

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения складского комплекса «Верный»

Обучающийся

Р.В. Колпаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Пояснительная записка содержит:

- 49 страниц;
- 12 таблиц;
- 7 рисунков;
- 20 источников.

Ключевые слова: модернизация, мощность, ток сеть, защита сети.

Объект исследования:

- система электроснабжения складского комплекса «Верный».

Предмет исследования:

- складской комплекс «Верный».

Цель исследования:

- разработка проекта модернизации системы электроснабжения складского комплекса «Верный».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ существующей системы электроснабжения;
- расчёт силовых электрических нагрузок;
- расчёт компенсации реактивной мощности и силовых трансформаторов;
- расчёт токов КЗ;
- выбор коммутационного оборудования в трансформаторной подстанции;
- выбор кабельных линий;
- выбор устройства автоматического включения резерва;
- расчет заземляющего устройства.

## Содержание

Введение.....	4
1 Описание объекта исследования .....	6
1.1 Исходные данные .....	6
1.2 Обоснование реконструкции .....	8
2 Расчет системы электроснабжения .....	11
2.1 Расчет нагрузок системы освещения .....	11
2.2 Расчет силовых электрических нагрузок.....	15
2.3 Расчет общей нагрузки .....	20
2.4 Выбор силовых трансформаторов.....	21
2.5 Расчет кабельных линий.....	23
2.6 Расчет токов короткого замыкания .....	26
2.7 Выбор и проверка аппаратов защиты и коммутации .....	32
3 Выбор АВР.....	38
4 Расчет системы заземления.....	42
Заключение .....	47
Список используемых источников.....	50

## Введение

Актуальность. Соблюдение правил по промышленному электрооборудованию на рабочих местах имеет важное значение для защиты как сотрудников, так и оборудования, а также для повышения производительности и срока службы оборудования. Соблюдение этих правил особенно важно при эксплуатации крупных электрических машин, поскольку они помогают обеспечить безопасность работников и снизить риск несчастных случаев. Несоблюдение этих правил может привести к серьезным травмам или даже смертельным случаям. Соблюдая правила, работники могут защитить себя и свести к минимуму риск поражения электрическим током при выполнении своих задач.

Уход за электрооборудованием очень важен для того, чтобы оно работало хорошо и прослужило долго. Если мы будем регулярно его проверять и следовать правилам его использования, мы сможем предотвратить его поломку или возникновение проблем, что может сэкономить нам деньги на ремонте. Придерживаясь предлагаемых протоколов, «промышленные предприятия могут оптимизировать производительность своего оборудования, сокращая время простоя и повышая производительность. Более того, соблюдение рабочих процедур для промышленного электрооборудования имеет решающее значение для соблюдения нормативных требований и поддержания отраслевых стандартов» [2]. Если бизнес не следует правилам, ему, возможно, придется заплатить деньги, попасть в неприятности с законом или потерять доверие людей. Но если они придерживаются правил, это показывает заботу о безопасности, бизнес производит качественные продукты и делает все правильно.

Внедряя эти рекомендации по эксплуатации, предприятия могут повысить безопасность сотрудников, улучшить производительность оборудования и соответствовать нормативным стандартам. Для промышленных предприятий жизненно важно сосредоточиться на

правильном использовании и обслуживании своих электрических систем, чтобы поддерживать безопасное и эффективное рабочее место..

Объект исследования – система электроснабжения складского комплекса «Верный».

Предмет исследования – складской комплекс «Верный».

Цель исследования – разработка проекта модернизации системы электроснабжения складского комплекса «Верный».

Для достижения указанной цели необходимо определить нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности, оценить силовые трансформаторы, рассчитать токи короткого замыкания, выбрать соответствующее оборудование трансформаторной подстанции и кабельных линий. А также выбрать устройства автоматического включения резерва и выполнить расчет заземляющего устройства трансформаторной подстанции.

