

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 цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни

Обучающийся

С.С. Фролов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В результате работы осуществлено внесение изменений в схему главных электрических соединений нормального режима участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Данное мероприятие обусловлено вводом в эксплуатацию нового оборудования на объекте, а также необходимости в модернизации электрических аппаратов и сетей.

Рассчитаны электрические нагрузки, токи трёхфазного короткого замыкания, на основании чего выбраны и проверены сечения проводников, а также новые защитные аппараты и устройства релейной защиты и автоматики на объекте.

Результатом «работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по разработке схемы главных электрических соединений» [8] нормального режима объекта путём выбора более надёжной и совершенной схемы, с учётом модернизации основного электрооборудования в схеме электрических соединений участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика цеха, исходные данные .....	6
1.1 Характеристика цеха.....	6
1.2 Исходные данные на проектирование .....	7
1.3 Нормы проектирования систем электроснабжения цеха.....	11
2 Разработка системы электроснабжения цеха .....	15
2.1 Определение электрических нагрузок .....	15
2.2 Расчет освещения .....	20
2.3 Компенсация реактивной мощности.....	22
2.4 Выбор силовых трансформаторов и типа ТП 10/0,4 кВ.....	23
2.5 Расчет питающей линии 10 кВ .....	26
2.6 Расчет распределительной сети.....	29
2.7 Расчет токов КЗ .....	32
2.8 Выбор автоматических выключателей .....	40
2.9 Релейная защита и автоматика .....	42
3 Охрана труда, обеспечение безопасности .....	51
3.1 Обеспечение охраны труда .....	51
3.2 Заземление и молниезащита ТП.....	52
3.3 Охрана окружающей среды .....	56
Заключение .....	57
Список используемых источников.....	60

## Введение

Следует отметить, что современное общество отличается ускоренным ритмом жизни и при этом придерживается принципа употребления в рационе «здоровой пищи быстрого приготовления».

По данным аналитических компаний уже более 59% россиян следит за своим питанием, употребляя «здоровую пищу» или соблюдая диету.

В связи с этим, «концепцией государственной политики в области здорового питания населения России поставлена задача» [2] разработки и производства пищевых продуктов, в том числе «быстрого приготовления», функциональной направленности.

Основой для правильного питания различных групп населения является продукция из рыбного сырья, которая сбалансирована по нутриентному составу, содержанию высокоценного белка, полиненасыщенных жирных кислот класса омега-3, жизненно важных макро- и микроэлементов.

Россия имеет потенциал для расширения экспорта продуктов на мировой рынок. Для этого необходимо потребление качественной продукции, повышение производительности и потока логистических процессов.

Однако для реализации этой задачи необходимо провести технологический уровень и инфраструктуру, а также улучшить бизнес-климат в стране, чтобы начать инвестиции и развивать сотрудничество с зарубежными предприятиями.

Установлено, что применение современных электрических аппаратов и проводников в системах электроснабжения промышленных предприятий всех типов, создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только данной системы, но и всей электрической сети и, как результат, - всей энергосистемы в целом. Поэтому реконструкция и модернизация схем электрических соединений нормального режима с учётом модернизации основного оборудования современных технологических

механизмов производства, является актуальным заданием современной электроэнергетики. Указанные аспекты формируют актуальность данной темы.

Целью данной выпускной классификационной работы (ВКР) является разработка системы электроснабжения (СЭС) цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, с учетом особенностей технологических процессов, протекающих на предприятии.

Объект исследования: цех по производству пищевой рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Предмет исследования: система электроснабжения цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

В результате работы осуществлено внесение изменений в схему главных электрических соединений нормального режима участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Данное мероприятие обусловлено вводом в эксплуатацию нового оборудования на объекте, а также необходимости в модернизации электрических аппаратов и сетей.

Рассчитаны электрические нагрузки, токи трёхфазного короткого замыкания, на основании чего выбраны и проверены сечения проводников, а также новые защитные аппараты и устройства релейной защиты и автоматики на объекте.

Результатом «работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по разработке схемы главных электрических соединений» [8] нормального режима объекта путём выбора более надёжной и совершенной схемы, с учётом модернизации основного электрооборудования в схеме электрических соединений участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

## **1 Характеристика цеха, исходные данные**

### **1.1 Характеристика цеха**

Цех по производству пищевой рыбной продукции предназначен для переработки замороженной рыбы, изготовления соленой, вяленой, сушеной и копченой рыбы. Помещения цеха включают основной производственный участок, где расположено все производственное оборудование и моечную, где производится мойка посуды, рабочих элементов производственного оборудования.

На основном производственном участке оборудование сгруппировано по двум технологическим линиям:

- линия обработки чешуйчатой рыбы;
- линия обработки осетровых рыб аквакультуры.

В состав каждой технологической линии входит комплект оборудования, позволяющий производить переработку размороженной рыбы в конечную пищевую продукцию.

Для размораживания поставляемого рыбного сырья имеется три дефростера.

Взвешивание размороженной массы рыбного сырья производится на товарных электронных весах (2 шт.), взвешивание готовой продукции производится на настольных электронных весах (2 шт.).

Для транспортировки рыбной массы внутри цеха имеется электрическая таль.

Парогенератор обеспечивает генерацию пара для ошпаривания рыбы при обеззараживании, отделении чешуи и шкуры, а также других технологических процессов.

Электрический водонагреватель, установленный в моечной, обеспечивает подогрев воды для мойки и технологических нужд в процессе переработки рыбной продукции.

## 1.2 Исходные данные на проектирование

В работе рассматривается и проектируется система ЭС цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, с учетом особенностей технологических процессов, протекающих на предприятии.

От панелей и силовых распределительных шкафов участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, получают питание конечные потребители, которые работают на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

К основному технологическому оборудованию участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, относятся: установка для приготовления солевого раствора МП 700, весы настольные МК-32.2-А21, таль электрическая, автоматическая машина для промывки рыбы, стол с приспособлением для чистки рыбы, рыборазделочная машина Н2-ИРА-125, стол с чешуесъемными машинами АГК 25К (4 шт.), конвейер ленточный, дефростер воздушно-капельного типа ДН 3000, весы товарные Масса-К 4D, автоматическая линия переработки рыбы, камера для вяления и сушки рыбы КВС 1000, парогенератор ИП-150, стол для зачистки рыбы, камера для вяления и холодного копчения рыбы КСХК-500, водонагреватель Optima SE2000.

При этом многое оборудование было заменено вследствие проведенной недавно модернизации.

Исходные данные основного технологического оборудования, включая недавно установленное в результате модернизации, на участке цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни с учётом распределения нагрузок по панелям и шкафам, а также номинальных мощностей потребителей объекта проектирования, представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Характеристика основного оборудования цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни

Номер потребителя, по плану	Наименование потребителя	$P_{уст}$ , кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$	Примечание
1	Установка для приготовления солевого раствора МП 700	2,2	0,5	0,79	3-фазн., 380 В
2,3	Весы настольные МК-32.2-А21	0,006	0,7	0,92	1-фазн., 220 В
4	Таль электрическая	1,5	0,35	0,8	3-фазн., 380 В; ПВ=40 %
5,6,7	Автоматическая машина для промывки рыбы	0,55	0,8	0,82	3-фазн., 380 В
8-13, 17-22	Стол с приспособлением для чистки рыбы	0,5	0,65	0,76	1-фазн., 220 В
14,23	Рыборазделочная машина Н2-ИРА-125	1,0	0,7	0,75	3-фазн., 380 В
15,24	Стол с чешуеъемными машинами АГК 25К (4 шт.)	6	0,6	0,84	3-фазн., 380 В
16	Конвейер ленточный	5,5	0,9	0,86	3-фазн., 380 В
25,26,27	Дефростер воздушно-капельного типа ДН 3000	24	0,81	0,83	3-фазн., 380 В
28,29	Весы товарные Масса-К 4D	0,025	0,5	0,92	1-фазн., 220 В
30-33	Автоматическая линия переработки рыбы	2,5	0,8	0,89	3-фазн., 380 В
34	Камера для вяления и сушки рыбы КВС 1000	24	0,8	0,98	3-фазн., 380 В
35	Парогенератор ИП-150	48	0,7	0,97	3-фазн., 380 В
36	Стол для зачистки рыбы	0,55	0,75	0,72	1-фазн., 220 В
37,38,39	Камера для вяления и холодного копчения рыбы КСХК-500	22	0,8	0,98	3-фазн., 380 В
40	Водонагреватель Optima SE2000	50	0,9	1,0	3-фазн., 380 В

Размещение основного оборудования, представленного в таблице 1, на территории цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, показано на рисунке 1.



