

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение рыбоперерабатывающего предприятия

Студент

А.С.Иванов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Целью данной работы является разработка проекта электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», являющегося объектом исследования в работе.

Предметом исследования являются схема электрических соединений, электрические сети и аппараты, а также технологическое оборудование системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

- анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»;

- непосредственная разработка проекта системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»;

- анализ и разработка мероприятий по охране труда, а также мероприятий по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения работы необходимо осуществить комплексную разработку проекта электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Методы исследования: анализ нормативной технической документации, анализ литературных источников, методы расчёта и проектирования электрических сетей.

Представленная работа состоит из 65 страниц машинописного текста, а также шести чертежей графической части.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Общая характеристика предприятия	6
1.2 Характеристика технологического процесса, оборудования и источников питания предприятия	7
2 Разработка системы электроснабжения предприятия.....	12
2.1 Выбор схемы электроснабжения предприятия	12
2.2 Выбор и проверка оборудования	14
2.3 Расчёт электрических нагрузок.....	18
2.4 Выбор количества и мощности трансформаторов трансформаторной подстанции	26
2.5 Выбор компенсирующих устройств.....	28
2.5 Выбор и проверка сечения проводников	31
2.7 Расчёт токов короткого замыкания	35
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов.....	41
2.9 Разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия.....	47
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	51
3.1 Анализ опасных и вредных факторов	51
3.2 Обеспечение безопасности жизнедеятельности.....	52
3.3 Обеспечение экологической безопасности.....	58
3.4 Расчёт контура заземления ТП предприятия.....	60
Заключение	63
Список используемых источников.....	64

Введение

Одним из главных направлений развития предприятий современного рыбоперерабатывающего комплекса является концентрация и специализация производства, широкое внедрение современных методов производства, а также результатов научно-технического прогресса и мирового опыта.

В настоящее время в рыбоперерабатывающем комплексе все производственные процессы электрифицированы, так как активно внедряются и повсеместно используются прогрессивные технологии и современные машины и новейшие автоматизированные комплексы, работа которых организована по поточным линиям.

На современном этапе развитие предприятий рыбоперерабатывающего комплекса страны непосредственно направлена на конечный результат – получение большего количества готовой продукции высокого качества с минимальными затратами и потерями.

Правильная организация производственного цикла, а также оптимизация систем электроснабжения, реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования, является одним из способов повышения рентабельности рыбоперерабатывающего комплекса и всей отрасли в целом. Перечисленные аспекты обуславливают актуальность данной работы.

Целью данной работы является разработка проекта электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», являющегося объектом исследования в работе.

Предметом исследования являются схема электрических соединений, электрические сети и аппараты, а также технологическое оборудование системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Структура работы представлена расчётно-пояснительной запиской,

состоящей из трёх основных глав, а также графической частью, в которой представлены шесть графических листов формата А1.

Для реализации цели работы, в работе проведено решение следующих основных задач:

- анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»;

- непосредственная разработка проекта системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»;

- анализ и разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в проектируемой системе электроснабжения предприятия с предварительным анализом опасных и вредных факторов, а также мероприятий по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения работы необходимо осуществить комплексную разработку проекта электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Работа выполняется с использованием требований, норм и основных положений рекомендованной технической литературы и документов с использованием типовых проектов.

В качестве исходных данных используется реальное оборудование, установленное в производственных цехах на рыбоперерабатывающем предприятии ООО «Кинтизьма».

1 Анализ исходных данных

1.1 Общая характеристика предприятия

Рассматриваемое в работе рыбоперерабатывающее предприятие ООО «Кинтизьма» находится по юридическому адресу: Российская Федерация, Республика Карелия, город Петрозаводск, улица Заводская, дом 18 (производственные мощности). Офис организации расположен в городе Петрозаводске на улице Балтийской, 21.

Генеральный директор ООО «Кинтизьма» – Ананич Владимир Александрович, занимает этот пост со времени организации предприятия (июль 2005 года).

Уставной капитал ООО «Кинтизьма» составляет 12 млн. руб. Численность персонала, занятого на производстве рыбопродуктов составляет 28 человек.

Рассматриваемое в работе ООО «Кинтизьма» принадлежит Холдингу «Agravis» (Германия).

Предприятие ООО «Кинтизьма» специализируется на переработке рыбы и морепродуктов.

Кроме того, на балансе предприятия ООО «Кинтизьма» есть несколько водоёмов (водохранилищ), в которых выращивается и разводится рыба.

Приоритет в этом направлении отдаётся радужной форели как наиболее ценной породе рыб, которая неплохо зарекомендовала себя для выращивания в условиях искусственных водоёмов.

Мощность собственного форелевого хозяйства на предприятии ООО «Кинтизьма» составляет 700 тонн форели в год (местонахождение: Республика Карелия, Калевальский район, д. Юшкозеро). Для сравнения, в 2018 году выращено 200 тонн товарной форели, в 2019 – 380 т, а в 2020 – около 500 тонн.

Финансовая отчетность ООО «Кинтизьма» за 2016 – 2020 гг. представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Финансовая отчетность ООО «Кинтизьма» за 2016 – 2020 гг.

Показатель	Данные за год, тыс. руб.				
	2016	2017	2018	2019	2020
Основные средства	35485	42405	81805	90230	91525
Внеоборотные активы	38640	46215	85495	93875	95615
Оборотные активы	216260	160240	110930	81980	99095
Всего активов	311875	254115	196425	158190	137730
Капитал и резервы	14400	24150	28320	34845	99620
Долгосрочные обязательства	35665	39845	79895	83175	73430
Валовая прибыль	27860	38660	39560	22250	94945
Прибыль от продаж	12740	19585	29975	30015	83810

Из результатов и данных таблицы 1 можно сделать вывод, что рассматриваемое в работе рыбоперерабатывающее предприятие ООО «Кинтизьма» является современным, прибыльным и доходным предприятием с высокими показателями ликвидности, следовательно, применение нового современного оборудования, обладающего высокими технико-экономическими характеристиками, на данном предприятии оправдано.

1.2 Характеристика технологического процесса, оборудования и источников питания предприятия

Проектируемое предприятие ООО «Кинтизьма» специализируется на переработке рыбы и морепродуктов.

Весь технологический процесс сосредоточен в одном большом помещении, которое разделено на соответствующие участки.

При таком расположении необходимость в промежуточном замораживании сокращается до минимума, что значительно ускоряет технологический процесс, а также приводит к значительной экономии энергоносителей и удешевляет производимую продукцию.

Рыбоперерабатывающее предприятие ООО «Кинтизьма» представляет собой строение, собранное из металлических железобетонных сборных панелей.

Соединения между полом и стенами должны быть водонепроницаемы и легкодоступны для очистки и дезинфекции с заведением гидроизоляционного ковра на 300 мм.

Потолки должны быть спроектированы и выполнены таким образом, чтобы исключить накопление грязи, конденсата и легко очищаться.

В зданиях с выступающими на потолке элементами (балками, трубами и т.д.) установлен подвесной потолок.

Во избежание конденсации влаги на трубопроводах, температура поверхности которых ниже температуры помещения, должна предусматриваться их тепловая изоляция.

Освещение – естественное и искусственное. Площадь окон в основных производственных помещениях должна составлять не менее 30% от площади пола.

Все производственные помещения должны быть оборудованы бактерицидными лампами.

Вентиляционные каналы рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» размещаются за подвесным потолком (отдельно приток с электроподогревом воздуха и вытяжка), что обеспечивает высокую эффективность работы, а также комфорт обслуживающего и рабочего персонала.

Мощность вентиляции составляет 2х5 кВт (два вентилятора по 5 кВт каждый).

Управление вентиляцией ООО «Кинтизьма» размещается вблизи центрального входа.

Система отопления в производственных помещениях должна быть водяная при температуре теплоносителя 150 °С, или паровая (130°С) с местными нагревательными приборами.

Установка обогрева располагается в служебном помещении.

В производственных помещениях должна быть предусмотрена автоматическая регулировка температуры воздуха в зависимости от внешних метеорологических условий.

Температура воздуха, регулируемая по зонам:

- 1 зона подготовки сырья: не выше +10 °С;
- 2 зона готовой продукции и упаковки: не выше +15 °С.

На предприятии ООО «Кинтизьма» технологический процесс проходит несколько основных циклов:

- 1 цикл – очистка морепродуктов;
- 2 цикл – филейная разделка рыбы и морепродуктов;
- 3 цикл – упаковка рыбы и морепродуктов;
- 3 цикл – заморозка и хранение готовой продукции.

В зависимости от технологического процесса, на предприятии ООО «Кинтизьма» есть следующие участки:

- приёмный участок;
- участок обработки.

На начальном этапе свежая рыба с порта поставляется на приёмный участок предприятия, где происходит её взвешивание, предварительная очистка от грязи, очистка от чешуи, мойка и последующая глубокая заморозка.

Для данного процесса применяется две линии очистки рыбы и морепродуктов, а также две компрессорно-холодильные установки.

Для ускорения технологического процесса в случае значительного увеличения объёма работ, применяется также установка шоковой заморозки «фризер».

Далее рыба и морепродукты поступают на участок обработки, в котором производится их размораживание, глазирование, филейная разделка, ополаскивание и упаковка.

Весь данный процесс на ООО «Кинтизьма» осуществляется на двух полностью автоматизированных линиях филейной разделки и упаковки морепродуктов.