## 1 Описание объекта исследования

### 1.1 Исходные данные

В данный момент электроснабжение зданий складского комплекса «Верный» (далее – складской комплекс) осуществляется от однотрансформаторной КТП 10/0,4 кВ.

На рисунке 1 приведен генплан складского комплекса «Верный».

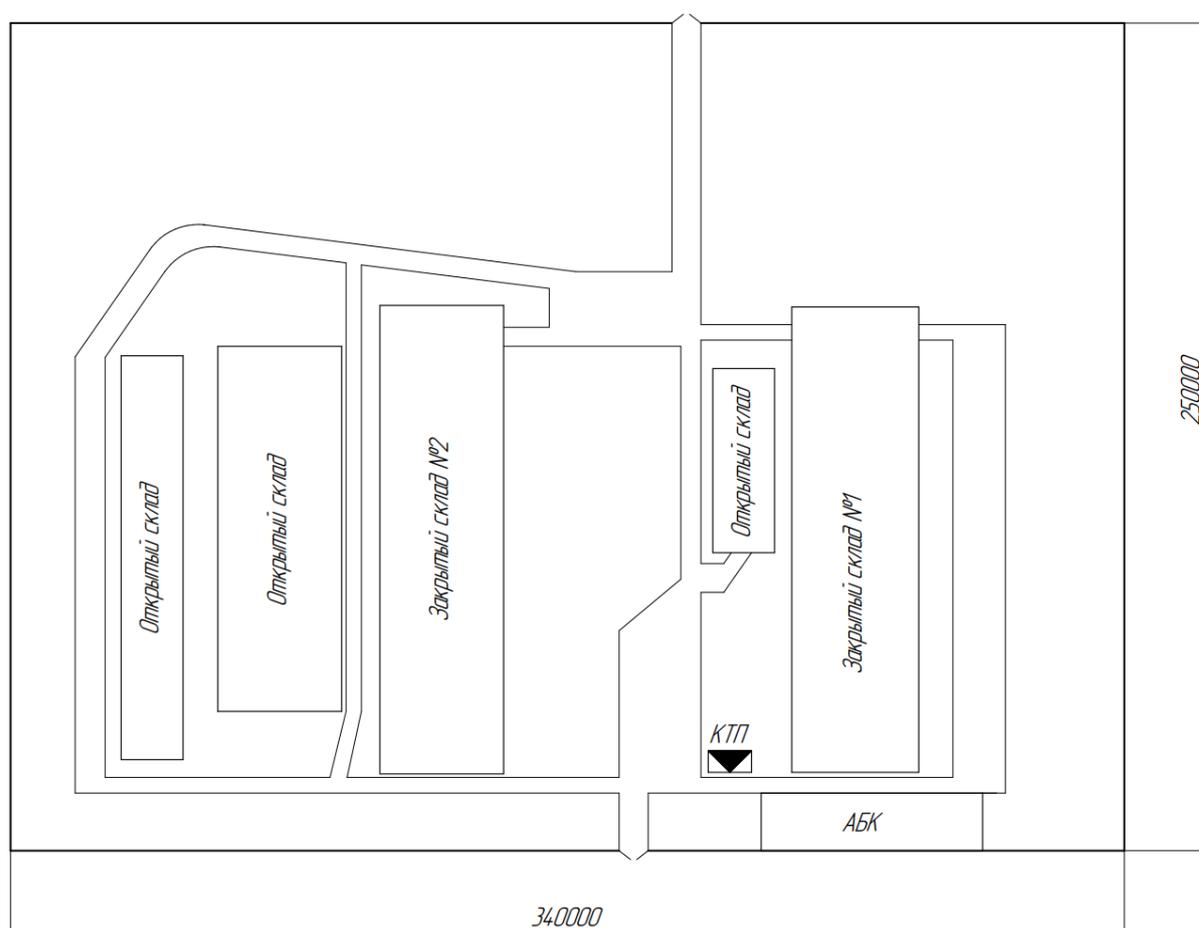


Рисунок 1 – Генплан складского комплекса «Верный»

Складской комплекс состоит из нескольких зданий, где производится товары, и каждое здание имеет свой собственный вход, который вы найдете вдоль главной дороги.