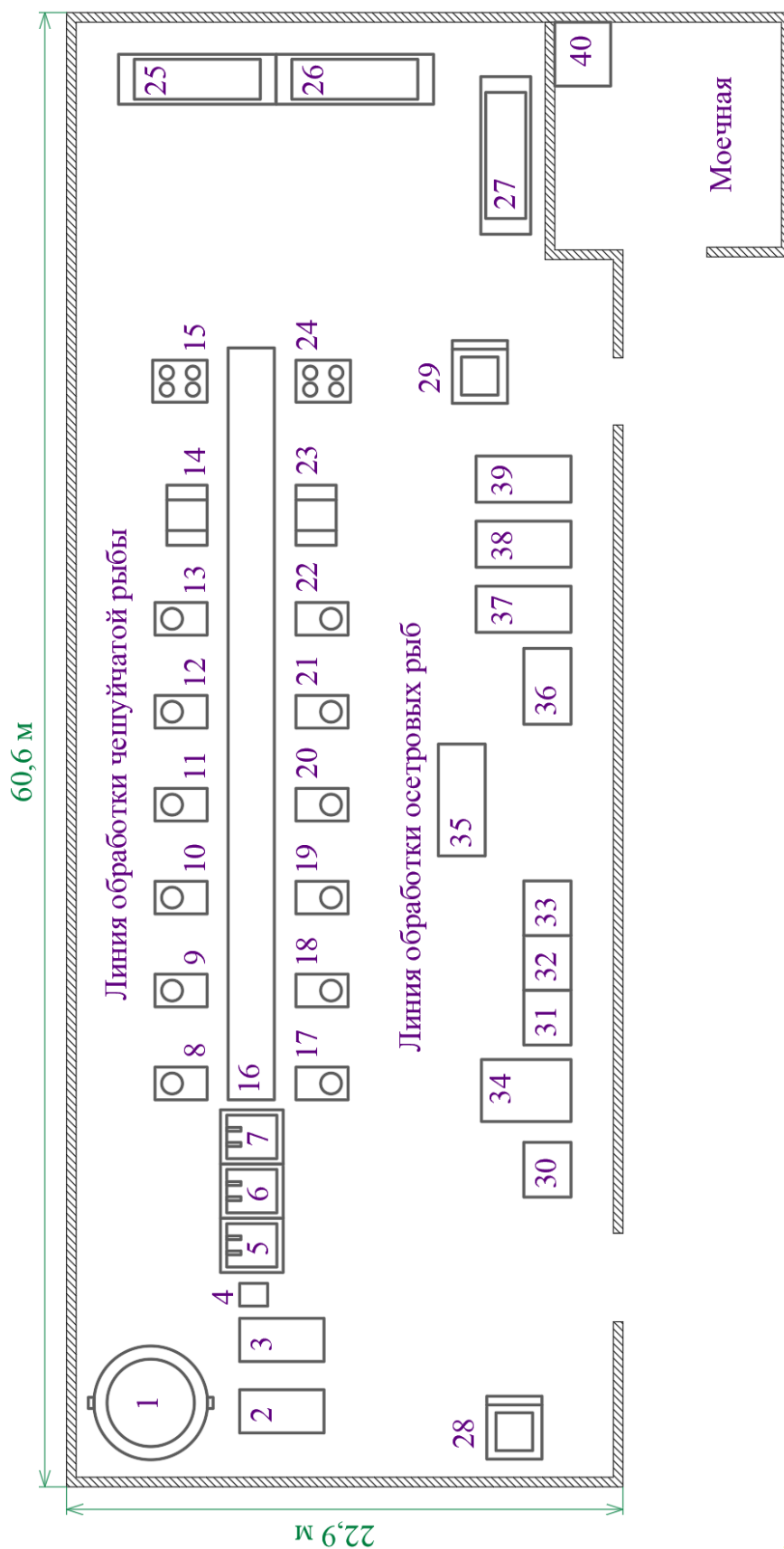


Рисунок 1 – Размещение основного оборудования, представленного в таблице 1, на территории цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни

«В соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к проектируемым СЭС производственных цехов рыбоперерабатывающей промышленности, основные требования к объекту, следующие:

- два независимых источника питания цехового электрооборудования (питание от разных шин 10 кВ ГПП предприятия, двухцепная кабельная линия 10 кВ от ГПП до цеховой ТП, двухтрансформаторная цеховая ТП);
- аварийный ввод резерва (АВР) на шинах 0,4 кВ цеховой ТП. Обусловлено требованиями [7] к электроснабжению цеховых потребителей 1 категории надежности электроснабжения;
- требуется обеспечить возможность индивидуального отключения электроприемников для независимого проведения ремонтных работ и работ по обслуживанию. Следовательно, принимается радиальная схема распределительной сети 0,4 кВ, то есть каждый электроприемник запитывается отдельной линией по отдельному фидеру от РП;
- в проектируемой системе освещения надлежит использовать современные светодиодные светильники. Обусловлено современными требованиями по обеспечению энергоэффективности проектируемых и действующих систем электроснабжения;
- выбранное электрооборудование проектируемой системы электроснабжения цеха должно быть современным и соответствовать актуальным требованиям надежности, электробезопасности и энергоэффективности» [15].

Таким образом, для разработки качественного проекта системы электроснабжения цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, необходимо рассмотреть основные нормы проектирования промышленных цехов.

Данный вопрос детально рассматривается в работе далее.

### 1.3 Нормы проектирования систем электроснабжения цеха

На основе кратких основных нормативных положений, с учётом проведённого ранее анализа, проводится анализ норм проектирования систем электроснабжения цехов и участков промышленных предприятий, к которым относится цех по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Известно, что к современным системам электроснабжения цехов и участков промышленных потребителей предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно [18]:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования системы электроснабжения предприятия и цехов;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей системы электроснабжения предприятия и цехов, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах системы электроснабжения предприятия и цехов (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов, в которые изменения должны быть обоснованы только

расчётным технико-экономическим путём;

- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
- обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит система электроснабжения объекта);
- обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других объектов (применяется для узловых и транзитных питающих подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов);
- соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
- обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
- использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
- автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов системы электроснабжения предприятий и цехов;
- применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях системы электроснабжения предприятия и цехов: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами,

- систем управления электроснабжением;
- ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений системы электроснабжения предприятия и цехов;
  - «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов;
  - возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств системы электроснабжения предприятия и цехов;
  - применение блочных конструкций на питающих подстанциях и распределительных пунктах всех уровней системы электроснабжения предприятия и цехов;
  - использование современного оборудования распределительных устройств подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
  - минимальные стоимости эксплуатации и ремонта основного оборудования системы электроснабжения предприятия и цехов при максимальном технико-экономическом эффекте.

Все приведённые требования должны быть учтены в работе.

Выводы по разделу 1.

Приведена основная информация по объекту проектирования, а также план расположения потребителей цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

На основе кратких основных нормативных положений, с учётом проведённого ранее анализа, проводится анализ норм проектирования систем электроснабжения цехов и участков промышленных предприятий, к которым относится цех по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Установлено, что проектирование СЭС цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, необходимо проводить в соответствии с нормами и основными положениями нормативных документов.

Всё это позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание, технические осмотры, дефектацию и ремонт данного оборудования.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по проверке на работоспособность схемы главных электрических соединений нормального режима внешнего электроснабжения с учётом модернизации оборудования и сетей внутреннего электроснабжения цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Данные мероприятия рассматриваются в работе далее.

## **2 Разработка системы электроснабжения цеха**

### **2.1 Определение электрических нагрузок**

Известно, что расчётные электрические нагрузки объектов энергетики являются основой для проектирования и реконструкции систем электроснабжения.

Поэтому далее в работе, для достижения поставленной цели, следует провести расчёт электрических нагрузок, которые далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования электрической части участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок одиночных присоединений потребителей участка цеха, систем сборных шин, а также питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Как известно, расчётный ток нагрузки нормального режима также относится к электрическим нагрузкам, поэтому в работе он также подлежит определению.

Определяются расчётные нагрузки распределительных щитов силовой и осветительной сети, исходя из принятой проектной схемы распределения их нагрузки согласно технологическому процессу.

При этом в качестве нагрузки ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни принимаются фактические максимальные значения потребляемой активной мощности распределительных щитов (силовых и осветительных), получающих питание от ВРУ-0,4 кВ данной организации.

В работе указанные расчетные нагрузки определяются методом упорядоченных диаграмм [7].

Расчёты проводятся по принятой методике с использованием табличных коэффициентов [12].

По данной методике, на первом этапе проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений потребителей, далее – расчёт нагрузки распределительных шкафов, и на заключительном этапе – расчёт нагрузки ТП-10/0,4 кВ.

Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни [11]:

$$P_c = K_u \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

«где  $K_u$  – коэффициент использования активной мощности для данного конкретного ЭП;

$P_{ном}$  – номинальная активная мощность ЭП, кВт» [6].

«Среднесменные реактивные и полные мощности» [6]:

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (3)$$

«Пример расчета нагрузок (ЭП №1), по условиям (1-3)» [6]:

$$P_c = 0,5 \cdot 2,2 = 1,1 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 1,1 \cdot 0,776 = 0,854 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{1,1^2 + 0,854^2} = 1,392 \text{ кВА}.$$



«Для узлов нагрузки, распределительных пунктов (РП), расчетные мощности:

$$P_p = P_c \cdot K_p, \quad (4)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки, определяется из справочных данных в зависимости от эффективного числа ЭП и группового коэффициента использования активной мощности.

Групповой коэффициент использования активной мощности:

$$K_u = \frac{\sum P_c}{\sum P_n}; \quad (5)$$

где  $\sum P_c$ ,  $\sum P_n$  – суммы среднесменных и номинальных нагрузок присоединенных ЭП, кВт.

Расчетная реактивная мощность определяется:

$$\text{при } n_э \leq 10: Q_p = 1,1 \cdot Q_c, \quad (6)$$

$$\text{при } n_э > 10: Q_p = Q_c, \quad (7)$$

$$n_э = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum P_n^2}, \quad (8)$$

где  $n_э$  – эффективное число ЭП, шт» [6].

На основании известных выражений (1) – (4) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех одиночных присоединений потребителей участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

«Для РП-1, по условиям (3-7):

$$K_u = \frac{2,76}{4,81} = 0,574,$$

$$P_p = 2,76 \cdot 1,52 = 4,196 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 2,027 = 2,23 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{4,196^2 + 2,23^2} = 4,751 \text{ кВА}.$$

Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2.

Также в таблице 2 расчёт суммарной нагрузки секций сборных шин (панелей КТП-6/0,4 кВ) и всей питающей подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно [14].

В связи с этим, проверено также условие равномерности распределения нагрузки, с учётом различия мощностей на взаиморезервируемых секциях сборных шин и панелей (отличие не более 20%) [15].