В случае, если необходимо значительно ускорить технологический процесс, для быстрого размораживания применяется установка оттайки, а при необходимости быстро отгрузить заказчику или упаковать большой объём только что произведённой продукции, применяется льдогенераторная установка, обеспечивающая практически мгновенное охлаждение и замораживание продукции путём генерирования льда.

Далее полученный продукт складывается в два склада-холодильнике и, в зависимости от назначения и спроса, реализуется потребителю.

Также рыбоперерабатывающее предприятие ООО «Кинтизьма» для обеспечения технологического процесса требует наличия мощных нагревательных, насосных и вентиляционных установок, в частности:

- вентиляционная установка (2 шт.);
- водонагреватели горячей воды (4 шт.);
- насосы подачи воды (2 шт.);
- насосы водоотведения (2 шт.).

Все описанные выше электроприёмники играют важную роль в технологическом процессе проектируемого рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Состав и характеристики электроприёмников рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав и характеристики электроприёмников рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

№ п/п	Наименование	Мощность, $P_{ном}$, кВт	Кол-во, шт	Суммарная мощность, $P_{сум}$, кВт
1	Линия очистки рыбы и морепродуктов	40,0	2	80,0
2	Вентиляционная установка	5,0	2	10,0
3	Установка шоковой заморозки «фризер»	25,0	2	50,0
4	Водонагреватели горячей воды	5,0	4	20,0
5	Линия филейной разделки и упаковки морепродуктов	20,0	2	40,0
6	Компрессорно - холодильная установка	2x150,0	1	300,0
7	Склад-холодильник - 1	120,0	1	120,0
8	Насосы подачи воды	10,0	2	20,0
9	Насосы водоотведения	7,5	2	15,0
10	Скла-холодильник – 2	120,0	1	120,0
11	Установка оттайки	60,0	1	60,0
12	Льдогенераторная установка	70,0	1	70,0
Всего по предприятию		-	21	905,0

План расположения технологического оборудования, которое устанавливается на проектируемом рыбоперерабатывающем предприятии ООО «Кинтизьма», представлен на графическом листе 1.

Выводы к разделу 1

В результате выполнения первого раздела работы проведён анализ исходных данных, который выполнен на основе общей характеристики проектируемого рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

В работе детально рассмотрены и проанализированы характеристика технологического процесса, оборудования и источников питания разрабатываемой системы электроснабжения предприятия.

На основании данных приведённых сведений и осуществлённого анализа исходных данных, в работе осуществляется выбор и проверка элементов системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» согласно поставленным целям и задачам.

2 Разработка системы электроснабжения предприятия

2.1 Выбор схемы электроснабжения предприятия

Известно, что возможные сбои и аварии во многих системах электроснабжения предприятий рыбоперерабатывающей отрасли связаны с угрозой жизни и здоровью людей, возникновением опасности экологических катастроф в связи с выбросов вредных и опасных веществ в атмосферу, воду и грунт, повреждением дорогостоящего оборудования, возникновением переходных процессов в энергосистеме [4].

Надежная работа систем электроснабжения предприятий рыбоперерабатывающей отрасли в целом напрямую зависит от надёжности установленных производственных агрегатов.

Основные производственные механизмы предприятий рыбоперерабатывающей отрасли, играющие ключевую роль в технологическом процессе производства готовой продукции, относятся к I категории надёжности.

Питание потребителей I категории надёжности, согласно требованиям [12], должна осуществляться из двух независимых источников питания. Из этой категории также выделяется особая группа, которая дополнительно требует установки агрегатов гарантийного питания.

Производственные цеха (узлы, участки) предприятий рыбоперерабатывающей отрасли, которые играют второстепенную производственную роль и не настолько важны, как основные технологические механизмы, относятся ко II категории надёжности.

Они также требуют двух независимых источников питания, однако система автоматического включения резерва для таких потребителей не обязательна.

К III категории надёжности относятся все остальные цеха (узлы, участки) предприятий рыбоперерабатывающей отрасли, которые не

участвуют в производственном процессе, а являются вспомогательными звеньями.

Такие цеха (узлы, участки) следует питать от одного источника без наличия соответствующего резервирования.

На первом этапе проектирования прежде всего следует рассмотреть классификацию основных технологических механизмов, узлов и подразделений в целом, и, исходя из приведённых выше аргументов и особенностей, выбрать ту схему, которая в полной мере будет соответствовать требованиям [4, 7, 10-12].

Поэтому все основные производственные агрегаты (узлы) систем электроснабжения предприятий рыбоперерабатывающей отрасли требуют соответствующих проектных решений по обеспечению надёжности, качества электроэнергии и электробезопасности.

Так как проектируемое предприятие по переработке морепродуктов относится ко II категории надёжности, оно должно получать питание от двух независимых источников, следовательно, для электроснабжения указанного предприятия выбирается двухтрансформаторная подстанция ТП-6/0,4 кВ.

В схеме предусмотрено следующее питание потребителей предприятия: электроприёмники, мощность которых не превышает 100 кВт, территориально подключаются к силовым распределительным шкафам (СРШ), а мощные электроприёмники, мощность которых превышает 100 кВт, получают непосредственное питание от шин РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ без подключения к СРШ.

Такая схема позволит обеспечить необходимое и верное распределение электроприёмников на предприятии, обеспечив правильный выбор электрических аппаратов и проводников, не перегружая их.

Описанная схема электроснабжения предприятия представлена на графическом листе 2. Далее в работе проводится непосредственный и аргументированный выбор указанных электрических аппаратов и проводников с соответствующими проверками.

2.2 Выбор и проверка оборудования

Выбор мощности электродвигателя вентиляционной установки (потребитель №2 по плану) на рыбоперерабатывающем предприятии ООО «Кинтизьма» осуществляется согласно [6]

$$P_{\text{дв}} = \frac{Q \cdot P}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_a}, \text{кВт}, \quad (1)$$

где Q – «производительность вентиляционной установки, м³/с» [6];

η_n – «КПД механической передачи» [6];

η_a – «КПД вентиляционной установки» [6];

P – «давление воздуха, Па» [6].

По формуле (1)

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,7 \cdot 1850}{1000 \cdot 0,78 \cdot 0,95} = 4,24 \text{ кВт}.$$

«Расчётная мощность приводного электродвигателя с учётом коэффициента запаса [13]

$$P_{\text{дв}}' = P_{\text{дв}} \cdot K_3, \quad (2)$$

«где K_3 – коэффициент запаса» [10].

«По выражению (2) определяется мощность приводного электродвигателя с учётом коэффициента запаса» [6]

$$P_{\text{дв}}' = 4,24 \cdot 1,1 \approx 4,66 \text{ кВт}.$$

«Выбор электродвигателя вентилятора осуществляется согласно» [6].
Результаты выбора приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Выбор приводного электродвигателя вентиляционной установки на рыбоперерабатывающем предприятии ООО «Кинтизьма»

Марка двигателя	$P_{\text{дв}}$, кВт	$S_{\text{дв}}$, %	КПД, о.е.	$\cos \varphi$	$M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$	$M_n / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{мин}} / M_{\text{ном}}$	$I_n / I_{\text{ном}}$
4А112М4У3	5,5	5	0,875	0,91	2,2	2	1,6	7,5

«Синхронная частота вращения электродвигателя вентиляционной установки, установленного на рыбоперерабатывающем предприятии ООО «Кинтизьма» [13] – 1500 об/мин.

«Осуществляется проверка приводного электродвигателя по условиям перегрева [13]

$$M_{\text{ном.дв}} \geq M_c, H \cdot м, \quad (3)$$

«где M_c – статический момент нагрузки на валу приводного электродвигателя, Нм» [6];

« $M_{\text{ном}}$ – номинальный момент, который развивает приводной электродвигатель, Нм» [6].

$$M_{\text{ном.дв}} = \frac{9,55 P_{\text{ном.дв}}}{n_{\text{ном.дв}}}, H \cdot м, \quad (4)$$

«Где $n_{\text{ном.дв}}$ – номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин» [6].

$$n_{\text{ном.дв}} = n_1 (1 - S_{\text{ном.дв}}), об / мин, \quad (5)$$

«где n_1 – синхронная частота вращения вала двигателя, об/ мин» [10].

Согласно (3 – 5)

$$n_{\text{ном.дв}} = 1500(1 - 0,05) = 1425 об / мин.$$

$$M_{\text{ном.дв.р}} = \frac{9,55 \cdot 4,24}{1425} = 28,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_c = 1,1 \cdot 28,4 = 31,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{ном.дв}} = \frac{9,55 \cdot 5,5}{1425} = 36,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Условие проверки выполнено

$$36,9 \geq 31,4, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Окончательно принимается для ЭП №2 (вентиляционная установка) проектируемого предприятия по переработке морепродуктов приводной электродвигатель марки 4А112М4У3 с паспортной номинальной мощностью, равной 5,5 кВт.

Остальное электрооборудование выбираются аналогично по [1, 6, 21] и результаты выбора приведены в таблице 4.

Технологические механизмы и оборудование основного производства выбираются по каталогам заводов – изготовителей.

Для производственных линий применяются типичные модули из унифицированных элементов, что обеспечивает значительную экономию ресурсов и значительно упрощает монтаж, эксплуатацию и ремонт.