Действующая система электроснабжения представлена на рисунке 2.

Электротроценык	Кабельная линия	Марка	Сечение	Линейный АВ	Тип АВ	Номинальный ток, А	сш 0,4 кВ		
				Входной АВ	Тип АВ	Номинальный ток, А	Трансформатор тока	Тип ТТ	Номинальный ток, А
				Трансформатор	Тип	Мощность/напряжение кВ/кВ	Входной АВ	Тип АВ	Номинальный ток, А
				Аппарат защиты	Тип	Номинальный ток, А	Трансформатор	Тип	Номинальный ток, А
				Коммутационный аппарат	Тип АЗ	Номинальный ток, А			

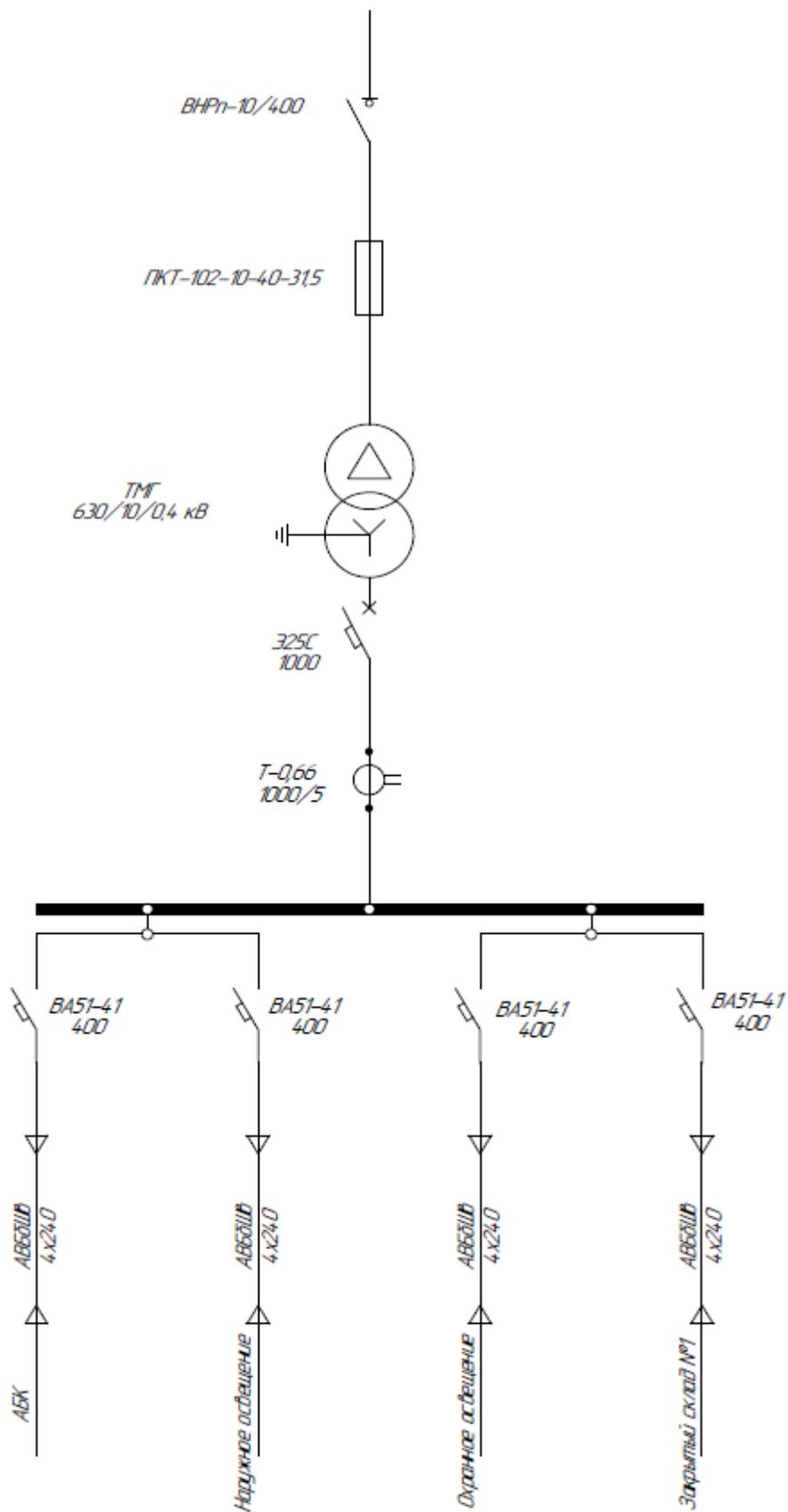


Рисунок 2 – Существующая однолинейная схема электроснабжения

В таблице 1 представлен список потребителей электроэнергии для складского комплекса.

Таблица 1 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

Название цеха	$\sum P_n$ , кВт	$I_n$ , А
АБК	265	383
Наружное освещение	12	18
Охранное освещение	2	2
Закрытый склад	230	332
Итого по 0,4 кВ:	509	734

Как видно на рисунке 2 и в таблице 1, на данный момент потребителями электроснабжения являются АБК, закрытый склад, а также система освещения.

## 1.2 Обоснование реконструкции

Необходимость реконструкции складского комплекса связана со строительством нового закрытого склада и реконструкцией существующего. Так как при этом повышаются требования к системе электроснабжения. Так, перерыв в электроснабжении может привести к сбою в работе систем поддержания микроклимата, систем вентиляции и аварийного освещения.

Стоит учесть, что существующая трансформаторная подстанция не предусматривает установку двух трансформаторов. Таким образом, установка второго трансформатора повлечет за собой необходимость в замене однострансформаторной КТП на двухтрансформаторную.

«Основным вопросом построения рациональной схемы электроснабжения является определение числа и мощности силовых трансформаторов, необходимых для бесперебойного энергоснабжения потребителей предприятия» [20].

«Число силовых трансформаторов зависит от категории надежности потребителей предприятия» [20].

