Заработная плата за год [15]

$$ЗП = M_0 \cdot N \cdot K_{дон} \cdot T, \quad (45)$$

где $M_0 = 39,431$ тыс. руб. – средний месячный оклад по предприятию по состоянию на 2022 г.;

$N = 5$ – количество оперативно – технических работников;

$K_{дон} = 1,5$ – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда;

$T = 12$ – число месяцев в году.

$$ЗП = 39,431 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 3548,8 \text{ тыс.руб.}$$

Страховые взносы составляют 30,9% от ЗП [15]

$$СВ = 0,309 \cdot ЗП, \quad (46)$$

$$СВ = 0,309 \cdot 3548,79 = 1096,6 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые амортизационные отчисления на разработанную систему электроснабжения судоремонтного завода, по укрупнённым экономическим показателям, определяются, исходя из величины капитальных вложений [21]:

$$A_o = K \cdot \frac{a}{100}, \quad (47)$$

где a - годовая норма амортизационных отчислений, %. Принимается в работе норма амортизации 10% [21].

$$A_o = 22178 \cdot 0,1 = 2217 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание, с учётом того, что всё оборудование новое [21]

$$P_{TO} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (48)$$

где r - годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования и сетей, % [21].

$$P_{TO} = 22178 \cdot 0,05 \approx 1109 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие расходы [15]

$$Pr = 0,01 \cdot \sum K, \quad (49)$$

$$Pr = 22178 \cdot 0,01 \approx 221,8 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные издержки

$$\text{ЭЗ} = 3548,8 + 1096,6 + 2217 + 1109 + 221,8 = 8193,2 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарная стоимость проекта системы электроснабжения судоремонтного завода учитывает капиталовложения и суммарные годовые эксплуатационные издержки:

$$C = K + \text{ЭЗ}. \quad (50)$$

По условию (50):

$$C = 22178 + 8193,2 = 30371,2 \text{ тыс.руб.}$$

В работе полученные результаты расчёта основных экономических показателей спроектированной системы электроснабжения судоремонтного завода представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Сводная таблица технико-экономических показателей спроектированной системы электроснабжения судоремонтного завода

Статья затрат	Единица измерения	Числовой показатель статьи затрат
Капиталовложения в подстанции	тыс. руб.	7140,0
Капиталовложения в электрические сети	тыс. руб.	3460,0
Капиталовложения в электрические аппараты	тыс. руб.	11578,0
Суммарные капитальные вложения	тыс. руб.	22178,0
Заработная плата	тыс. руб.	3548,8
Страховые взносы	тыс. руб.	1096,6
Годовые амортизационные отчисления	тыс. руб.	2217,0
Годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание	тыс. руб.	1109,0
Прочие расходы	тыс. руб.	221,8
Суммарная величина эксплуатационных издержек	тыс. руб.	8193,2
Суммарная стоимость проекта	тыс. руб.	30371,2

Полученные результаты технико-экономических показателей спроектированной системы электроснабжения судоремонтного завода должны быть учтены при практической реализации данного проекта.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела, разработана система молниезащиты ГПП завода. На основе полученных результатов установлено, что спроектированная в работе система молниезащиты ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода, отвечает всем требуемым нормам документов отрасли, следовательно, она может быть применена на данном объекте.

Рассмотрены основные мероприятия по обеспечению электробезопасности персонала при выполнении работ.

Рассчитаны экономические показатели проекта.

Заключение

В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения судоремонтного завода, осуществляемая путём внесения предложений по изменению исходной схемы электроснабжения объекта.

Приведён исходный анализ существующей схемы электроснабжения судоремонтного завода, с учётом источников питания, технических характеристик основных потребителей объекта проектирования. Детально рассмотрен источник питания системы электроснабжения судоремонтного завода, в качестве которого выступает ГПП-35/10 кВ. Рассмотрена и детально описана система электроснабжения объекта реконструкции с анализом исходных данных и систематизации их по производственному назначению с учётом категоричности по надёжности электроснабжения. На основе требований нормативных документов, с учётом проведённого анализа и систематизации проблемных узлов и вопросов, требующих решений, в системе электроснабжения судоремонтного завода, проведён анализ проблем и обоснованы необходимые практические мероприятия по качественному преобразованию исходной схемы электроснабжения объекта. С учётом перечня проблем и путей их решения для проведения реконструкции системы электроснабжения судоремонтного завода, составлена уточнённая структурная схема понижающей подстанции ГПП-35/10 кВ объекта проектирования, которая в полной мере соответствует требованиям по обеспечению надёжности схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности.