Выбор их марок приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Расчёт и выбор оборудования предприятия по переработке морепродуктов

№ п/п	Наименование	Марка технологического оборудования (приводного электродвигателя)	Мощность, $P_{\text{ном}}$, кВт	Кол-во, шт	Суммарная мощность, $P_{\text{сум}}$, кВт
1	Вентиляционная установка	4А112М4У3	5,5	2	10,0

Продолжение таблицы 4

№ п/п	Наименование	Марка технологического оборудования (приводного электродвигателя)	Мощность, Р _{ном} , кВт	Кол-во, шт	Суммарная мощность, Р _{сум} , кВт
2	Линия очистки рыбы и морепродуктов	Модули в сборе: МСП-2.00.000; МСД-1.00.000; МН-1.00.000; ОРМ-1.00.000; ББР-2.00.000; ИСТ-СВ-1.000; АРМ-2.00.000	40,0	2	80,0
3	Установка шоковой заморозки «фризер»	Bitzer LH84/4CC-6.2Y	25,0	2	50,0
4	Водонагреватели горячей воды	ВЕТ-40-5М	5,0	4	20,0
5	Линия филейной разделки и упаковки морепродуктов	Модули в сборе: ЛРП-1.00.000 ЛКО-1.00.000 ЛРП-2.00.000 ЛСВ-1.00.000 ЛГР-1.00.000 ЛСС-1.00.000 ЛУБ-1.00.000	20,0	2	40,0
6	Компрессорно - холодильная установка	Bitzer LH135/4NC-20.2Y	2x150,0	1	300,0
7	Склад – холодильник –1	Jarp-150/18/27S	120,0	1	120,0
8	Насосы подачи воды	КО52-4	10,0	2	20,0
9	Насосы водоотведения	4AM112M2	7,5	2	15,0
10	Склад - холодильник – 2	Jarp-150/18/27S	120,0	1	120,0
11	Установка оттайки	Jarp-60-19-34H	60,0	1	60,0
12	Льдогенераторная установка	ЛГ-250Ч-02	70,0	1	70,0
Всего по предприятию			-	21	905,0

Расположение выбранного технологического оборудования на территории рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» в работе показано на графическом листе 1.

2.3 Расчёт электрических нагрузок

Для удобства расчёта нагрузок разделяется система электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» на несколько уровней электроснабжения. Расчёт проводится на каждом уровне отдельно.

«Расчетная нагрузка на первом уровне электроснабжения» [10]

$$P_{p.1} = K_3 P_{ном}, \text{ кВт}, \quad (6)$$

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}, \quad (7)$$

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}, \text{ кВА}, \quad (8)$$

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}, \quad (9)$$

где $P_{p.1}$, $Q_{p.1}$, $S_{p.1}$ – «соответственно активная, реактивная и полная мощность ЭП, кВт, квар, кВА» [10];

K_3 – «коэффициент загрузки ЭП» [10];

$\operatorname{tg} \varphi$ – «соответствует значению коэффициента мощности ЭП» [10].

«Пусковой ток» [11]

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot P_{ном}, \text{ А}, \quad (10)$$

где $k_{пуск}$ – «коэффициент пуска» [11].

Для компрессорно-холодильной установки (ЭП №1) рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»:

$$P_{p.1} = 1 \cdot 40 = 40 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.1} = 40 \cdot 0,62 = 24,8 \text{ квар.}$$

$$S_{p.1} = \sqrt{40^2 + 24,8^2} = 47,1 \text{ кВА.}$$

$$I_{p1} = \frac{47,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 72,4 \text{ А.}$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot 72,4 = 362 \text{ А.}$$

Результаты аналогичных расчетов для других ЭП приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетная нагрузка на 1-м уровне электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

№ пп	Наименование	$P_{ном}$ кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Расчетные данные				
					$P_{p.1}$, кВт	$Q_{p.1}$, квар	$S_{p.1}$, кВА	$I_{p.1}$, А	$I_{пуск}$, А
1	Линия очистки рыбы и морепродуктов	40,0	0,85	0,62	40,0	24,8	47,1	72,4	362,0
2	Вентиляционная установка	5,0	0,80	0,75	5,0	3,8	6,3	9,6	48,1
3	Установка шоковой заморозки «фризер»	25,0	0,85	0,62	25,0	15,5	29,4	45,3	226,3
4	Водонагреватели горячей воды	5,0	0,85	0,62	5,0	3,1	5,9	9,1	45,5
5	Линия филейной разделки и упаковки морепродуктов	20,0	0,80	0,75	20,0	15,0	25,0	38,5	192,3
6	Компрессорно - холодильная установка	2х 150,0	0,80	0,75	2х 150,0	2х 112,5	2х 187,5	2х 288,5	2х 1442,3
7	Склад – холодильник –1	120,0	0,85	0,62	120,0	74,4	141,2	217,2	1086,1
8	Насосы подачи воды	10,0	0,75	0,88	10,0	8,8	13,3	20,5	102,5
9	Насосы водоотведения	7,5	0,75	0,88	7,5	6,6	10,0	15,4	76,8
10	Склад - холодильник – 2	120,0	0,80	0,75	120,0	90,0	150,0	230,8	1153,8
11	Установка оттайки	60,0	0,85	0,62	60,0	37,2	70,6	108,6	543,0
12	Льдогенераторная установка	70,0	0,85	0,62	70,0	43,4	82,4	126,7	633,6

«Расчетная нагрузка на втором уровне электроснабжения для группы ЭП рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» определяются» [11]:

«Эффективное число ЭП» [11]

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i}^2}, \text{ шт.}, \quad (11)$$

«где n – количество ЭП в группе, шт.» [4];

$P_{\text{НОМ.}i}$ – «номинальная мощность i -го ЭП при ТВ = 100%, кВт» [11].

«Средневзвешенный коэффициент использования» [4]

$$K_{\text{в.св}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{в.}i} P_{\text{см.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i}}, \quad (12)$$

где « $K_{\text{в.}i}$ – коэффициент использования i -го электроприемника» [11].

«Расчетная активная нагрузка» [11]

$$P_{\text{р.п}} = K_{\text{р.а}} \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} K_{\text{в.}i}, \text{ кВт.} \quad (13)$$

«Расчетный коэффициент реактивной мощности» [11]

«Расчетная реактивная нагрузка» [4]

$$Q_{\text{р.п}} = K_{\text{р.р}} \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} K_{\text{в.}i} \text{tg} \varphi, \text{ квар.} \quad (14)$$

«Расчетная полная нагрузка» [11]

$$S_{p.П} = \sqrt{P_{p.П}^2 + Q_{p.П}^2}, \text{ кВА.} \quad (15)$$

«Расчетный ток» [11]

$$I_{p.П} = \frac{S_{p.П}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А.} \quad (16)$$

где « $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети» [11].

«На примере определяются расчетные нагрузки СРШ1» [11].

«Эффективное число ЭП» [11]

$$n_e = \frac{(40 + 40 + 5 + 25 + 20)^2}{40^2 + 40^2 + 5^2 + 25^2 + 20^2} = 3,1 \text{ шт.}$$

«Средневзвешенный коэффициент использования» [11]

$$K_{в.св} = \frac{40 \cdot 0,2 + 40 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,5 + 20 \cdot 0,75}{40 + 40 + 25 + 5 + 20} = 0,318.$$

$$K_{p.a.} = 2,14.$$

«Расчетная активная нагрузка» [11]

$$P_{p.П} = 2,14 \cdot (40 \cdot 0,2 + 40 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,5 + 20 \cdot 0,75) = 93,1 \text{ кВт.}$$

«Расчетная реактивная нагрузка ($K_{p.p.} = 1,1$)» [11]

$$Q_{p.И} = 1,1 \cdot \left(\begin{array}{l} 40 \cdot 0,2 \cdot 0,62 + 40 \cdot 0,2 \cdot 0,62 + 25 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + \\ + 5 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 20 \cdot 0,75 \cdot 0,75 \end{array} \right) = 31,1 \text{ квар.}$$

«Расчетная полная нагрузка» [11]

$$S_{p.И} = \sqrt{93,1^2 + 31,1^2} = 98,2 \text{ кВА.}$$

«Расчетный ток» [11]

$$I_{p.И} = \frac{98,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 151 \text{ А.}$$

Аналогичные расчеты по формулам (6) – (11) проводятся для других групп ЭП рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Результаты расчетов нагрузки на втором уровне ЭС рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетная нагрузка второго уровня электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

Наименование	n_e	$K_{в.св}$	$K_{p.a}$	$K_{p.p}$	$P_{p.И},$ кВт	$Q_{p.И},$ квар	$S_{p.И},$ кВА	$I_{p.И},$ А
СРШ1	3	0,318	2,14	1,1	93,1	31,1	98,2	151,0
СРШ2	4	0,365	1,87	1,1	87,3	29,4	92,1	141,7
СРШ3	4	0,329	2,14	1,1	84,8	27,3	89,1	137,1

«Определяется расчётная нагрузка на третьем уровне электроснабжения» [11].

«Определяется эффективное число ЭП по упрощенной формуле» [11]

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{\text{НОМ.}i}}{P_{\text{НОМ.}max}} \quad (17)$$

где $P_{\text{НОМ.}max}$ – «номинальная активная мощность крупнейшего электроприёмника всей группы, кВт» [11];

m – «все ЭП, которые питаются от шин НН ТП-6/0,4 кВ» [11].

$$n_e = \frac{2 \cdot (2 \cdot 40 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 25 + 4 \cdot 5 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 150 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot 7,5 + 120 + 60 + 70)}{150} = 12,1$$

«Окончательно принимается $n_e = 12$ » [4].

«Определяется средневзвешенный коэффициент использования» [11]

$$K'_{\text{в.св}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{в.}i} P_{\text{см.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i}} \quad (18)$$

$$K'_{\text{в.св}} = \frac{658,7}{905} = 0,73.$$

«По [11] определяется расчетный коэффициент активной нагрузки на III уровне электроснабжения $K'_{\text{р.а}} = 0,9$ » [4].