«Административно-бытовой корпус относится в третьей категории надежности электроснабжения» [1].

Потребителям третьей категории надежности не нужен резервный источник питания или дополнительные генераторы. Однако им все равно очень важно быть готовыми быстро справляться с кратковременными отключениями электроэнергии и поддерживать свое оборудование в хорошем состоянии с помощью регулярных проверок.

«Электрооборудование, устанавливаемое на закрытых складах, такое как – систем поддержания микроклимата, систем вентиляции и аварийного освещения, относится к первой категории надежности электроснабжения» [20].

«Для системы электроснабжения, которая должна быть действительно надежной, мы должны убедиться, что есть резерв для основного источника питания. Это можно сделать, подключившись к двум разным источникам питания или используя резервный генератор. Если основное питание отключается, система должна автоматически переключиться на резервное питание, чтобы все продолжало работать» [1].

«Для поддержания стабильного электроснабжения требуется система стабилизации напряжения и частоты. Кроме того, важно иметь систему мониторинга и управления работой электроснабжения, чтобы оперативно реагировать на любые сбои. Также необходима защита от перегрузок и коротких замыканий для предотвращения повреждения оборудования» [1].

Выводы по разделу 1.

В данный момент, существующая КПП питает административно-бытовой корпус, а также, систему наружного и охранного освещения складского комплекса.

Распределение электроэнергии выполнено по КЛ-0,4 кВ.

Необходимость реконструкции складского комплекса связана со строительством нового закрытого склада и реконструкцией существующего. Так как при этом повышаются требования к системе электроснабжения. Так,

перерыв в электроснабжении может привести к сбою в работе систем поддержания микроклимата, систем вентиляции и аварийного освещения.

На территории предприятия предполагается два закрытых склада и один административно-бытовой корпус, а также три открытых склада.