Данное условие выполняется.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, используются в работе далее в качестве основы для выбора и проверки электрических проводников, аппаратов на всех звеньях системы электроснабжения, а также трансформаторов на питающей ТП-10/0,4 кВ.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни

Номер ЭП (РП)	Расчетная нагрузка		
	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	1,100	0,854	1,392
2	0,004	0,002	0,005
3	0,004	0,002	0,005
4	0,332	0,249	0,415
5	0,440	0,307	0,537
6	0,440	0,307	0,537
7	0,440	0,307	0,537
РП-1	4,196	2,230	4,751
8	0,325	0,278	0,428
9	0,325	0,278	0,428
10	0,325	0,278	0,428
11	0,325	0,278	0,428
12	0,325	0,278	0,428
13	0,325	0,278	0,428
14	0,700	0,617	0,933
15	3,600	2,325	4,286
16	4,950	2,937	5,756
РП-2	14,224	8,302	16,470
17	0,325	0,278	0,428
18	0,325	0,278	0,428
19	0,325	0,278	0,428
20	0,325	0,278	0,428
21	0,325	0,278	0,428
22	0,325	0,278	0,428
23	0,700	0,617	0,933
24	3,600	2,325	4,286
ΣРП-3	8,813	5,071	10,168
25	19,440	13,064	23,422
26	19,440	13,064	23,422
27	19,440	13,064	23,422
40	45,000	0,000	45,000
РП-4	113,652	43,110	121,554
28	0,013	0,005	0,014
30	2,000	1,025	2,247
31	2,000	1,025	2,247
32	2,000	1,025	2,247
33	2,000	1,025	2,247
34	19,200	3,899	19,592
РП-5	31,022	8,803	32,247
29	0,013	0,005	0,014
35	33,600	8,421	34,639
36	0,413	0,176	0,448
37	17,600	3,574	17,959
38	17,600	3,574	17,959

Продолжение таблицы 2

Номер ЭП (РП)	Расчетная нагрузка		
	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
39	17,600	3,574	17,959
РП-6	105,058	21,256	107,187
Всего по цеху	276,965	88,773	292,376

Результаты нагрузок используются в работе далее.

## 2.2 Расчет освещения

«Нормы освещенности для помещений цеха принимаются согласно СанПиН 2.3.4.050-96. Выбирается нормативная освещенность 300 лк» [21].

Характеристики помещений цеха сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристики помещений цеха

Помещения	Енор, лк	F, м <sup>2</sup>	Длина, м	Ширина, м	Высота, м
Моечная	300	85,6	9,2	9,3	3,6
Основной участок	300	1344,3	60,4	22,7	6,2

Расчет освещения основного участка.

«Индекс помещения рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (9)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $h$  – длина, ширина и высота помещения, м» [2].

$$i = \frac{60,4 \cdot 22,7}{6,2 \cdot (60,4 + 22,7)} = 2,66.$$

«Требуемый суммарный световой поток:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{K_u}, \quad (10)$$

где  $E$  – нормируемая освещенность, лм;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K_z$  – коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$K_u$  – коэффициент использования светового потока» [2].

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1344,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,68} = 978571,3 \text{ лм.}$$

«Для освещения основного участка выбираются светильники NT-PROM 300, мощность 300 Вт, световой поток 33200 лм» [2].

«Требуемое число светильников:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (11)$$

где  $\Phi_c$  – световой поток одного светильника, лм» [7].

$$N = \frac{978571,3}{33200} \approx 30 \text{ шт.}$$

Для освещения моечной выбираем светильники Вартон Оlymр 100 Вт. Результаты расчетов освещения – в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов освещения помещений цеха

Помещения	Ки	Инд. пом.	Φ, лм	Нсв, шт	С ед.св, лм
Моечная	0,51	1,28	83082,4	7	13000
Основной участок	0,68	2,66	978571,3	30	33200

«Аварийное освещение принимается равным 5% от рабочего, при этом каждое помещение и проход освещаются отдельными светильниками. Применяем светильники типа Вартон Olymp 100 Вт» [12].

Схема системы освещения цеха приведена на листе 2 графической части.

Нагрузки цеховой ТП с учетом освещения:

$$P_{po} = (30 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,1) + 276,965 = 286,665 \text{ кВт};$$

$$Q_{po} = (30 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,1) \cdot 0,88 + 88,773 = 97,328 \text{ квар};$$

$$S_{po} = \sqrt{286,665^2 + 97,328^2} = 302,736 \text{ кВА}.$$

### 2.3 Компенсация реактивной мощности

«Компенсация реактивной мощности (КРМ) производится до нормативного значения коэффициента мощности  $\cos \varphi = 0,95$ . Требуемая мощность компенсирующих устройств (КУ) определяется по формуле:

$$Q_{к.у.} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_k), \quad (12)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$P_p$  – активная расчетная мощность нагрузки, кВт;

$tg \varphi$  – тангенс угла  $\varphi$  до компенсации;

$tg \varphi_k$  – нормативный тангенс угла  $\varphi$  после компенсации

(соответствует нормативному значению  $\cos \varphi = 0,95$ )» [8].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 286,665 \cdot (0,34 - 0,33) = 2,46 \text{ квар}.$$

В данном случае расчетная мощность КУ незначительна (менее 2,5 квар), также фактический коэффициент мощности до компенсации составляет

0,947 и находится в пределах допустимых нормативных значений 0,92-0,95. Следовательно, в данном случае КРМ на шинах 0,4 кВ цеховой ТП не требуется. Расчет нагрузок ТП – в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет нагрузок ТП

Показатели	cosφ	tgφ	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
КУ на НН	0,947	0,340	286,665	97,328	302,736
КУ на НН с КУ	0,947	0,340	286,665	97,328	302,736
Потери	-	-	6,055	30,274	-
КУ на ВН с КУ	-	-	292,719	127,602	319,322

«Приближенные потери мощности в трансформаторах» [2]:

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot S_p; \quad (13)$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 302,736 = 6,055 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot S_p; \quad (14)$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 302,736 = 30,274 \text{ квар}.$$

«Полная нагрузка с учетом потерь в ТП, по (3)» [2]:

$$S'_p = \sqrt{(286,665 + 6,055)^2 + (97,328 + 30,274)^2} = 319,322 \text{ кВА}.$$

## 2.4 Выбор силовых трансформаторов и типа ТП 10/0,4 кВ

Проводится выбор трансформаторов для применения на ТП-10/0,4 кВ цеха.

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, должны находиться в рабочем исправном состоянии и периодически проходить регламентные текущие и капитальные ремонты.

Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

«Если в состав нагрузок ТП входят потребители 1 и/или 2 категорий надежности электроснабжения, устанавливается два силовых трансформатора» [13].

«Требуемая мощность трансформаторов с учетом КРМ:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{р.к.}, \quad (15)$$

где  $K_{з.н.}$  – нормативный коэффициент загрузки трансформаторов для двухтрансформаторной ТП, согласно [12],  $K_{з.н.} = 0,7$ ;

$S_{р.к.}$  – расчетная мощность потребителей с учетом КРМ, кВА» [4].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 302,736 = 211,92 \text{ кВА.}$$

Выбираются трансформаторы ТМГ12-250/10.

«Проводится проверка по коэффициенту загрузки в аварийном режиме:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{р.к.}}{S_m}, \quad (16)$$

где  $S_m$  – номинальная мощность силового трансформатора, кВА» [3].

$$K_{з.ав.} = \frac{302,736}{250} = 1,28 \leq 1,4.$$

Выбирается трансформаторная подстанция наружной установки марки 2КТПН-250/10/0,4 [25].



«Комплектные трансформаторные подстанции 2КТПН-10/0,4 с коридорами обслуживания, мощностью 100-2500 кВА предназначены для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частоты 50 Гц напряжением 6 или 10 кВ, преобразования в электрическую энергию 0,4 кВ и снабжения ею потребителей. Подстанции с коридорами обслуживания предназначены для энергоснабжения промышленных объектов, жилых комплексов, общественных зданий, населенных пунктов, сельскохозяйственных предприятий, стройплощадок, кустов скважин газовых и нефтяных месторождений. Подстанция КТПН имеет двери с каждой обслуживаемой стороны. Все двери подстанции снабжены внутренними реечными замками и петлями под навесной замок. Для вентиляции и охлаждения блоков трансформаторов в дверях имеются жалюзи, исключающие попадание осадков в корпус подстанции.

Данная подстанция является комплектной, в стандартный комплект входит следующее электрооборудование [21]:

- выключатели нагрузки ВНРп-10/400;
- опорные изоляторы ИОЭЛ-10;
- трансформаторы тока ТПЛК-10 - 30/5 - 0,5;
- трансформаторы напряжения НАМИ-10-95;
- ограничители перенапряжения серии ОПН-10;
- предохранители ПКТ-103/25;
- автоматические выключатели ВА-52-39/630;
- трансформаторы тока ТШЛ-0,66 - 600/5.

Установка силовых трансформаторов осуществляется после размещения КТПН на месте установки» [20].

На питающей КТПН два силовых трансформатора, установленные на подстанции, должны получать питание от различных независимых источников.

Таким образом, в схеме электроснабжения не будет «холодного резерва», который не рекомендуем [5].

Трансформаторы ТМГ12-250/10 могут быть рекомендованы к установке на объекте исследования в результате проведения мероприятий по модернизации системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, с учётом подключения нового технологического оборудования данного цеха.

Установка данных трансформаторов меньшего типонаминала марки ТМГ12-250/10, по сравнению с трансформаторами большего типонаминала (например, марки ТМГ12-400/10 и выше), эффективна технически и экономически [12].

Таким образом, выбор данного типа трансформатора является обоснованным.

## **2.5 Расчет питающей линии 10 кВ**

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Исходя из этого, в работе выбору подлежат следующие проводники системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, выполненные кабельными линиями электропередачи:

- напряжением 10 кВ: питающая кабельная линия, состоящая из двух силовых кабелей, для питания ЦТП-10/0,4 кВ от ГПП-60 по радиальной схеме;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения распределительных щитов объекта от РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения отдельных потребителей участка цеха от распределительных щитов.

В первую очередь необходимо выбрать сечение и марку кабельной линии 10 кВ для питания ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП, с учётом проведённой модернизации и ввода нового технологического оборудования.

Проводится выбор кабельных линий не только для электроснабжения питающей ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, но и для всей системы электроснабжения объекта.

«Рабочий ток КЛ 10 кВ:

$$I_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n}, \quad (17)$$

где  $S'_p$  – расчетная мощность ТП с учетом потерь в трансформаторах, кВА;  
 $U_n$  – номинальное напряжение линии, кВ;  
 $n$  – число цепей, шт» [16].

$$I_p = \frac{319,322}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 9,218 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение жилы кабеля:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (18)$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

$$F_{\text{эк}} = \frac{9,218}{1,4} = 6,584 \text{ мм}^2.$$

«Принимается кабель марки АПвП-3×16 мм<sup>2</sup>» [8].