«Определяется расчетная активная нагрузка на III-м уровне электроснабжения» [11]

$$P_{\text{р.III}} = K'_{\text{р.а}} \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} K_{\text{в.}i}, \text{ кВт}; \quad (19)$$

$$P_{\text{р.III}} = 0,9 \cdot 658,7 = 592,8 \text{ кВт.}$$

«Расчетный коэффициент реактивной нагрузки на III уровне электроснабжения» [11] $K'_{p.a} = K'_{pp}$.

«Расчетная реактивная нагрузка на III-м уровне электроснабжения определяется так» [11]:

$$P_{p.III} = K'_{p} \sum_{i=1}^n P_{ном.i} K_{в.г} \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}; \quad (20)$$

$$P_{p.III} = 0,9 \cdot 283,4 = 255,1 \text{ квар}.$$

«Расчетная полная нагрузка на третьем уровне электроснабжения» [11]

$$S_{p.III} = \sqrt{P_{p.III}^2 + Q_{p.III}^2}, \text{ кВА}; \quad (21)$$

$$S_{p.III} = \sqrt{592,8^2 + 255,1^2} = 645,3 \text{ кВА}.$$

«Расчетный ток на третьем уровне электроснабжения» [4]

$$I_{p.III} = \frac{S_{p.III}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}; \quad (22)$$

$$I_{p.III} = \frac{645,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 992,8 \text{ А}.$$

«Расчетная нагрузка общего электрического освещения определяется методом коэффициента спроса» [6]

$$P_{уст.o.i} = k \cdot p_{p.o.i} \cdot F_i \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (23)$$

«где k – коэффициент, учитывающий мощность пусковых приборов в зависимости от источника света, (для светодиодных ламп $k = 1,1$)» [4];

« $p_{p.o}$ – удельная нагрузка общего освещения, Вт/м²» [16];

« F_i – площадь, которая подлежит освещению, m^2 (размеры берутся из генплана)» [16].

«Расчетная активная нагрузка общего освещения» [416

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{уст.o}, \text{ кВт}, \quad (24)$$

«где $K_{c.o}$ – коэффициент спроса освещения (принимается $K_{c.o}=0,95$)» [16].

«Расчетная реактивная нагрузка освещения» [16]

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \text{ квар}, \quad (25)$$

«где $\operatorname{tg} \varphi_o$ – соответствует значению коэффициента мощности в зависимости от типа источника света» [16].

«Расчетная полная нагрузка общего освещения» [16]

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2}, \text{ кВА}. \quad (26)$$

Расчёт нагрузки освещения по (23) – (26)

$$P_{уст.o} = 1,1 \cdot 12 \cdot (24 \cdot 60) \cdot 10^{-3} = 19 \text{ кВт}.$$

$$P_{p.o} = 0,95 \cdot 19 = 18,1 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.o} = 18,1 \cdot 0,33 = 6 \text{ квар}.$$

$$S_{p.o} = \sqrt{18,1^2 + 6^2} = 19,1 \text{ кВА}.$$

«Расчетная нагрузка трансформаторной подстанции (ТП-6/0,4 кВ)» [4]

$$P_{p.ТП} = K_o (P_{p.з} + P_{p.o}), \text{ кВт}; \quad (27)$$

$$Q_{p.ТП} = K_o (Q_{p.з} + Q_{p.o}), \text{ квар}; \quad (28)$$

$$S_{p.ТП} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + Q_{p.ТП}^2}, \text{ кВА}. \quad (29)$$

«Расчетная нагрузка трансформаторной подстанции (ТП-6/0,4 кВ)» [16]
рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$P_{p.ТП} = 0,95 (592,8 + 18,1) = 580,4 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.ТП} = 0,95 (255,1 + 6,0) = 248,0 \text{ квар}.$$

$$S_{p.ТП} = \sqrt{580,4^2 + 248^2} = 631,2 \text{ кВА}.$$

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» используются в работе далее.

2.4 Выбор количества и мощности трансформаторов трансформаторной подстанции

На ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» устанавливаются два силовых трансформатора, так как рыбоперерабатывающее предприятие ООО «Кинтизьма» относится ко II категории надёжности.

Так как ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» является понизительной подстанцией, которая питает потребители рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», большинство из которых относится к I и II категориям надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ

рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» принимается к установке два силовых трансформатора.

При проектировании системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», в работе также проводится необходимая проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы.

Однако для точного выбора силовых трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» необходимо учесть величину реактивной мощности и степень её компенсации в проектируемой системе электроснабжения.

Известно, что для двухтрансформаторных ТП-6/0,4 кВ, которые питают потребители I и II категорий надёжности, мощность силового трансформатора определяется из соотношения [2, 5, 8, 9, 14-20]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_{\text{р.}}}{N \beta_{\text{т}}}, \quad (30)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – «паспортная мощность трансформатора, установленного на ТП-6/0,4 кВ, кВА» [2];

N – «число трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ, шт» [2];

$\beta_{\text{т}}$ – «коэффициент загрузки трансформатора ТП-6/0,4 кВ» [2].

Следовательно, расчётная мощность силового трансформатора для установки на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{580,4}{2 \cdot 0,8} = 362,8 \text{ кВА}.$$

По [9] выбран для установки на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего

предприятия ООО «Кинтизьма» силовой трансформатор ТМЗ-400/6 в количестве двух единиц.

Условия проверок как в нормальном, так и послеаварийном режиме для выбранных силовых трансформаторов ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» выполняется.

Поэтому в работе окончательно принимается два силовых трансформатора номинальной мощностью 400 кВА для установки на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Конструктивно питающая понизительная ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» выполнена в виде закрытой подстанции с применением комплектных распределительных устройств.

Дополнительная проверка выбранных трансформаторов проводится после выбора устройств компенсации реактивной мощности.

Конструкция ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» представлена в графической части работы.

2.5 Выбор компенсирующих устройств

Проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» по выражению [10]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \quad (31)$$

где N – количество трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ, шт;

β_m – коэффициент загрузки трансформаторов ТП-6/0,4 кВ.

Мощность конденсаторных установок (КУ) на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$Q_{н.к} = Q_{р.т} - Q_{т}, \quad (32)$$

где $Q_{р.т}$ – значение расчетной реактивной нагрузки ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», квар.

Мощность регулируемой части КУ ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$Q_{н.к.р} = Q_{р.т} - Q_{н.к} - P_{р.ТП} \cdot tg\varphi_{н}, \quad (33)$$

где $tg\varphi_{н} = 0,329$ - коэффициент реактивной мощности.

Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»:

$$Q_{КУ} = Q_{н.к} + Q_{н.к.р}. \quad (34)$$

С учётом установки компенсирующих устройств на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$Sp = \sqrt{P_p^2 + (Q_p^2 - Q_{КУ})}. \quad (35)$$

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.т}}. \quad (36)$$

Согласно приведённой расчётной методике, проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

При этом в работе применяется групповая компенсация реактивной мощности.

Согласно (31)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 400)^2 - 580,4^2} = 269,7$$

Согласно (32)

$$Q_{н.к} = 248 - 269,7 = -21,7 \text{ квар.}$$

Так как полученные результаты расчёта КУ являются отрицательными, значит, КУ на ТП-6/0,4 кВ не устанавливаются. Следовательно, расчётные нагрузки ТП-6/0,4 кВ остаются в работе без изменения.

Проверка выбранных трансформаторов в нормальном режиме [9]

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,85. \quad (37)$$

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot 580,4}{400} = 0,73 \leq 0,85.$$

Проверка выбранных ранее трансформаторов [9]

$$K_3^{н.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (38)$$

$$K_3^{н.ав} = \frac{580,2}{400} = 1,45 \leq 1,7.$$

Окончательно принимается к установке на ТП-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» два силовых трансформатора мощностью 400 кВА.

Полученные результаты расчётов КУ на ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» используются в работе далее.

2.5 Выбор и проверка сечения проводников

В системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» выбору подлежат следующие проводники электрических сетей:

- питающая кабельная линия электропередачи напряжением 6 кВ;
- питающие линии напряжением 0,38/0,22 кВ;
- распределительные линии 0,38/0,22 кВ.

Проводится выбор силовых кабелей питающей кабельной линии электропередачи рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» напряжением 6 кВ по критериям экономической плотности тока.

Максимальное значение рабочего тока в питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»:

$$I_{\text{раб.мах}} = K_{\text{пер.}} \frac{S_{\text{ном.}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (38)$$

Предварительно выбирается сечение питающей кабельной линии напряжением 6 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», которое будет проверено в дальнейшем.

Для этого рассчитывается экономически эффективное сечение проводника F_W и выбирается ближайшее номинальное сечение кабельной линии

$$F_W = \frac{I_{\text{раб.мах}}}{j_{\text{эк}}}, \text{ мм}^2, \quad (39)$$

$$I_{p.} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6} = 38,5 \text{ A.}$$

$$F_{\rho} = \frac{38,5}{1,6} = 24,1 \text{ мм}^2.$$

Согласно [14], выбирается ближайшее номинальное сечение питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ с условиями: $F=25 \text{ мм}^2$, $I_{доп}=90 \text{ А}$ (отклонений от стандартных условий прокладки нет). Предусмотрена прокладка в земле.

Максимальный расчётный ток питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ с учётом резервирования

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 38,5 = 53,9 \text{ A.}$$

Условие проверки по ПАВ режиму выполняется

$$90 \text{ A} \geq 53,9 \text{ A.}$$

Для питающей кабельной линии напряжением 6 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» не принимается во внимание условия гололёда и коронирования, как для воздушных линий, поэтому данная проверка в работе не требуется.