Электроснабжение закрытых складов планируется обеспечить от двухтрансформаторной КТП 10/0,4 кВ.

Таким образом, для обеспечения надежного электроснабжения потребителей складского комплекса необходимо определить нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности, рассчитать силовые трансформаторы, нужно выбрать устройство автоматического включения, оценить токи короткого замыкания, рассчитать заземляющее устройство и выбрать оборудование для трансформаторных подстанций и кабельных линий.

## 2 Расчет системы электроснабжения

### 2.1 Расчет нагрузок системы освещения

«Сначала определяется площадь освещения территории складского комплекса» [16].

$$F_{\text{тер}} = F_{\text{завода}} - \sum F_{\text{цех}}, \quad (1)$$

«где  $F_{\text{завода}}$  - площадь складского комплекса (85000 м<sup>2</sup>);

$\sum F_{\text{цех}}$  - суммарная площадь зданий (24000)» [16].

$$F_{\text{тер}} = 85000 - 24000 = 61000 \text{ м}^2.$$

«По расчетной площади определяется активная нагрузка на освещение территории» [16].

$$P_{\text{тер}} = F_{\text{тер}} \cdot P_{\text{уд.о.т}}, \quad (2)$$

«где  $P_{\text{уд.о.т}} = 0,2 \text{ Вт/м}^2$  - удельная плотность осветительной нагрузки» [16].

$$P_{\text{тер}} = 61000 \cdot 0,2 = 12200 \text{ Вт} = 12,2 \text{ кВт}.$$

«Затем определяется реактивная и полная нагрузки на освещение территории» [16].

$$Q_{\text{тер}} = P_{\text{тер}} \cdot \text{tg}\varphi; \quad (3)$$

$$Q_{\text{тер}} = 12,2 \cdot 1,73 = 21,1 \text{ квар}.$$

«Таким образом, нагрузка на освещение территории складского комплекса составит» [1].

$$S_{\text{тер}} = \sqrt{12,2^2 + 21,1^2} = 24,4 \text{ кВА.}$$

«Расчетный ток определяется по формуле [16].

$$I_{\text{расч}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (4)$$

«Расчетный ток системы освещения территории складского комплекса составит» [16].

$$I_{\text{расч}} = \frac{24,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 35,2 \text{ А.}$$

«Охранное освещение устанавливается по периметру охраняемой зоны. Светильники располагаются на опорах вдоль ограды. В качестве источника света используются только светодиодные лампы» [16].

«По СП 52.13330.2011 охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в рабочее время, освещенность должна быть равна 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости» [17].

Расчет выполнен точечным методом для светодиодных светильников серии Topol M DKU 35 W. Светильники подходят для установки на стандартные столбы уличного освещения с максимальным диаметром 48 мм, а также могут монтироваться на стены с помощью кронштейна, позволяющего регулировать углы наклона. Они имеют степень защиты IP67, мощность лампы 35 Вт и коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,98$ .

«Ширина освещаемой зоны  $a = 10$  м. Нормированная минимальная освещенность  $E_H = 0,5$ лк» [19]. Высота расположения светильников 6 м. Коэффициент запаса светильников с лампами накаливания  $K_3 = 1,3$ . Световой поток лампы 3500 лм» [17].

«Световой поток определяется по формуле» [17].

$$\Phi_L = \frac{1000 \cdot E_H \cdot K_3 \cdot h^2}{\sum \varepsilon} \quad (5)$$

Таким образом, минимальная освещенность:

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 \cdot E_H \cdot K_3 \cdot h^2}{\Phi_L}; \quad (6)$$

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,3 \cdot 6^2}{3500} = 6,7 \text{ лк};$$

$$\varepsilon = \frac{\sum \varepsilon}{2}; \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{6,7}{2} = 3,3 \text{ лк.}$$

«По [17] установлено отношение высоты к расстоянию  $h/d = 0,35$ , что позволяет рассчитать расстояние до освещенной точки, которое составляет  $d = 17,14$  м. Соответственно, это определяет и расстояние между светильниками» [17].

$$L = 2 \cdot \sqrt{d^2 - b^2}; \quad (8)$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{17,14^2 - 10^2} = 27,85 \approx 28 \text{ м.}$$

Протяженность периметра:  $D = 1180$  м.