«Ток аварийного режима, по (17)» [8]:

$$I_{ав} = \frac{319,322}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 18,436 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля с учетом условий прокладки:

$$I'_{доп} = I_{доп} \cdot K_{нов} \cdot K_{ср} \cdot K_{нон}, \quad (19)$$

где  $I_{доп}$  – паспортный допустимый ток кабеля, А;

$K_{нов}$ ,  $K_{ср}$ ,  $K_{нон}$  – коэффициенты, учитывающие недогруженность КЛ, среду и групповую прокладку» [17].

$$I'_{доп} = 75 \cdot 1,25 \cdot 1,08 \cdot 0,93 = 94,163 \text{ А} > I_{ав}.$$

«Потери напряжения в КЛ:

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (20)$$

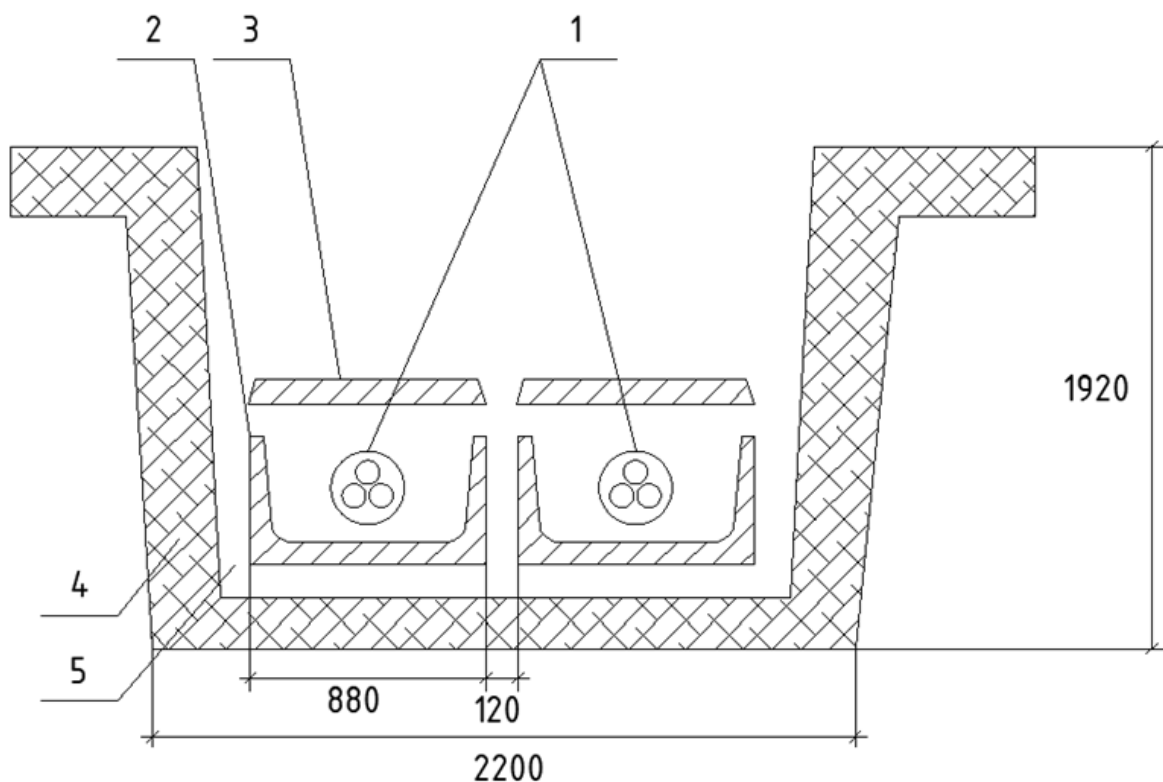
где  $I_p$  – максимальный расчетный ток КЛ, А;

$L$  – длина КЛ, км;

$r_0$ ,  $x_0$  – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [19].

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} \cdot 18,436 \cdot 0,8 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,917 + 0,102 \cdot 0,4) = 0,12 \% < 5 \%$$

«Схема прокладки КЛ 10 кВ показана на рисунке 2» [12].



1 - Силовой кабель; 2 - Лоток железобетонный; 3 - Плита железобетонная;  
4 - Песчано-гравийная смесь; 5 - Песчаная подготовка

Рисунок 2 – Схема прокладки КЛ 10 кВ

Все выбранные проводники системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте [21].

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, выбраны сечения кабельной линии 10 кВ, полученной с учётом модернизации и подключения нового основного технологического оборудования.

## 2.6 Расчет распределительной сети

«Необходимо обеспечить возможность индивидуального отключения ЭП для удобства обслуживания и вывода оборудования в ремонт, обеспечения

надежной и селективной работы аппаратов защиты линий. Таким образом, для распределительной сети выбирается радиальная схема, каждый ЭП запитывается от РП по отдельной КЛ. Кабельные линии на 0,4 кВ и 0,23 кВ выполняются кабелями АВВГнг-LS и КГнг-LS (подвижная таль). Кабели прокладываются в коробах в полу помещений и в защитной гофре» [15].

«Расчет для КЛ до ЭП №1. Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (21)$$

где  $S_p$  – расчетная мощность ЭП, кВА;

$U_n$  – напряжение линии, кВ» [18].

$$I_p = \frac{2,78}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 4,02 \text{ А}$$

«Выбирается кабель АВВГнг-LS-4×2,5, допустимый 380 А 17,85 А, с учетом поправочного коэффициента 0,85 на групповую прокладку кабелей» [18].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [16].

«Потери напряжения в КЛ, по формуле (20)» [18]:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,02 \cdot 4,63 \cdot 100}{0,38} (0,0116 \cdot 0,79 + 0 \cdot 0,613) = 0,078 \% < 5 \%$$

Потери в питающем кабеле не превышают допустимых норм согласно [1].

Результаты выбора остальных кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты выбора кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ

Участок	Ip, А	Кабель	Idоп, А	L, м	$\Delta U$ , %
1	4,02	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	4,63	0,078
2	0,03	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	11,09	0,002
3	0,03	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	8,22	0,001
4	1,71	КГнг-LS-4×2,5	27,00	20,61	0,149
5	0,97	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	6,48	0,027
6	0,97	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	8,60	0,036
7	0,97	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	10,75	0,045
РП-1	8,69	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	56,28	1,042
8	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	14,74	0,169
9	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	10,98	0,126
10	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	7,23	0,083
11	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	3,47	0,040
12	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	4,94	0,057
13	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	8,69	0,100
14	1,92	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	13,32	0,102
15	10,31	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	18,21	0,834
16	9,23	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	5,38	0,226
РП-2	38,63	АВВГнг-LS-4×10	55,25	76,93	1,737
17	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	22,03	0,253
18	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	18,21	0,209
19	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	14,45	0,166
20	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	10,65	0,122
21	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	9,49	0,109
22	2,86	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	13,25	0,152
23	1,92	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	17,43	0,133
24	10,31	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	22,81	1,044
РП-3	29,40	АВВГнг-LS-4×6	35,70	78,14	1,891
25	41,74	АВВГнг-LS-4×10	55,25	10,73	0,525
26	41,74	АВВГнг-LS-4×10	55,25	4,32	0,212
27	41,74	АВВГнг-LS-4×10	55,25	2,34	0,114
40	72,17	АВВГнг-LS-4×16	76,50	4,25	0,271
РП-4	197,38	АВВГнг-LS-3x95+1x50	204,00	37,26	0,992
28	0,12	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	15,44	0,009
30	4,05	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	3,68	0,070
31	4,05	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	4,18	0,080
32	4,05	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	6,38	0,122
33	4,05	АВВГнг-LS-4×2,5	17,85	8,57	0,164
34	35,35	АВВГнг-LS-4×6	35,70	0,89	0,063
РП-5	51,68	АВВГнг-LS-4×10	55,25	11,19	0,778
29	0,12	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	18,38	0,011
35	71,42	АВВГнг-LS-4×16	76,50	4,39	0,255
36	2,60	АВВГнг-LS-3×2,5	19,55	3,26	0,043
37	32,40	АВВГнг-LS-4×6	35,70	6,30	0,385
38	32,40	АВВГнг-LS-4×6	35,70	8,93	0,581
39	32,40	АВВГнг-LS-4×6	35,70	11,48	0,747
РП-6	171,35	АВВГнг-LS-3x95+1x50	204,00	1,49	0,037

## 2.7 Расчет токов КЗ

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах цеха.

Значения токов КЗ в системе ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни будут использованы при выборе и проверке нового оборудования распределительного устройства РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ в работе далее.

Кроме того, результаты выбора уставок релейной защиты и автоматики для их установки в реконструированной схеме соединений нормального режима в системе ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, должны быть проверены на условия чувствительности. Для этой цели в работе также необходимо провести расчёт минимального двухфазного тока КЗ [22].

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни представлена на рисунке 3» [19].

Исходя из исходной расчетной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни (рисунок 3).