Окончательно выбирается питающая кабельная линия электропередачи напряжением 6 кВ АСБ-6 (3×25).

На данной питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ используются два силовых кабеля, питающие по радиальной схеме электроснабжения силовые трансформаторы ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

В результате выполнения работы выбрана схема питания внешнего электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» с питанием от энергосистемы кабельной линией на напряжении 6 кВ с применением силового кабеля марки АСБ-6 (3×25), удовлетворяющие условиям выбора и всех проверок.

На ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» установлены два силовых трансформатора марки ТМЗ-400/6, которые питают указанные кабельные линии 6 кВ.

Кабельные линии напряжением 6 кВ в работе прокладываются в земле от сборных шин ГПП до ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Проводится выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ:

- питающей сети – от шинопроводов к СРШ (в закрытых лотках);
- распределительной сети – от СРШ к отдельным электроприёмникам (в трубах в полу с последующей заливкой пола рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» бетоном).

Выбор и проверка кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ проводится по допустимому нагреву токами нормального и послеаварийного режима [17].

Проводится выбор сечения кабелей 0,38/0,22 кВ питающей сети рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Принимаются к использованию в сети 0,38/0,22 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» силовые негорючие кабели марки АВВГ [17].

Проводится выбор кабеля, питающего СРШ1 рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Определяется допустимый ток кабеля $I'_{дон}$, а значение $I_{дон}$ принимается 200 А при прокладке в воздухе для кабеля сечением 120 мм².

Допустимый ток данного кабеля с учётом отклонений от стандартных условий прокладки равен:

$$I''_{доп} = 0,92 \cdot 0,94 \cdot 200 = 173 \text{ А.}$$

Условие проверки на ПАВ-режим выбранного сечения кабеля выполняется

$$173 \text{ А} > 151 \text{ А.}$$

Аналогично проводится выбор остальных кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ и результаты расчёта приводятся в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

СРШ, ЭП	$I_{р.2}$, А	$P_{р.2}$, кВт	$Q_{р.2}$, квар	L_k , м	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	F , мм ²	ΔU_k , %	Марка и сечение кабеля
СРШ1	151,0	93,1	31,1	60	0,24	0,06	200	173	120	2,2	АВВГ (3x120 + 1x35)
СРШ2	141,7	87,3	29,4	30	0,31	0,06	165	173	95	1,6	АВВГ (3x95 + 1x25)
СРШ3	137,1	84,8	27,3	30	0,31	0,06	165	173	95	1,6	АВВГ (3x95 + 1x25)
ЭП №6	288,5	150,0	112,5	50	0,24	0,06	400	346	2x120	1,3	2АВВГ (3x120 + 1x35)
ЭП №7	217,2	120,0	74,4	40	0,31	0,06	330	285	2x95	1,7	2АВВГ (3x95 + 1x25)
ЭП №10	230,8	120,0	90,0	45	0,31	0,06	330	285	2x95	1,8	2АВВГ (3x95 + 1x25)
ЩРО	29,4	18,1	6,0	20	2,94	0,07	45	39	10	0,4	АВВГ (3x10 + 1x6)
ЩАО	2,9	1,8	0,6	25	2,94	0,07	45	39	10	0,5	АВВГ (3x10 + 1x6)

Аналогично выбирается сечение кабелей распределительной сети (таблица 8).

В работе для кабелей распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ, питающей отдельные потребители рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» от шин СРШ, принимаются современные медные пятижильные кабели марки ВВГнг, не поддерживающие горения и поэтому

рекомендованные к использованию в электроустановках по условиям пожарной безопасности.

Таблица 8 – Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

№ пп	Наименование	$P_{р.1}$, кВт	$Q_{р.1}$, квар	$I_{р.1}$, А	$I_{доп}$, А	F , мм ²	Марка кабеля
1	Линия очистки рыбы и морепродуктов	40,0	24,8	72,4	73	25	ВВГнг(5х10)
2	Вентиляционная установка	5,0	3,8	9,6	19	2,5	ВВГнг (5х1,5)
3	Установка шоковой заморозки «фризер»	25,0	15,5	45,3	54	10	ВВГнг(5х6)
4	Водонагреватели горячей воды	5,0	3,1	9,1	19	2,5	ВВГнг (5х1,5)
5	Линия филейной разделки и упаковки морепродуктов	20,0	15,0	38,5	43	8	ВВГнг(5х4)
7	Насосы водоотведения	7,5	6,6	15,4	19	2,5	ВВГнг (5х1,5)
8	Установка оттайки	60,0	37,2	108,6	123	50	ВВГнг(5х25)
9	Льдогенераторная установка	70,0	43,4	126,7	146	50	ВВГнг(5х35)

Выбранные сечения с соответствующими марками проводников рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» наносятся на графический лист 2.

2.7 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) на шинах 6 кВ ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» проводится с целью:

– проверки электрических аппаратов и проводников на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания. Для этой

цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения ударного тока КЗ в расчётных точках;

– выбора и проверки на чувствительность уставок релейной защиты и автоматики. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения двухфазного (минимального) тока КЗ в расчётных точках.

Расчёт искомым трёхфазных токов КЗ в максимальном режиме проводится в расчётной точке К1 – сеть напряжением 6 кВ (на выводах ВН силового трансформатора), а также в расчётной точке К2 – сеть напряжением 0,4 кВ (на выводах НН трансформатора).

В работе используется методика расчёта токов короткого замыкания, приведённая в [15].

«Определяются базисные напряжения» [15]

$$U_{61} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.ВН}}, \text{ кВ}; \quad (40)$$

$$U_{61} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ};$$

$$U_{62} = 0,4 \text{ кВ}.$$

«Базисный ток определяется по формуле» [15]

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}}, \text{ А}; \quad (41)$$

$$I_6 = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 34,7 \text{ А}.$$

В работе для проведения расчёта токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», разработана расчётная схема, а также её схема замещения (рисунок 1).

На рисунке 1 показаны расчётные точки, в которых необходимо определить токи короткого замыкания (КЗ).

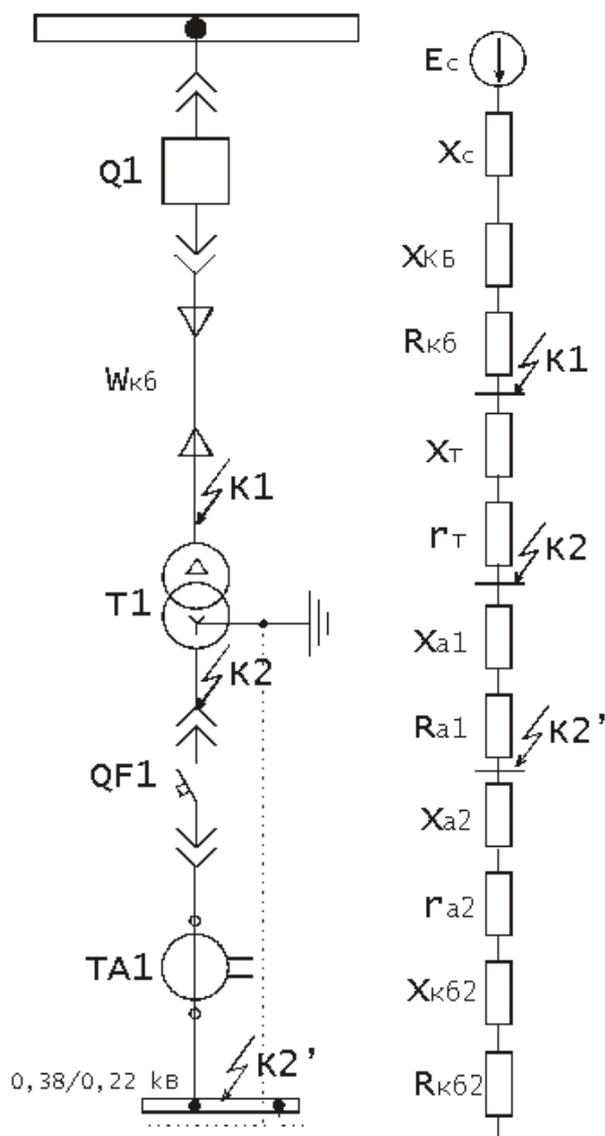


Рисунок 1 – Схема для расчета токов КЗ: а – расчетная схема; б – схема замещения

Для схемы замещения (рисунок 1), после принятия базисных условий, требуется расчёт сопротивлений.