Количество светильников:  $N = D/L = 1180/28 = 42$  шт.

«Активная мощность нагрузки охранного освещения определяется по формуле» [17].

$$P = P_d \cdot N. \quad (9)$$

Таким образом, активная мощность нагрузки интегрированного аварийного освещения склада составит:

$$P = 0,035 \cdot 42 = 1,5 \text{ кВт.}$$

Дополнительная мощность, необходимая для освещения, обеспечивающего безопасность склада, составит:

$$Q = 1,5 \cdot 0,20 = 0,3 \text{ квар.}$$

Общая мощность охранного освещения в складском комплексе составляет:

$$S = \sqrt{1,5^2 + 0,3^2} = 1,5 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток системы охранного освещения территории складского комплекса составит:

$$I_{\text{расч}} = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,2 \text{ А.}$$

Таким образом, нагрузка системы освещения территории складского комплекса составила 24,4 кВА (35,2 А), нагрузка наружного освещения – 1,5 кВА (2,2 А).

Далее требуется определить актуальные силовые электрические нагрузки на объекте, с учетом которых будет выбираться новое электрооборудование системы электроснабжения (СЭС).

## 2.2 Расчет силовых электрических нагрузок

«Для расчета электрической нагрузки промышленного предприятия методом коэффициента максимума необходимо» [18].

- «получить справочные данные о значениях коэффициента мощности и коэффициента использования для каждого цеха на предприятии.
- определить нагрузку в сети 0,4 кВ путем умножения максимальной мощности каждого цеха на соответствующий коэффициент использования.
- рассчитать нагрузку в сети 0,4 кВ для всего предприятия путем суммирования нагрузок всех цехов» [18].

«Использование метода коэффициента максимума для расчета нагрузки предприятия позволяет получить более точные результаты благодаря учету максимальных значений мощности и использования оборудования в каждом цехе» [15].

«Сначала определяются активные и реактивные нагрузки за наиболее загруженную смену по формулам» [15].

$$P_C = K_{И} \cdot P_H \quad (10)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (11)$$

«После чего, определяется коэффициент расчетной мощности» [13]:

$$K_P = f(K_{И}; n_{Э}) \quad (12)$$

«Затем, определяется расчетная активная мощность, которая зависит от коэффициента расчетной мощности, после чего определяется расчетная реактивная мощность» [15].

$$P_P = K_P \cdot P_C; \quad (13)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C \text{ при } n_{Э} \leq 10; \quad (14)$$

$$Q_P = Q_C \text{ при } n_{Э} > 10. \quad (15)$$

«Полная расчетная мощность определяется формулой» [15].

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}. \quad (16)$$

«После расчета мощностей, выполняется расчет коэффициента использования по формуле» [15].

$$K_{И} = \frac{\sum P_C}{\sum P_H}; \quad (17)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}. \quad (18)$$

«Суммарная полная мощность находится по формуле» [15].

$$\sum S_P = \sqrt{\sum P_P^2 + \sum Q_P^2}. \quad (19)$$

«Здесь также сначала нужно найти номинальную суммарную мощность высоковольтной нагрузки по данной мощности одного ЭП и количеству ЭП» [15].