Осуществлён расчёт электрических нагрузок в системе электроснабжения судоремонтного завода, включающей индивидуальный расчёт силовой, осветительной и суммарной нагрузок всех объектов и подразделений, а также указанных видов нагрузки всей системы электроснабжения объекта исследования. Для этого составлена уточнённая структурная схема понижающей подстанции ГПП-35/10 кВ объекта

проектирования, которая в полной мере соответствует требованиям по обеспечению надёжности схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности. Внесены изменения в исходную схему электроснабжения судоремонтного завода, предусматривающие внедрение следующих мероприятий по таким направлениям:

- в схеме ОРУ-35 кВ: применена схема с резервированием ремонтной перемычкой [18]. В схеме выбраны и установлены дополнительные электрические аппараты в ремонтной перемычке 35 кВ
- в схеме РУ-10 кВ: применён отдельный режим работы секции сборных шин 10 кВ, установлена система АВР на секционном выключателе РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, обеспечена комплексная наладка и согласование работы системы резервирования, при которой при исчезновении напряжения на одной из секций сборных шин 10 кВ, автоматически включается секционный выключатель системой АВР;
- электрические аппараты ОРУ-35 кВ: с целью обеспечения надёжности и безотказности работы схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно, проведена замена следующих устаревших и ненадёжных электрических аппаратов: выключатели высокого напряжения, разъединители, разрядники (на ОПН), остальные аппараты проверены на работоспособность;
- электрические аппараты ОРУ-35 кВ: с целью обеспечения надёжности и безотказности работы схемы для обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности согласно, проведена замена следующих устаревших и ненадёжных выключателей высокого напряжения (вводных, секционных, линейных), остальные аппараты проверены на работоспособность при технических условиях сети.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач (с полученными результатами):

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения объекта исследования в целом с учётом внесения изменений в исходную схему электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ (два трансформатора ТМН-10000/35) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (три ТП с двумя трансформаторами марки ТМ-10/0,4 кВ разных типонаминалов) с учётом предложенных изменений, внесённых в исходную схему электрических соединений системы электроснабжения судоремонтного завода;
- выбор и проверка сечения проводников системы электроснабжения судоремонтного завода, для воздушной линии 35 кВ выбран провод марки АС-95/16, для питающей сети 10 кВ всех ТП-10/0,4 кВ и АД-10 кВ – кабели высокого напряжения современного инновационного типа марки АСБ-10 (LS) различных сечений;
- выбор и проверка электрических аппаратов для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения судоремонтного завода, в работе были установлены все современные марки оборудования;
- расчёт системы внешнего и внутреннего освещения судоремонтного завода;
- выбор современных блоков РЗиА микропроцессорного типа. Для применения на ГПП-35/10 кВ выбрана модификация блока РЗиА марки МП РЗА производства Schneider Electric, в которую входят основные релейные защиты трансформаторов, отходящих линий и секционных соединений, присутствующие на объекте исследования;
- расчёт молниезащиты ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения судоремонтного завода
- расчёт экономических показателей проекта.

Система электроснабжения объекта отвечает всем требованиям документов, следовательно, основная задача работы достигнута.

Список используемых источников

1. Арутюнян А.А. Основы энергосбережения. Методы расчета и анализа потерь электроэнергии, энергетическое обследование и энергоаудит, способы учета и снижения потерь, экономический эффект. М: Энергосервис, 2020. 621 с.
2. Будзко И.А., Зуль Н. М. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: Агропромиздат, 2018. 496 с.
3. Булатов И. С. Энергосбережение в промышленности. М.: Мир, 2020. 148 с.
4. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М.: Колос, 2018. 263 с.
5. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена 6-35 кВ. [Электронный ресурс]: URL: https://bystrokabel.ru/item/kabeli_silovye_s_izolyatsiey_iz_sshitogo_polietilena_6-35_kv (дата обращения: 21.09.2022).
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
7. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
8. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонadzор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
12. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2019. 288 с.

13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.

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

15. Светодиодные прожекторы. FREGAT FLOOD LED [Электронный ресурс]: URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/outdoor-luminaires/floodlights/fregat-flood-led/> (дата обращения: 21.09.2022).

16. Свидерская О. В. Основы энергосбережения. М.: ТетраСистемс, 2019. 176 с.

17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 254 с.

18. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина. М.: Энергоатомиздат, 2019. 576 с.

19. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 20.09.2022).

20. Функциональная и структурная схемы микропроцессорного устройства релейной защиты и автоматики (МП РЗА). [Электронный ресурс]: URL: <http://electricalschool.info/relay/2182-funkcionalnaya-i-strukturnaya-shemy-mp-rza.html> (дата обращения: 21.09.2022).