«Сопротивление системы» [15]

$$x_c^* = \frac{I_6}{I_{п.о}^{(3)}}, \text{ о.е.}; \quad (42)$$

$$x_{c*} = \frac{34,7}{6000} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ о.е.}$$

«Сопротивление кабельной линии» [15]

$$x_{кб1*} = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.} \quad (43)$$

$$r_{кб1*} = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.} \quad (44)$$

$$x_{кб1*} = 0,083 \cdot 0,05 \frac{0,4}{6,3^2} = 0,24 \cdot 10^{-4} \text{ о.е.}$$

$$r_{кб1*} = 0,625 \cdot 0,05 \frac{0,4}{6,3^2} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ о.е.}$$

«Сопротивление трансформатора» [15]

$$r_{T*} = \frac{\Delta P_{КЗ}}{S_{НОМ.Т}}, \text{ о.е.} \quad (45)$$

$$x_{T*} = \sqrt{u_{K*}^2 - r_{T*}^2} \text{ о.е.} \quad (46)$$

$$r_{T*} = \frac{7,6}{400} = 0,0121 \text{ о.е.};$$

$$x_{T*} = \sqrt{0,055^2 - 0,0121^2} = 0,0537 \text{ о.е.}$$

«Суммарное сопротивление в о.е. к точке К1» [15]

$$x_{\Sigma K1*} = x_{C*} + x_{кб1*}, \text{ о.е.}; \quad (47)$$

$$x_{\Sigma K1*} = 0,0058 + 0,000024 = 0,00582 \text{ о.е.}$$

$$z_{\Sigma K1*} = \sqrt{x_{\Sigma K1*}^2 + r_{\Sigma K1*}^2}, \text{ о.е.}; \quad (48)$$

$$z_{\Sigma K1}^* = \sqrt{0,00582^2 + 0,00018^2} = 0,00582 \text{ о.е.}$$

«Суммарное сопротивление к точке К2» [15]

$$x_{\Sigma K2}^* = x_{\Sigma K1}^* + x_T^*, \text{ о.е.}; \quad (49)$$

$$x_{\Sigma K2}^* = 0,00582 + 0,0537 = 0,0595 \text{ о.е.}$$

$$r_{\Sigma K2}^* = r_{K61}^* + r_T^*, \text{ о.е.}; \quad (50)$$

$$r_{\Sigma K2}^* = 0,00018 + 0,0121 = 0,0123 \text{ о.е.}$$

«Суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2» [15]

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K2}^* \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом}; \quad (51)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,0595 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0152 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{\Sigma K2}^* \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом}; \quad (52)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0123 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0031 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad (53)$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,0031^2 + 0,0152^2} = 0,0155 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2"» [15]

$$r_{\Sigma K2'} = r_{\Sigma K2} + r_{a1}, \text{ Ом}; \quad (54)$$

$$r_{\Sigma K2'} = 0,0031 + 0,00014 = 0,00324 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{r_{\Sigma K2'}^2 + x_{\Sigma K2'}^2}, \text{ Ом}; \quad (55)$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{0,00364^2 + 0,0152^2} = 0,01563 \text{ Ом.}$$

«Ток трехфазного КЗ в точке К1» [15]

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{I_6}{z_{*\Sigma K1}}, \text{ А}; \quad (56)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{34,7}{0,0087} = 3988 \text{ А} \approx 4 \text{ кА.}$$

«Ток трехфазного КЗ в точках К2, К2"» [15]

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K.i}}, \text{ кА}; \quad (57)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0156} = 6,8 \text{ кА};$$

$$I_{K2'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01563} = 6,79 \text{ кА.}$$

«Ударный ток» [15]

$$i_{y.K.i} = \sqrt{2} \cdot K_y I_{K.i}^{(3)}, \text{ кА}; \quad (58)$$

«где K_y - ударный коэффициент» [15].

$$i_{y.K1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,988 = 10,2 \text{ кА};$$

$$i_{y.K2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 6,8 = 13,5 \text{ кА};$$

$$i_{y.K2''} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 14,79 = 13,4 \text{ кА.}$$

«Ток однофазного КЗ к СРШ-3 определяется по формуле» [15]

$$I_{К.і}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_{\tau}^{(1)}}{3} + z_{\text{п}\Sigma}}, \text{ кА}; \quad (59)$$

где « $z_{\tau}^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора току однофазного КЗ, Ом» [15];

« $z_{\text{п}\Sigma}$ – полное сопротивление петли фаза-ноль от трансформатора до места КЗ, Ом» [15].

«Сопротивление петли фаза-ноль» [15]

$$Z_{\text{п.КЗ}} = z_{\text{п.о.кб2}} \cdot l_{\text{кб2}} + z_{\text{п.о.кб1}} \cdot l_{\text{кб1}}, \text{ Ом}; \quad (60)$$
$$Z_{\text{п.КЗ}} = 4,73 \cdot 0,04 + 12,01 \cdot 0,06 = 0,91 \text{ Ом.}$$

Определяется ток однофазного КЗ к СРШ-3 рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$I_{\text{п.о.кз}}^{(1)} = \frac{0,22}{0,042/3 + 0,91} = 0,238 \text{ кА.}$$

Полученные значения токов КЗ используются в работе далее при проверке электрических аппаратов в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ на

напряжении 6 кВ на питающем РП-6 кВ используются высоковольтные выключатели.

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ применяются втычные контакты (ножи) ячеек типа КРУ (комплектные распределительные устройства).

Для обеспечения питания вторичных цепей в схеме 6 кВ используются трансформаторы тока и напряжения.

Для защиты от атмосферных перенапряжений вследствие удара молнии, а также от внутренних перенапряжений, в схеме цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ применяются ограничители перенапряжения.

Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по напряжению и рабочему максимальному току [1-3]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (61)$$

$$I_{раб. макс.} \leq I_n. \quad (62)$$

Выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям [14]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (63)$$

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (64)$$

$$t = t_{з. мин} + t_{с. в}, \quad (65)$$

$$i_y \leq i_{нр. с}, \quad (66)$$

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (67)$$

$$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 (t_{отк} + T_a), \quad (68)$$

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения на стороне ВН цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ рассмотрен на примере вводного выключателя в РУ-6 кВ.

Предварительно выбирается для установки в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ, вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и проводится его проверка по условиям, приведённым выше [3]

$$U_{ном} = 6 \text{ кВ} = U_{сети} = 6 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 84,9 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки на вводе РУ-6 кВ установки в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ вакуумный выключатель высокого напряжения LF1-6,3-12,5/ 630-У2-41.

Установлено, что выбранный высоковольтный выключатель удовлетворяет всем условиям проверок, поэтому может быть использован в качестве вводного выключателя в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ.

Распределительное устройство 6 кВ предприятия, от которого получают питание потребители напряжением 6 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки.

В виду этого, в РУ-6 кВ не устанавливаются разъединители, которые заменяются втычными контактами, что является существенным преимуществом данного типа ячеек.

Ячейки КРУ-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» ТП-6/0,4 кВ, комплектуются соответствующими типами инновационных электрических аппаратов, выбор которых проводится аналогично выбору вводного выключателя 6 кВ, приведённому ранее по условиям.

Результаты выбора электрических аппаратов для их непосредственной установки в ячейках КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 6 кВ для установки в ячейках КРУ-6 кВ питающего РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

№ п/п	Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
1	Выключатель высокого напряжения	LF1-6,3-12,5/ 630-У2-41
2	Предохранитель плавкий	ПК103-6-100-60-31,5/У3
3	Трансформатор тока	ТПОЛМ-6
4	Трансформатор напряжения	НАМИ-10
5	Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/ТЕЛ-10/12 УХЛ1
6	Выключатель нагрузки	ВНПу-6/ 400-10-УЗ

Выбранные типы и марки электрических аппаратов номинальным напряжением 6 кВ для их установки в ячейках КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», показаны в графической части работы.

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка современных электрических аппаратов марки ВА напряжением 0,38/0,22 кВ, которые устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ цеховой ТП-6/0,4 кВ.

Номинальные токи автомата и теплового расцепителя [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (69)$$

$$I_{ном.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (70)$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (71)$$

где $K_{то}$ – кратность тока отсечки.

Для защиты одиночных электродвигателей [14]:

$$I_p = I_{ном}. \quad (72)$$

$$I_n = I_{пуск}. \quad (73)$$

Для примера выбирается автомат ввода ТП-6/0,4 кВ с расчётным током, равным рабочему току силового трансформатора марки ТМЗ-400/6 с учётом резервирования [14]

$$I_p = 1,4 \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (74)$$

$$I_p = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 861,5 \text{ A.}$$

Предварительно выбирается автомат марки ВА 85-41 с $I_{ном.а} = 1000 \text{ А}$ [14] и проводится его проверка.

Условия выбора и проверок автомата выполняются

$$I_{ном.а} = 1000 \text{ А} \geq I_{р.} = 861,5 \text{ А.}$$

$$I_{ном.т.р} = 1000 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 861,5 = 947,7 \text{ А.}$$

$$I_{ном.э.р} = 3 \cdot 1000 = 3000 \text{ А} \geq 947,7 \text{ А.}$$

Окончательно выбирается автомат марки ВА 85-41 с $I_{ном.а} = 1000 \text{ А}$.

Выбор остальных автоматических выключателей системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» осуществлён аналогично (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты выбора «автоматов для защиты и коммутации питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения» рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

СРШ, ЭП	Тип автомата	$U_{ном.}$ В	$I_{р.2.}$ А	$I_{ном.а.}$ А	$I_{ном.р.}$ А	$I_{у.т.р.}$ А	$I_{у.е.р.}$ А	$I_{в.а.}$ кА
СРШ1	ВА 52-35	660	151,0	250	200	250	2400	32
СРШ2	ВА 52-35	660	141,7	250	150	187,5	1800	32
СРШ3	ВА 52-35	660	137,1	250	150	187,5	1800	32
ЭП №6	ВА 52-34	660	288,5	400	300	375	3600	32
ЭП №7	ВА 52-35	660	217,2	250	250	312,5	3000	32
ЭП №10	ВА 52-35	660	230,8	250	250	312,5	3000	32
ЩРО	ВА 52-35	660	29,4	100	40	50	480	32
ЩАО	ВА 52-35	660	2,9	100	6	7,5	72	32

Результаты выбора и проверки плавких предохранителей для защиты и коммутации распределительной сети системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», полученные по аналогичной методике, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора плавких предохранителей для защиты распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

Линия к ЭП	Тип предохранителя	$I_{р.1}$, А	$I_{пуск}$, А	$I_{ном.п.}$, А	$I_{ном.в.}$, А	$I_{пр.откл.}$, кА
Линия очистки рыбы и морепродуктов	ПН2-250	72,4	362,0	250	160	100
Вентиляционная установка	НПН2-60	9,6	48,1	60	20	10
Установка шоковой заморозки «фризер»	ПН2-100	45,3	226,3	100	100	100
Водонагреватели горячей воды	НПН2-60	9,1	45,5	60	20	10
Линия филейной разделки и упаковки морепродуктов	ПН2-100	38,5	192,3	100	80	100
Насосы подачи воды	НПН2-60	20,5	102,5	60	40	10
Насосы водоотведения	НПН2-60	15,4	76,8	60	40	10
Установка оттайки	ПН2-250	108,6	543,0	250	250	100
Льдогенераторная установка	ПН2-250	126,7	633,6	250	250	100

Все выбранные аппараты 6 кВ и 0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» приведены на графическом листе 2.