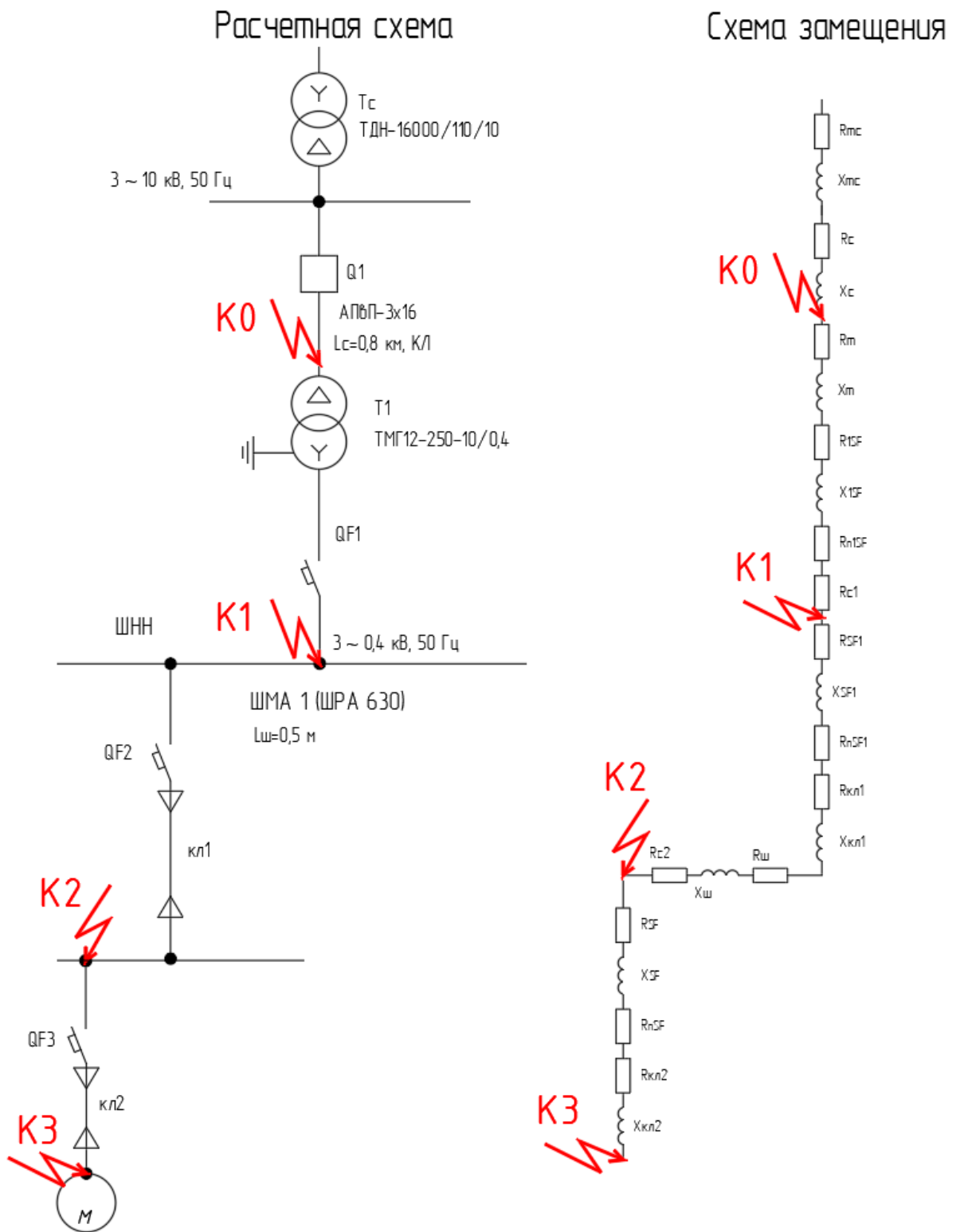


Рисунок 3 – Расчетная схема и схема замещения

Следующим шагом алгоритма расчёта токов КЗ, будет расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

Все расчёты производятся в относительных единицах при последующем переводе полученного результата расчёта максимального тока КЗ в именованные единицы [24].

Выбираются базисные условия для проведения расчётов и проводятся расчёты сопротивлений элементов схемы СЭС объекта проектирования.

«Для трансформатора ГПП предприятия 110/10 кВ, полное сопротивление:

$$Z'_{mc} = \frac{u_k \cdot U_{вн}^2}{100 \cdot S_n}, \quad (22)$$

где  $u_k$  – напряжение КЗ трансформатора (паспортная величина), %;

$U_{вн}$  – напряжение обмотки ВН, кВ;

$S_n$  – номинальная мощность трансформатора, МВА» [18].

$$Z'_{mc} = \frac{10,5 \cdot 110^2}{100 \cdot 16} = 79,4 \text{ Ом.}$$

«Активное и индуктивное сопротивления трансформатора ГПП:

$$R'_{mc} = \frac{P_k \cdot U_{вн}^2}{S_n^2}, \quad (23)$$

где  $P_k$  – потери КЗ (паспортная величина), Вт;

$S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВА» [18].

$$R'_{mc} = \frac{85000 \cdot 110^2}{16000^2} = 4,018 \text{ Ом.}$$

$$X'_{mc} = \sqrt{Z_{mc}^2 - R_{mc}^2}, \quad (24)$$

$$X'_{mc} = \sqrt{79,4^2 - 4,018^2} = 79,29 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X'_c = x_0 \cdot L_c, \quad (25)$$

где  $L_c$  – длина линии, км» [7].

$$X'_c = 0,102 \cdot 0,8 = 0,082 \text{ Ом.}$$

$$R'_c = r_0 \cdot L_c, \quad (26)$$

$$R'_c = 1,94 \cdot 0,8 = 1,552 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления приводятся к ступени 0,4 кВ» [7]:

$$R_{mc} = R'_{mc} \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{U_{\text{вн}}^2}, \quad (27)$$

$$R_{mc} = 4,018 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 6,429 \text{ МОм;}$$

$$X_{mc} = X'_{mc} \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{U_{\text{вн}}^2}, \quad (28)$$

$$X_{mc} = 79,29 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 126,864 \text{ МОм;}$$

$$R_c = R'_c \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{U_{\text{вн}}^2}, \quad (29)$$

$$R_c = 1,552 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 2,48 \text{ МОм;}$$

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{U_{\text{вн}}^2}, \quad (30)$$

$$X_c = 0,082 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 0,131 \text{ МОм.}$$

«Сопротивления КЛ до РП» [7]:

$$R_{кл1} = r_0 \cdot L_{кл1}, \quad (31)$$

$$R_{кл1} = 0,109 \cdot 56,28 = 6,124 \text{ мОм.}$$

$$X_{кл1} = x_0 \cdot L_{кл1}, \quad (32)$$

$$X_{кл1} = 0,0413 \cdot 56,28 = 2,326 \text{ мОм.}$$

«Сопротивления КЛ до ЭП №1, по (27,28)» [7]:

$$R_{кл2} = 8,65 \cdot 4,63 = 40,0545 \text{ мОм;}$$

$$X_{кл2} = 0,637 \cdot 4,63 = 2,95 \text{ мОм.}$$

«Сопротивления шинпровода ШРА 630 по справочным данным:  $r_0 = 0,1$  мОм/м;  $x_0 = 0,13$  мОм/м. Также находятся удельные сопротивление петли фаза-ноль:  $r_{0п} = 0,2$  мОм/м;  $x_{0п} = 0,26$  мОм/м» [19].

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш}, \quad (33)$$

$$R_{ш} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ мОм;}$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш}, \quad (34)$$

$$R_{ш} = 0,13 \cdot 0,5 = 0,065 \text{ мОм.}$$

«Для ступеней распределения, переходные сопротивления:  $R_{c1} = 15$  мОм;  $R_{c2} = 20$  мОм» [14].

«Эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ» [6]:

$$R_{\text{э0}} = R_{mc} + R_c, \quad (35)$$

$$R_{\text{э0}} = 6,429 + 2,48 = 8,91 \text{ мОм;}$$

$$X_{\text{э0}} = X_{mc} + X_c, \quad (36)$$

$$X_{\vartheta 0} = 126,864 + 0,131 = 126,995 \text{ мОм};$$

$$R_{\vartheta 1} = R_m + R_{QF1} + R_{nQF1} + R_{c1}, \quad (37)$$

$$R_{\vartheta 1} = 9,4 + 0,06 + 0,07 + 15 = 24,53 \text{ мОм};$$

$$X_{\vartheta 1} = X_m + X_{QF1}, \quad (38)$$

$$X_{\vartheta 1} = 27,2 + 0,07 = 27,27 \text{ мОм};$$

$$R_{\vartheta 2} = R_{QF2} + R_{nQF2} + R_{к11} + R_{ш} + R_{c2}, \quad (39)$$

$$R_{\vartheta 2} = 0,112 + 0,25 + 6,124 + 0,05 + 20 = 26,536 \text{ мОм};$$

$$X_{\vartheta 2} = X_{QF2} + X_{к11} + X_{ш}, \quad (40)$$

$$X_{\vartheta 2} = 0,13 + 2,326 + 0,065 = 2,521 \text{ мОм};$$

$$R_{\vartheta 3} = R_{QF3} + R_{nQF3} + R_{к12}, \quad (41)$$

$$R_{\vartheta 3} = 1,3 + 0,75 + 40,0545 = 42,1045 \text{ мОм};$$

$$X_{\vartheta 3} = X_{QF3} + X_{к12}, \quad (42)$$

$$X_{\vartheta 3} = 1,2 + 2,95 = 4,15 \text{ мОм}.$$

«Сопротивления до точек К3» [7]:

$$R_{\kappa 0} = R_{\vartheta 0} = 8,91 \text{ мОм};$$

$$X_{\kappa 0} = X_{\vartheta 0} = 126,995 \text{ мОм};$$

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{R_{\kappa 0}^2 + X_{\kappa 0}^2}, \quad (43)$$

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{8,91^2 + 126,995^2} = 127,307 \text{ мОм};$$

$$R_{\kappa 1} = R_{\vartheta 0} + R_{\vartheta 1}, \quad (44)$$

$$R_{\kappa 1} = 8,91 + 24,53 = 33,44 \text{ мОм};$$

$$X_{\kappa 1} = X_{\vartheta 0} + X_{\vartheta 1}, \quad (45)$$

$$X_{\kappa 1} = 126,995 + 27,27 = 154,265 \text{ мОм};$$

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{33,44^2 + 154,265^2} = 157,848 \text{ мОм};$$

$$R_{\kappa 2} = R_{\vartheta 0} + R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2}, \quad (46)$$

$$R_{\kappa 2} = 8,91 + 24,53 + 26,536 = 59,98 \text{ мОм};$$

$$X_{\kappa 2} = X_{\kappa 0} + X_{\kappa 1} + X_{\kappa 2}, \quad (47)$$

$$X_{\kappa 2} = 126,995 + 27,27 + 2,521 = 156,785 \text{ мОм};$$

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{59,98^2 + 156,785^2} = 167,87 \text{ мОм};$$

$$R_{\kappa 3} = R_{\kappa 2} + R_{\kappa 1}, \quad (48)$$

$$R_{\kappa 3} = 59,98 + 42,1045 = 102,082 \text{ мОм};$$

$$X_{\kappa 3} = X_{\kappa 2} + X_{\kappa 1}, \quad (49)$$

$$X_{\kappa 3} = 156,785 + 4,15 = 160,935 \text{ мОм};$$

$$Z_{\kappa 3} = \sqrt{102,082^2 + 160,935^2} = 190,58 \text{ мОм}.$$

«Определяются трехфазные токи КЗ:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \quad (50)$$

где  $U_{\kappa}$  – напряжение в точке КЗ., кВ;

$Z_{\kappa}$  – эквивалентное сопротивление цепи до точки КЗ, мОм» [18].