2.9 Разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия

Рассматривая вопрос энергосбережения в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», следует учитывать, что экономия энергии является важным, хотя и не единственным фактором, определяющим высокий технико-экономический уровень развития электромеханических систем.

Важное значение имеет безопасность работы обслуживающего персонала и надежность отдельных элементов и электроустановки в целом. Этим определяется производительность установки, затраты на ее ремонт и эксплуатацию.

Планово-предупредительный ремонт обеспечивает не только правильную и безаварийную эксплуатацию электрооборудования, но и значительную экономию электроэнергии.

В первую очередь, это режим смазывания подшипников, как электрических машин, так и приводной установки.

Правильный режим смазки с применением соответствующего масла, уменьшает потери на трение в узлах машин, облегчает их ход и уменьшает потребление электроэнергии электроприводом.

Важное значение имеет применение ограничителей холостого хода электродвигателей, а также и силовых трансформаторов на понизительной подстанции системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

На экономию электроэнергии влияет также номинальное загрузке электродвигателей.

Многие электроэнергии расходуется в пускорегулирующей аппаратуры, поэтому нужно больше внедрять бесконтактную аппаратуру, а также замену привода систем Г-Д на тиристорные преобразователи.

Важное значение имеет рациональное использование электроэнергии на освещение рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Большая роль в снижении расхода электроэнергии на освещение принадлежит высоко экономическим люминесцентным лампам.

При эксплуатации люминесцентные лампы нужно заменять не тогда, когда они перестают работать, а когда теряют часть первоначального светового потока (примерно на 30%).

Не допускать работу люминесцентных светильников с отключенными конденсаторами, при отсутствии в пускорегулирующей аппаратуре конденсатора и наличии одних дросселей, $\cos \varphi$ такого светильника равен 0,5.

Большое значение для улучшения освещения имеет правильный выбор светильников, лучшей арматурой для люминесцентных ламп являются светильники ОД, ОПР, ОДО, ВЛВ и др.

На улучшение освещения влияет цвет краски стен, потолка, пола производственного помещения.

Большое значение для рационального использования электроэнергии имеет строгое нормирование ее как по отдельным цехам, так и по предприятию в целом.

Нужно устанавливать нормы затрат на единицу продукции, организовывать действенный контроль за рациональным использованием электроэнергии.

Большое значение для экономии электроэнергии имеет повышение коэффициента мощности $\cos \varphi$.

Согласно ПУЭ значение $\cos \varphi$ должно составлять не ниже 0,92 - 0,95. Все элементы электрической сети выбираются по номинальному току, величина которого обратно пропорциональна коэффициенту мощности.

Потери электроэнергии обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности.

Основными методами повышения $\cos \varphi$ являются:

- повышение коэффициента нагрузки;
- замена не загружена двигателей двигателями меньшей мощности;
- снижение напряжения при недогрузке двигателей;
- улучшение качества ремонта;
- ликвидация холостых ходов;
- компенсация реактивной мощности;
- замена мощных асинхронных двигателей на синхронные;
- необходимо следить за нагрузкой силовых трансформаторов,

которое должно быть в пределах 0,65 - 0,75.

Выводы к разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, согласно поставленным в работе основным задачам, осуществлена разработка системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

В связи с этим, в работе осуществлены:

- выбор схемы электроснабжения предприятия;
- выбор и проверка оборудования;
- расчёт электрических нагрузок;
- выбор количества и мощности трансформаторов трансформаторной подстанции;
- выбор компенсирующих устройств;
- выбор и проверка сечения проводников;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор и проверка электрических аппаратов;
- разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия.

Разработанная системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» отвечает всем поставленным в работе задачам и требованиям, предъявляемых к ней нормативными документами.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Анализ опасных и вредных факторов

Как правило, поражение электрическим током в сетях понизительных подстанций возникает в таких случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики);
- при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»;
- при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);
- при нахождении человека вблизи заземления (менее 8 м), с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

- опасность возможных ожогов электрической дугой, которая возникла в результате неправильных оперативных действий с разъединителями, заземляющими ножами;
- возможность ушибов и переломов конечностей вследствие падений при движении по неровной или скользкой, или неосвещённой поверхности;
- опасность повреждения организма вследствие попадания конечностей под трущиеся и вращающиеся объекты электрооборудования.

Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах:

- при коротких замыканиях;

- при прямых попаданиях молнии;
- при перегреве и внутренних коротких замыканиях масляных трансформаторов на подстанции;
- при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгоранием;
- при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе.

3.2 Обеспечение безопасности жизнедеятельности

Соблюдение трудовой дисциплины является основой по технике безопасности при выполнении любых работ в электроустановках.

Согласно действующему законодательству, администрация обязана проводить инструктаж всех работников по безопасным приемам выполнения работ.

Организация работ и ответственность за проведение всех мероприятий по охране труда, на основании [12], на предприятиях, возложена на технического руководителя предприятия (главного инженера).

На предприятии, к которому относится предприятие рыбопереработки, проводится поставлена хорошо.

Имеется кабинет техники безопасности, все необходимые инструкции, имеется тренажер по оказанию первой медицинской помощи, весь персонал регулярно проходит проверку знаний по технике безопасности.

Проводятся ежемесячные дни ТБ, а также регулярно проводятся проверки на рабочих местах, а это и есть главная профилактика производственного травматизма.

Предложения по улучшению состояния охраны труда: немаловажным фактором улучшения состояния охраны труда является обмен опытом между подразделениями предприятия с другими подобными организациями.

Также можно организовать проведение дня ТБ не своей инспекцией, а инспекцией других предприятий.

По анализу ряда лет работы, на предприятии нет серьезных электротравм.

При выполнении работ в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» необходимо неукоснительно придерживаться следующих правил и требований [2, 3]:

- техники безопасности при выполнении работ в электроустановках;
- пожарной безопасности;
- экологической безопасности.

Поэтому в первую очередь при допуске к выполнению работ обслуживающий персонал должен знать и уметь выполнять все требования нормативных документов по охране труда и технике безопасности [7, 10].

Известно, что понизительная подстанция с вводом высокого напряжения в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» является источниками повышенной опасности как для обслуживающего персонала, так и для флоры и фауны.

В виду этого, при выполнении работ на понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», необходимо строго соблюдать мероприятия по технике безопасности и охране труда в целом, а также нормы экологической безопасности [7, 9, 10].

Согласно положениям [18], для рабочих проводятся по технике безопасности вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте.

Для обеспечения выполнения мероприятий по технике безопасности на предприятии существуют определенные требования к персоналу.

Существует 5 групп по электробезопасности.

Проводится периодическая проверка знаний персонала, оформляется по установленным нормам допуск к работе, то есть выписывают наряды.

Периодически проверяют выполнение правил по технике безопасности.

Рабочий персонал должен соблюдать правила техники безопасности, так как нарушение правил эксплуатации и ремонта может привести не только к поломке технологического оборудования, но и к несчастным случаям.

При ремонте электрооборудования понизительной подстанции в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

Для этого необходимо выключить коммутационный аппарат и отключить установку от сети.

Для персонала, работающих в опасных условиях, выдаются средства индивидуальной защиты.

Электротехническому персоналу, работающему в электроустановках в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», выдаются перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Особо следует уделить внимание электроинструменту.

Проведение работы по ремонту электрооборудования необходимо проводить с помощью неповрежденного инструмента, который проверен на рабочем месте перед тем как его использовать, а также срок проверки инструмента в лаборатории нормоконтроля не просрочены.

Электротехнический персонал, выполняющий работы в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», на рабочем месте должен выполнять только ту работу, которая ему поручена (по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации) и входит в круг его обязанностей с выполнением требований [7, 9-11, 18] и инструкций по охране труда.

В случае поручения работы, которая не входит в круг его профессиональных обязанностей, работник должен получить по этой работе соответствующий инструктаж по записи в журнале целевого инструктажа.

Известно, что работы в электроустановках могут выполняться по наряду-допуску или по распоряжению, при полностью снятом напряжении, частично снятом либо без снятия напряжения с токоведущих частей.

В подавляющем большинстве случаев при выполнении работ в электроустановках системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», всё напряжение с токоведущих частей должно быть снято, рабочее место ограждено, а каждый член бригады должен знать и чётко выполнять свои обязанности при соответствующем виде работ.

Для защиты от электрического тока при прикосновении к токоведущим цепям оперативного тока, применяются изолированные провода.

Аппаратура релейной защиты на постоянном оперативном токе расположена в специальных шкафах. При замыкании или повреждении оперативных цепей осуществляется их контроль и защиту.

Для защиты от опасности при переходе напряжения с высокой стороны на низкую вторичные цепи измерительных трансформаторов заземлены.

Контроль и защиту при КЗ на землю и повреждении изоляции выполняет система релейной защиты, автоматики и сигнализации.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен хорошо знать правила противопожарной безопасности и пожаротушения электрооборудования цеха или других подразделений завода.

При появлении дыма, огня, в электрооборудовании и электропроводке необходимо немедленно отключить аварийный сектор, предупредить пожарную команду при распространении пожара на оборудование или невозможно погасить очаг пожара собственными средствами.

Для предотвращения пожара или обнаружения неисправности, возможных от КЗ, перегрузок, повреждения или перегрева изоляции применяют максимальная токовая защита (МТЗ), защита от перегрузок, защита от замыканий на землю и контроль изоляции.

В сети 6 кВ на питающей понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ в

системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма», есть фактор повышенной напряжённости поля, который негативно влияет на организм людей.

Поэтому работы в указанных электроустановках все работы по монтажу, обслуживанию и ремонту оборудования и сетей следует производить в специальных экранирующих костюмах, а также необходимо свести к минимуму время пребывания людей на указанных объектах.

Снятие базового заземления проводится заранее определенной выдающим наряд бригадой с заземлением проводов всех фаз на контур заземления опоры или групповой заземлитель.

Эти операции необходимо выполнять, как правило, с заземлением линий в настоящее время.

Работы следует выполнять под контролем дежурного диспетчера с записью в оперативном журнале и оформлением в наряде.

Допускается также выполнять установку и снятие базового заземления без заземления линии.

Однако в этом случае разрешение на установку базового заземления, подготовку рабочего места и допуск бригады к работе выдается одновременно.

Выполнение таких работ может быть допущено только по решению главного инженера с оформлением в оперативном журнале и наряде [8, 10, 11].

Особо следует сказать о роли защитного заземления в сетях и его влияние на поражение человека электрическим током.

Для этой цели применяют как естественные, так и искусственные заземлители.

Однако накопленный десятилетиями опыт работ в электроустановках позволяет говорить о том, что в подавляющем большинстве случаев на понизительных подстанциях энергосистемы требуется применение защитного заземления (заземляющего устройства).

Заземляющее устройство состоит из совокупности электрически соединенных заземлителей и заземляющих проводников.

В качестве искусственных вертикальных заземлителей чаще всего применяют прутковую сталь диаметром 12 – 20 мм при длине 5 – 6 м; углубление делают вкручиванием.

Между собой заземлители заземляющего устройства соединяют на глубине 0,5 – 0,7 м с помощью сварки стальной полосой размерами не менее 40x4 мм или прутком диаметром 10 – 12 мм.

Заземляющие проводники соединяют заземлитель с частями электроустановки, которые заземляются.

В электроустановках с глухозаземлённой нейтралью напряжением 0,38/0,22 кВ согласно [11, 18]:

- магистральные защитные проводники, прокладываемые открыто, должны иметь сечение не менее 100 мм²;

- проводимость защитного проводника в соответствии с [11] должна быть не ниже 50% проводимости фазного провода.

Каждый элемент заземляется и должен быть подключен к сети заземления отдельным ответвлением (заземляющим проводником), а внутреннюю заземляющую сеть следует соединить с внешним заземляющим контуром не менее, чем в двух местах [11].

Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных одна к другой, применяют один общий заземляющий контур, сопротивление которого принимается равным сопротивлению той установки, где он является минимальным [11].

Известно, что прямые удары молнии в оборудование понизительных подстанций влекут тяжёлые последствия для оборудования и сетей, так как вследствие возникших значительных атмосферных перенапряжений они могут выйти из строя, иногда без возможности восстановления.

В результате без питания могут остаться важнейшие потребители подстанций, что недопустимо согласно требованиям [4, 7, 10-12].

От прямых ударов молний должны защищаться все ответственные электроприемники. РУ-6 кВ можно защищать одиночными стержневыми молниеотводами, кроме разрядников, как более ответственные сооружения, тем более, РУ-6 кВ питает потребителей первой категории [18].

Необходимо помнить, что здание, сооружение будет защищено от ударов молний только в том случае, когда они будут находиться в определенной сфере, называемой зоной защиты – пространстве, внутри которого объект защищен от ударов молний.

Приведённые мероприятия обеспечивают безопасность проведения работ в электроустановках всех классов напряжения и являются строго обязательными к исполнению.

3.3 Обеспечение экологической безопасности

Известно, что системы электроснабжения предприятий рыбоперерабатывающего комплекса являются источниками повышенной опасности для флоры и фауны [9].

При выполнении работ должны выполняться требования нормативных документов, регламентирующих уровень допусков.

С целью предупреждения ухудшения экологической обстановки и возникновения опасности для здоровья и жизни людей от указанных объектов, представляющих повышенную экологическую опасность, осуществляется комплекс взаимосвязанных мероприятий.

Надежным средством обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике должен стать механизм ее правового обеспечения, который с учетом подходов, выработанных в [21], включающий составляющие:

– законодательное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;

- организационно-структурное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- функционально-правовое обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- экономический механизм обеспечения такой безопасности;
- юридическая ответственность как средство обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике.

Установлены требования к нормативам предельно допустимых выбросов, закреплено дополнительные обязанности предприятий, в том числе [20]: регулирование уровней воздействия физических факторов на состояние атмосферного воздуха (ст. 12), а также меры по предотвращению и снижению производственных шумов (ст. 21).

В зависимости от вида электроустановок, принято выделять и виды техногенных воздействий, в которых присутствует экологический риск.

Так, негативным влиянием энергетики на элементы окружающей среды, а также уровень жизни и здоровья людей, являются [7, 8, 11]:

- выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов;
- ухудшение видимости атмосферы;
- запыленность атмосферного воздуха;
- выпадение осадков и кислотных дождей;
- разрушение озонового слоя;
- влияние шума объектов энергетики на окружающую среду;
- загрязнения подземных и поверхностных вод.

Следовательно, основной экологический риск в разработанной системе электроснабжения возникает от негативного влияния понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» и линий электропередач 6 кВ на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, оказывается за загрязнения атмосферного воздуха химическими

веществами и физическими факторами, загрязнение водных и земельных объектов химическими веществами; загрязнения земельных участков отходами. Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

3.4 Расчёт контура заземления ТП предприятия

Проводится расчёт заземления ТП рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Принимаются следующие исходные данные [16]:

- вертикальные заземлители (электроды): материал – сталь, диаметр стержней – 16 мм, длина стержней – 2 м, глубина погружения в грунт – 50 см;

- горизонтальные заземлители (электроды): материал – полосовая сталь, длина – 4 м, метод соединения – сварка (проводник заземления крепится на болтовое соединение);

- грунт – суглинок.

Рассчитывается сопротивление грунта Ом, [16]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (75)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (76)$$

где $\rho_{y\delta}$ – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [16];

$K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – нормируемые коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов [16].

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для стержневого вертикального заземлителя сопротивление растеканию определяется так [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом.} \quad (77)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом.}$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт.} \quad (78)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 \cdot 4} = 26,34 \text{ шт.}$$

Принимается $N = 27$ шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов [16]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.} \quad (79)$$

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

Уточненное значение сопротивления вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]

$$R_{e.z.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (80)$$

$$R_{e.z.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

Уточненное число вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{шт.}, \quad (81)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 + 4,72} = 24,15 \text{ шт.}$$

Сопротивление вертикальных заземлителей Ом [16]:

$$R_{г.е} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{Ом.} \quad (82)$$

$$R_{г.е} = \frac{69,53}{0,66 \cdot 25} = 4,56 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления ПС-10/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма»

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_{г.е}}{R_B + R_{г.е}}, \text{Ом.} \quad (83)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 \text{ Ом.}$$

Выводы к разделу 3

В результате выполнения третьего раздела работы проведён расчёт контура заземления ПС-10/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» согласно требований нормативных документов [2-4].

Окончательно принято к установке в контуре заземления на ПС-10/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов). Конструкция контура заземления ПС-10/0,4 кВ рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» приведена в графической части работы.

Заключение

Итогом выполнения работы является разработка проекта системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

Проведён анализ исходных данных, который выполнен на основе общей характеристики на проектируемого рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма».

В работе детально рассмотрены и проанализированы характеристика технологического процесса, оборудования и источников питания разрабатываемой системы электроснабжения предприятия.

Осуществлена разработка системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма». В связи с этим, в работе проведены следующие расчёты:

- выбор схемы электроснабжения предприятия;
- выбор и проверка оборудования;
- расчёт электрических нагрузок;
- выбор количества и мощности трансформаторов трансформаторной подстанции;
- выбор компенсирующих устройств;
- выбор и проверка сечения проводников;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор и проверка электрических аппаратов;
- разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия.
- разработаны мероприятия по охране труда и окружающей среды;
- рассчитан контур заземления ТП-6/0,4 кВ предприятия.

Разработанная системы электроснабжения рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Кинтизьма» отвечает всем поставленным в работе задачам и требованиям, предъявляемых к ней нормативными документами.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Вахнина В. В. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: электронное учебно-методическое пособие / В. В. Вахнина, О. В. Самолина, А. Н. Черненко. - Тольятти [Электронный ресурс] : URL: <https://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/18603/> (дата обращения: 15.08.2021).
3. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. 672 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. 28 с.
5. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. – М.: Academia, 2018. 352 с.
6. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
7. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М. : ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
8. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
9. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 2018. 608 с.

10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. – М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
15. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
16. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.
17. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. / Под общ. ред. А.А. Федорова – М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.
18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Лань, 2015. 480 с.
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
20. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. Профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2014. 964 с.
21. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.