«Ударные токи КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (51)$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент, для сетей 10 кВ принимается равным

1,8; для сетей до 1 кВ равным 1,3» [14].

Двухфазные и однофазные токи КЗ:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (52)$$

$$I_{\kappa}^{(1)} = 0,55 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (53)$$

«В точке К0, по (50-52)» [4]:

$$I_{\kappa 0}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 127,307} = 1,81 \text{ кА.}$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,81 = 4,62 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,81 = 1,57 \text{ кА.}$$

«Результаты расчетов токов КЗ представлены в таблице 7» [10].

Таблица 7– Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_{\kappa}^{(2)}$ , кА	$I_{\kappa}^{(1)}$ , кА
К0	1,81	4,62	1,57	-
К1	1,46	2,69	1,27	0,80
К2	1,31	2,40	1,13	0,72
К3	1,15	2,12	1,0	0,63

Полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов и токов двухфазного КЗ, на шинах 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств подстанции, а также для проверки уставок релейной по условиям чувствительности защиты силовых трансформаторов и питающих линий на стороне 10 кВ объекта исследования.

Данные мероприятия проводятся в работе далее с необходимым техническим обоснованием.

## 2.8 Выбор автоматических выключателей

Далее в работе, на основании технических исходных данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования распределительных устройств с целью проведения модернизации участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Известно, что автоматы являются наилучшим вариантом защиты и коммутации сети 0,4 кВ. Они обеспечивают автоматическое отключение цепи под действием токов КЗ и прочих ненормальных режимов. Также автоматы используются в коммутационных схемах с целью включения и отключения линий. Такие процессы возможно осуществлять как в автоматическом режиме, так и в ручном. Основными элементами автомата, обеспечивающим отключение, являются расцепители. Наибольшее распространение получили автоматы с тепловыми и электромагнитными типами расцепителей. Такие автоматы просты в исполнении, ремонтнопригодные, надёжные и экономичные. Поэтому в работе устанавливаются во всех распределительных устройствах автоматы данной модификации.

«Выбор автоматических выключателей (АВ) для защиты КЛ 0,4 кВ производится по условиям:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (54)$$

- по току теплового расцепителя (ТР)» [2]:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (55)$$

«Пример выбора АВ для защиты КЛ к ЭП №1, по (55)» [2]:



$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot 4,02 = 4,421 \text{ А.}$$

«Выбирается ВА-47-29/5, уставка ТР 4,5 А. Результат выбора АВ сведен в таблице 8» [2].

Таблица 8 – Выбор автоматических выключателей

Участок	$1,1 \cdot I_p$ , А	Марка АВ	Ином, А	Ит.р., А
1	4,421	ВА-47-29	5	4,5
2	0,031	ВА-47-29	0,5	0,4
3	0,031	ВА-47-29	0,5	0,4
4	1,881	ВА-47-29	2	2,0
5	1,065	ВА-47-29	1,6	1,3
6	1,065	ВА-47-29	1,6	1,3
7	1,065	ВА-47-29	1,6	1,3
РП-1	9,560	ВА-47-29	10	10,0
8	3,146	ВА-47-29	4	3,2
9	3,146	ВА-47-29	4	3,2
10	3,146	ВА-47-29	4	3,2
11	3,146	ВА-47-29	4	3,2
12	3,146	ВА-47-29	4	3,2
13	3,146	ВА-47-29	4	3,2
14	2,117	ВА-47-29	2,5	2,3
15	11,341	ВА-47-29	13	11,7
16	10,154	ВА-47-29	13	10,4
РП-2	42,490	ВА-47-29	50	45,0
17	3,146	ВА-47-29	4	3,2
18	3,146	ВА-47-29	4	3,2
19	3,146	ВА-47-29	4	3,2
20	3,146	ВА-47-29	4	3,2
21	3,146	ВА-47-29	4	3,2
22	3,146	ВА-47-29	4	3,2
23	2,117	ВА-47-29	2,5	2,3
24	11,341	ВА-47-29	13	11,7
РП-3	32,336	ВА-47-29	40	36,0
25	45,910	ВА-47-29	50	50,0
26	45,910	ВА-47-29	50	50,0
27	45,910	ВА-47-29	50	50,0
40	79,386	ВА-47-100	80	80,0
РП-4	217,115	ВА-52-39	250	225,0
28	0,130	ВА-47-29	0,5	0,4
30	4,460	ВА-47-29	5	4,5
31	4,460	ВА-47-29	5	4,5
32	4,460	ВА-47-29	5	4,5
33	4,460	ВА-47-29	5	4,5

## Продолжение таблицы 8

Участок	$1 \cdot I_p, A$	Марка АВ	Ином, А	Ит.р., А
34	38,883	ВА-47-29	40	40,0
РП-5	56,852	ВА-47-29	63	63,0
29	0,130	ВА-47-29	0,5	0,4
35	78,567	ВА-47-29	80	80,0
36	2,859	ВА-47-29	3	3,0
37	35,643	ВА-47-29	40	36,0
38	35,643	ВА-47-29	40	36,0
39	35,643	ВА-47-29	40	36,0
РП-6	188,484	ВА-52-39	250	200,0

Все автоматы показаны также в графической части работы.

### 2.9 Релейная защита и автоматика

В работе проводится выбор блоков РЗиА для защиты оборудования трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

В старых ячейках типа КСО-366, которые были установлены изначально в РУ-10 кВ и которые рекомендуется демонтировать и заменить на ячейки типа КРУ К-213, были установлены старые комплекты защит на базе электромеханических типов реле РТ-40, РТМ и РТВ-80.

Известно, что устаревшее и изношенное оборудование электромеханической релейной защиты не обеспечивает требуемый уровень защит элементов ПС и отходящих линий [12].

Требуется обеспечить микропроцессорную РЗ на основе специализированных терминалов, имеющую надлежащий уровень быстродействия, надежности и селективности.

Исходя из результатов проведённого анализа, для защиты кабельных линий 10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, принимаются к установке терминалы Сириус-2Л-02, внешний вид которых показан на рисунке 4 [23].



Рисунок 4 – Внешний вид РЗА «Сирius-2Л-02» для защиты кабельных линий 10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни

Проводится выбор уставок релейной защиты и автоматики для защиты питающих линий 10 кВ и силовых трансформаторов питающей ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

«Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{omc} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (56)$$

где  $K_{omc}$  – коэффициент отстройки, равен 5,0 для РЗА» [1].

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,01443 = 0,072 \text{ кА.}$$

«МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{p.макс} , \quad (57)$$

где  $I_{p.макс}$  – расчетный ток КЛ, А» [1].

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 18,436 = 25,594 \text{ А}$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T} , \quad (58)$$

где  $k_{cx} = 1$  – коэффициент схемы подключения ТТ;

$n_T$  – коэффициент трансформации ТТ» [1].

$$I_{CP} = 25,594 \cdot \frac{1}{30/5} = 4,266 \text{ А}$$

«Чувствительность РЗиА» [1]:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} , \quad (59)$$

$$k_q = \frac{1570}{25,594} = 61,34 \geq 1,5$$

«Защита от замыканий на землю» [19].

«Ток срабатывания:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C , \quad (60)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, равен 1,2 для РЗА;

$k_B$  – коэффициент броска ёмкостного тока, равен 2,5 для РЗА;

$I_C$  – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (61)$$

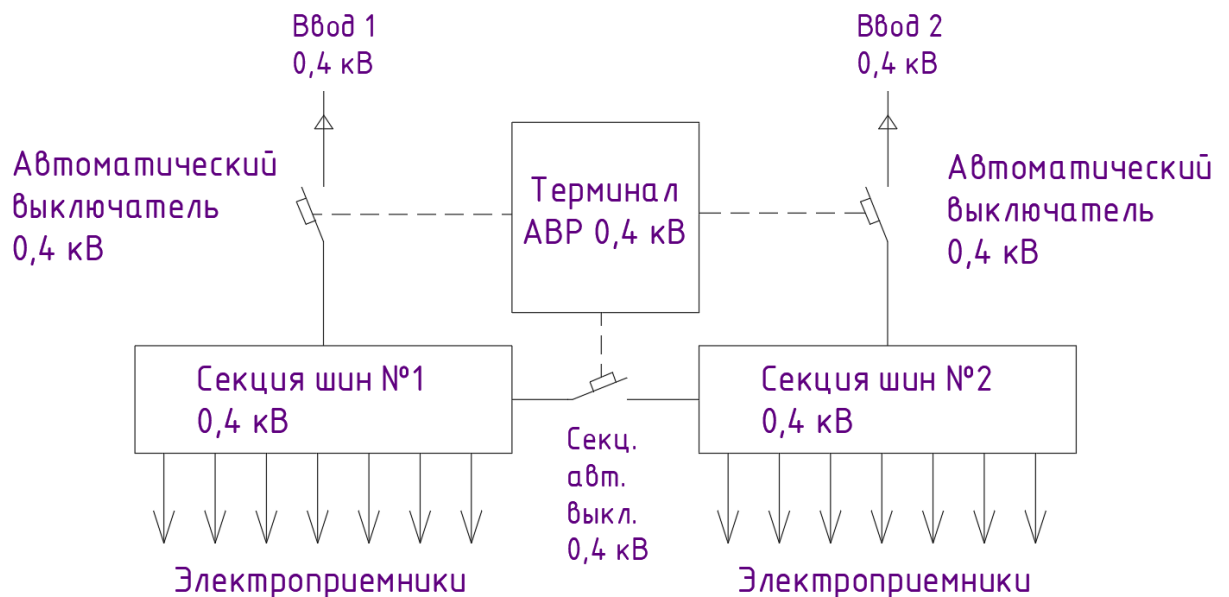
где  $I_{CO}$  – удельный ёмкостный ток кабеля, А/км;

$L$  – длина линии, км» [1].

$$I_C = 0,55 \cdot 0,8 = 0,44 \text{ А}$$

$$I_{C.з.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,44 = 1,32 \text{ А}$$

«АВР предназначен для автоматического переключения питания ответственных потребителей на резервный источник при пропадании либо несоответствии норме показателей качества питания с основного источника. Упрощенная схема АВР 0,4 кВ – на рисунке 5» [9].



«Рисунок 5 – Упрощенная схема АВР 0,4 кВ» [9]

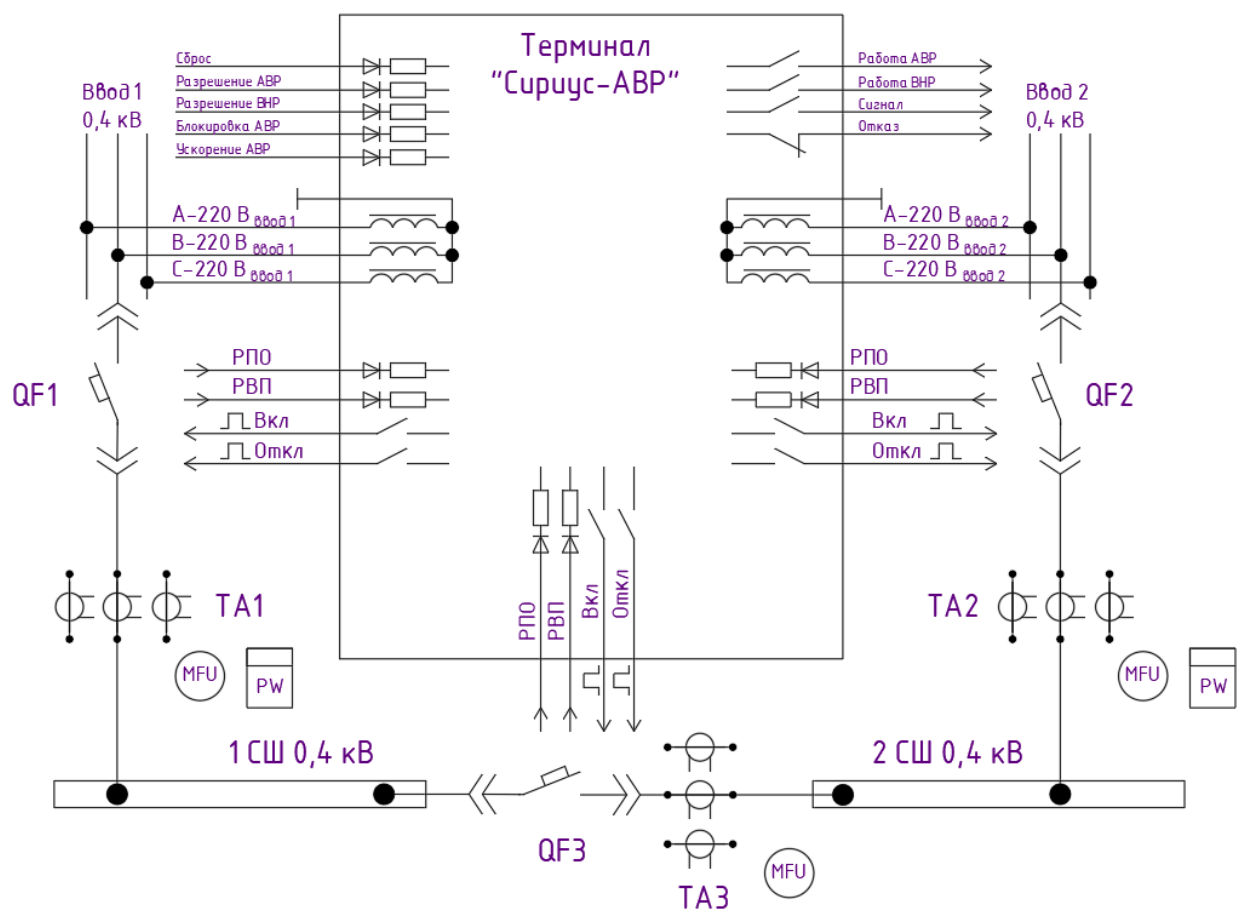
«Внешний вид блока «Сириус-АВР» показан на рисунке 6» [9].



«Рисунок 6 – Внешний вид блока «Сириус-АВР»» [9]

«Для обеспечения дистанционного управления и контроля состояния, вводные и секционный автоматические выключатели на вводе 0,4 кВ и секционной перемычке выбираются с электромагнитным приводом. Терминал Сириус-АВР обеспечивает автоматический ввод резервного источника при пропадании напряжения на одном из питающих вводов и автоматическое восстановление схемы нормального режима питания. В нормальном режиме работы питание подается на оба ввода 0,4 кВ, секционный выключатель отключен. При пропадании напряжения на одном из вводов, АВР отключает выключатель этого ввода (QF1 или QF2) и включает секционный выключатель (QF3). После проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ и появлении питания на втором вводе 0,4 кВ, терминал АВР автоматически восстанавливает схему нормального режима питания, включая выключатель ввода (QF1 или QF2) и отключая секционный выключатель (QF3)» [9].

«Схема АВР 0,4 кВ показана на рисунке 7» [20].



Зона	Поз. обозн.	Обозначение	Кол.	Примечание
		Автоматические выключатели		
	QF1..QF3	ВА-52-39	3	
		Трансформаторы тока		
	TA1..TA3	ТШЛ-0,66-У1	9	

«Рисунок 7 – Схема АВР 0,4 кВ» [9]

«Уставка пускового органа минимального напряжения выбирается по условию:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (62)$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение сети, В» [1].

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

«Напряжение срабатывания максимального реле напряжения, контролирующего наличие напряжения на другой секции, выбирается по условию» [1]:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (63)$$
$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

«Время срабатывания реле времени пускового органа напряжения АВР выбирается по условию:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (64)$$

где  $t_1$  – наибольшее время срабатывания автоматических выключателей при КЗ на отходящих линиях, с;  
 $\Delta t$  – ступень селективности, с» [1].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Таким образом, все уставки РЗА соответствуют требованиям [9].

Выводы по разделу 2.

При разработке проекта системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений потребителей, секций сборных шин, а также всей питающей трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни в целом;
- для установки на трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих



здоровый образ жизни обоснованы и рекомендованы силовые трансформаторы марки ТМГ-12-250/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;

- выбраны и проверены сечения проводников трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, а также питающей и распределительной сетей системы электроснабжения данного участка цеха;
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ;
- выбраны новые современные автоматические воздушные выключатели для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также вводные и линейные автоматы для защиты и коммутации питающих и отходящих линий 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по проектированию и модернизации оборудования участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

В работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, рассчитаны уставки основных устройств микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов 10/0,4 кВ и питающих линий на подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Для применения на объекте исследования обоснован выбор микропроцессорных блоков (терминалов) РЗиА:

- «Сириус-2Л-02» для защиты кабельных линий 10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни;
- терминал «Сириус-АВР» для автоматики на секционном выключателе питающей сети участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

С учётом выбора типов и уставок релейной защиты и автоматики, все основные элементы и оборудование питающей ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни будут защищены.

## 3 Охрана труда, обеспечение безопасности

### 3.1 Обеспечение охраны труда

«В целом охрана труда (ОТ) и техника безопасности (ТБ) при монтаже, эксплуатации, обслуживании, ремонте системы электроснабжения обеспечиваются согласно действующему ГОСТ 12.0.004-2015» [5].

«Обеспечение ОТ на предприятии осуществляется организационными и техническими мероприятиями. В целом за организацию и обеспечение охраны труда отвечает специальная служба охраны труда (СОТ), являющаяся самостоятельным структурным подразделением предприятия. Персонал СОТ включает штат специалистов по ОТ во главе с руководителем службы» [11].

«Для обеспечения безопасности технологического процесса в первую очередь необходимо проводить инструктажи и проверки по работе с оборудованием и использованию СИЗ. На всех производственных участках предусмотрена установка плакатов по ТБ, ОТ и СИЗ, пример плаката приведен на рисунке 8» [11].



Рисунок 8 – Плакат по использованию СИЗ

### 3.2 Заземление и молниезащита ТП

«Максимально допустимое сопротивление со стороны 0,4 кВ  $R_3=4$  Ом» [13].

«Удельное сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных электродов с учетом коэффициента сезонности определяется по формуле:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (65)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта (известняк), 2000 Ом · м;

$K_c$  – коэффициент сезонности» [12].

$$\rho_{pe} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{pe} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Используется контурное заземление. Для вертикальных электродов (ВЭ) используем угловую сталь 50×50 мм, для горизонтального электрода (ГЭ) используем полосовую сталь 50×5 мм» [12],

«Сопротивление растеканию для одного вертикального заземлителя  $R_{овэ}$  (Ом) определяется по формуле:

$$R_{овэ} = \frac{\rho_{pe}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (66)$$

где  $l$  – длина ВЭ, м;

$d$  – диаметр (для угловой стали приведенный диаметр) вертикального электрода, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (67)$$

где  $b$  – ширина уголка, м» [12].

Для одного ВЭ, по (66,67):

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м}$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,962 \text{ Ом}$$

«Расчетное число вертикальных электродов определяется по формуле:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_{\text{н}} \quad (68)$$

где  $R_{\text{н}} = 4 \text{ Ом}$  – допустимое сопротивление заземления, Ом» [13].

$$n' = 60,962 / 4 = 15,2 \approx 16 \text{ шт}$$

«Длина горизонтальной полосы определяется по формуле:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n' \quad (69)$$

где  $a$  – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n' \quad (70)$$

где  $l_{\text{пер}}$  – периметр здания ТП, м» [12].

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (9,97 + 7,62) = 35,18 \text{ м}$$

$$a = 35,18 / 16 = 2,2 \text{ м}$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 2,2 \cdot 16 = 36,96 \text{ м}$$

«Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя определяется по формуле:

$$R_{23} = \frac{\rho_{pe}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{l^2}{d \cdot t}\right) \quad (71)$$

где  $l$  – длина горизонтального электрода, м;

$d$  – диаметр (для полосы расчетный диаметр) электрода, м;

$t$  – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (72)$$

где  $b$  – ширина полосы, м» [12].

«Для ГЭ, по (71,72)» [3]:

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м}$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м}$$

$$R_{23} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 36,96} \cdot \ln\left(\frac{36,96^2}{0,025 \cdot 0,825}\right) = 2,757 \text{ Ом}$$

«Эквивалентное сопротивление группового заземлителя:

$$R_{zp} = \frac{R_{063} \cdot R_{23}}{R_{063} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{23} \cdot \eta_2} \quad (73)$$

где  $\eta_6$  – коэффициент использования вертикальных электродов;

$\eta_2$  – коэффициент использования горизонтальных электродов» [12].

$$R_{zp} = \frac{60,962 \cdot 2,757}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,757 \cdot 0,3} = 3,792 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

«Схема заземления ТП-10/0,4 кВ цеха на рисунке 9» [5].

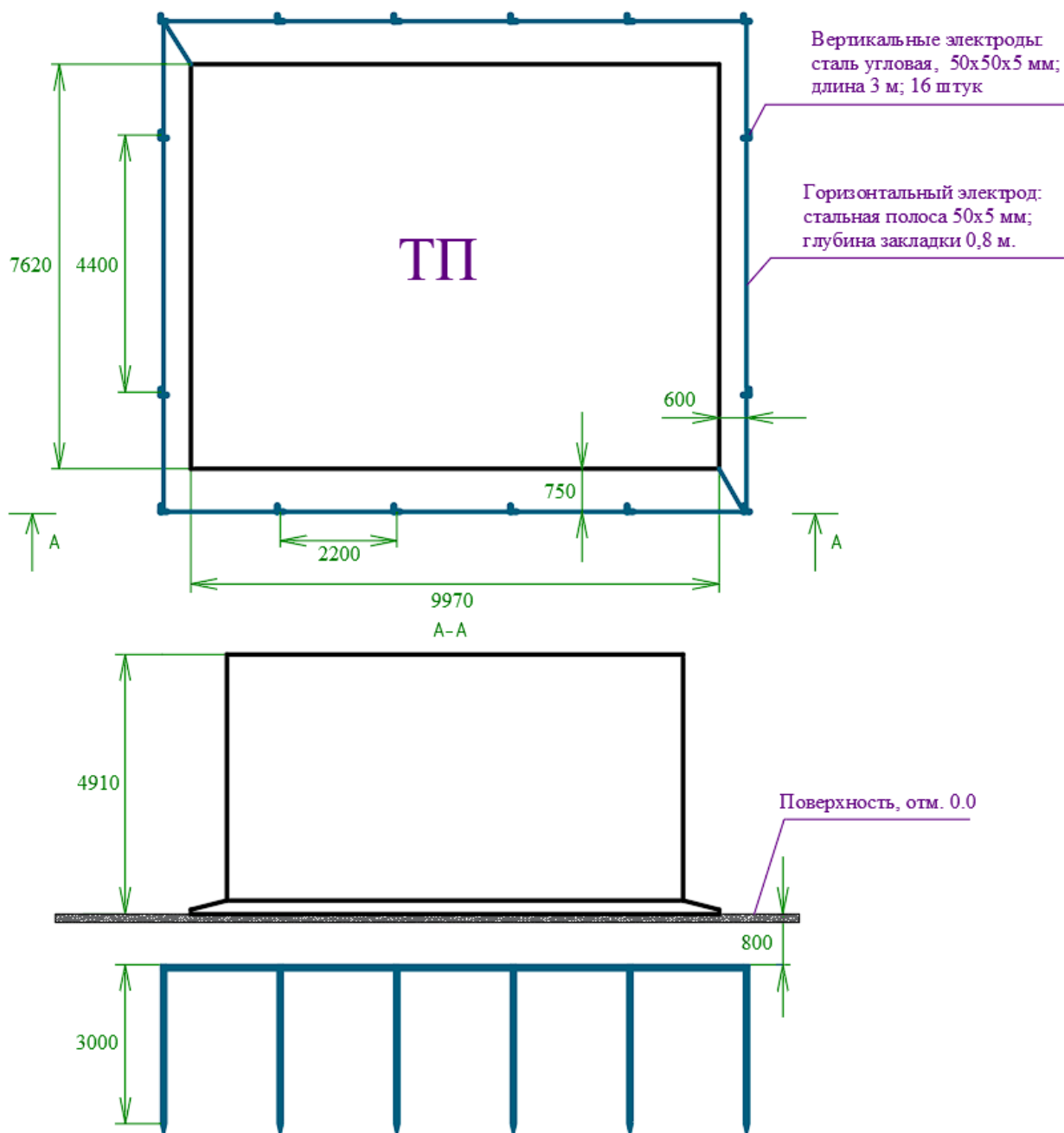


Рисунок 9 – Схема заземления ТП

«Используемая КТПН в металлическом корпусе не требует дополнительных мер по молниезащите ввиду полностью металлического корпуса, соединенного с контуром заземления» [20].

### 3.3 Охрана окружающей среды

ГОСТ Р 54906-2012 «устанавливает нормы выбора оборудования и технических решений с условиями причинения наименьшего ущерба окружающей среде» [21].

«Современные автоматические выключатели серии ВА изготавливаются с учетом минимизации отходов производства. Корпус выполняется из экологичного пластика с минимальным выделением дыма и токсичных веществ при нагреве. Современные марки кабелей соответствуют требованиям ГОСТ 31996-2012 по характеристикам в нормальных и аварийных режимах работы и ГОСТ Р 54906-2012 по экологичности эксплуатации. Силовые трансформаторы ТП современной серии ТМГ12 имеют уменьшенные массогабаритные показатели, окрашены современной экологичной акриловой краской, имеющей улучшенные антикоррозийные свойства, не требуют обслуживания и замены масла» [20].

«Монтаж системы электроснабжения выполняется с помощью современных инструментов и оборудования, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду: при приготовлении траншей под кабельную линию до ТП используется микроэкскаватор; при нагреве термоусадки применяется экологичная газовая горелка; применяется пылеотсос при штроблении стен» [20].

Надлежащий уровень экологической безопасности обеспечивается проектированием СЭС согласно актуальным нормативным документам.

Выводы по разделу 3.

Для безопасного проведения работ в электроустановках системы электроснабжения проектируемого цеха, проведена разработка мероприятий по охране труда и окружающей среды. Также рассчитан контур заземления питающей ТП-10/0,4 кВ объекта проектирования.



## Заключение

В работе проведена разработка СЭС цеха по производству пищевой рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Приведена основная информация по объекту проектирования, а также план расположения потребителей цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

На основе кратких основных нормативных положений, с учётом проведённого ранее анализа, проводится анализ норм проектирования систем электроснабжения цехов и участков промышленных предприятий, к которым относится цех по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Установлено, что проектирование СЭС цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, необходимо проводить в соответствии с нормами и основными положениями нормативных документов.

Всё это позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание, технические осмотры, дефектацию и ремонт данного оборудования.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по проверке на работоспособность схемы главных электрических соединений нормального режима внешнего электроснабжения с учётом модернизации оборудования и сетей внутреннего электроснабжения цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

При разработке проекта системы электроснабжения участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни,

обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений потребителей, секций сборных шин, а также всей питающей трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни в целом;
- для установки на трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни обоснованы и рекомендованы силовые трансформаторы марки ТМГ-12-250/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;
- выбраны и проверены сечения проводников трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, а также питающей и распределительной сетей системы электроснабжения данного участка цеха;
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ;
- выбраны новые современные автоматические воздушные выключатели для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни, а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также вводные и линейные автоматы для защиты и коммутации питающих и отходящих линий 0,38/0,22 кВ.

В работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, рассчитаны уставки основных устройств микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов 10/0,4 кВ и питающих линий на подстанции ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

Для применения на объекте исследования обоснован выбор микропроцессорных блоков (терминалов) РЗиА:

- «Сириус-2Л-02» для защиты кабельных линий 10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни;
- терминал «Сириус-АВР» для автоматики на секционном выключателе питающей сети участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

С учётом выбора типов и уставок релейной защиты и автоматики, все основные элементы и оборудование питающей ЦТП-10/0,4 кВ участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни будут защищены.

Для безопасного проведения работ в электроустановках системы электроснабжения проектируемого цеха, проведена разработка мероприятий по охране труда и окружающей среды. Также рассчитан контур заземления питающей ТП-10/0,4 кВ объекта проектирования.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по проектированию и модернизации оборудования участка цеха по производству рыбной продукции для людей, ведущих здоровый образ жизни.

## Список используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2019. 256 с.
2. Выключатели автоматические ВА. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkciya/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 14.05.2023).
3. Гуревич, Ю.Е. Особенности электроснабжения промышленного потребителя. Москва: Торус Пресс, 2019. 408 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.: Энергия, 2020. 1072 с.
6. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.
7. Конюхова Е.А. Электроснабжение. М.: Академия, 2020. 320 с.
8. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения. М.: Государственное энергетическое издательство, 2018. 176 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
10. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
11. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. М.: Энергопромиздат, 2018. 376 с.
12. Полуянович Н. К. Монтаж и наладка систем электроснабжения / Н.К. Полуянович. М.: Лань, 2019. 400 с.
13. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок

- потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
15. Правила устройства электроустановок. М.: Альвис, 2018. 632 с.
16. Релейная защита и автоматика [Электронный ресурс]: URL: <http://www.elektroshchit.ru/siemens-relejnaja-zashhita-i-avtomatika/> (дата обращения: 14.05.2023).
17. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
18. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.: Техноперспектива, 2018. 436 с.
19. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
20. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 14.05.2023).
21. Barker R. CASE Method. Entity-Relationship Modeling. N.Y.: Addition-Wesley Publishing Company, 2021.
22. Bevez S. Evaluation and Forecast of Electric Energy Losses in Distribution Networks Applying Fuzzy-Logic. Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2018. IEEE.
23. Galiana F. Identification of stochastic electric load models from physical data IEEE Trans. AC. 2018. №6. P. 887-893.
24. Gupta P.C. Adaptive short-term forecasting of hourly loads using weather information. IEEE Trans. Power Appar. And Syst. 2002. №5. P.64 – 70.
25. Panuska V. Short-term forecasting of electric power system load from a weather dependent model. Contr. and Prot. Electr. Power Syst., Melbourne, 2019.