Мы можем вычислить, сколько полезной энергии и дополнительной энергии у нас есть, используя специальное число, называемое коэффициентом одновременности. Мы делаем это, используя некоторые математические формулы:

$$P_P = K_0 \cdot P_C; \quad (20)$$

$$Q_P = K_0 \cdot Q_C. \quad (21)$$

Далее будут проведены расчеты для административно-бытового здания, включающие оценку активных и реактивных электрических нагрузок для

пиковой смены этих объектов:

$$P_C = 0,5 \cdot 265,0 = 132,5 \text{ кВт.}$$

$$Q_C = 0,5 \cdot 265 \cdot 1,02 = 135,2 \text{ квар.}$$

«При коэффициенте использования  $K_{И} = 0,5$  и количестве эффективных ЭП  $n_{Э} = 10$  расчетный коэффициент равен» [5].

$$K_p = 0,9.$$

Таким образом, расчетные активная и реактивная для АБК:

$$P_p = 0,9 \cdot 132,5 = 119,3 \text{ кВт;}$$

$$Q_p = 148,7 \text{ квар.}$$

Полную расчетную мощность АБК:

$$S_p = \sqrt{119,3^2 + 148,7^2} = 190,6 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток системы охранного освещения территории складского комплекса составит:

$$I_{\text{расч}} = \frac{190,6}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 260,2 \text{ А.}$$

По остальным потребителям расчеты производятся аналогично.

«В последнюю очередь рассчитываются суммарные расчетные нагрузки по складскому комплексу в целом» [15].

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

Название цеха	пЭ	$\Sigma P_n$ , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_c$ , кВт	$Q_c$ , квар	$K_p / K_o$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
АБК	10	265	0,5	0,7	1,02	132,5	135,2	0,9	119,3	135,2	180,2	260,2
Закрытый склад №1	25	532	0,7	0,8	0,75	372,4	279,3	0,9	335,2	279,3	436,3	629,7
Закрытый склад №2	29	478	0,3	0,6	1,33	143,4	190,7	0,9	121,9	190,7	226,3	326,7
Наружное освещение	1	12,2	0,5	0,98	0,20	6,1	1,2	1,6	9,8	1,4	9,9	14,2
Охранное освещение	1	1,5	0,5	0,98	0,20	0,8	0,2	1,6	1,2	0,2	1,2	1,7
Итого по 0,4 кВ:	–	1275	0,5	0,73	0,93	655,2	606,6	–	587,3	606,7	853,9	1232,6

Таким образом, общая расчетная нагрузка складского комплекса составила 853,9 кВА (1232,6 А).

### 2.3 Расчет общей нагрузки

«После расчета нагрузок выполняется расчет номинальной мощности трансформаторов. Сначала необходимо выполнить расчет компенсации реактивной мощности – выбор конденсаторной установки» [14].

«Мощность конденсаторной установки вычисляется по формуле:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{к.р}), \quad (22)$$

где  $Q_{к.р}$  – расчетная мощность КУ, квар;

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

$P_p$  – расчетная активная мощность цеха, кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_{к.р}$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации» [14].

«После компенсации реактивной мощности значение  $tg\varphi_{к.р}$  должно быть в пределах от 0,33 до 0,48. Расчетную мощность округляют до ближайшего номинального значения» [14].

«После выбора конденсаторной установки выполняется расчет полной мощности цеха после компенсации» [14].

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2}. \quad (23)$$

«После этого рассчитывается мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 22» [14].

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 587,3 \cdot (0,93 - 0,35) = 306,6 \text{ квар.}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ. Так как планируется установка оборудования 1-й категории надежности, то будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем УКРМ-150-0,4» [20].

«Пересчитаем расчетную полную мощность с учетом компенсации реактивной мощности» [14].

$$S_p = \sqrt{587,3^2 + (606,7 - 300)^2} = 662,5 \text{кВА.}$$

«Расчетный ток потребителей складского комплекса с учетом компенсации реактивной мощности» [14].

$$I_{\text{расч}} = \frac{662,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 956,3 \text{ А.}$$

Таким образом, общая расчетная нагрузка складского комплекса с учетом компенсации реактивной мощности составила 662,5 кВА (956,3 А).

## 2.4 Выбор силовых трансформаторов

«В конце рассчитывается мощность цеховых трансформаторов по формуле 24» [18].

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (24)$$

«где  $S_T$  – полная мощность одного трансформатора, кВА;

$S_p$  – полная расчетная с учетом компенсации, кВА;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$N_T$  – количество трансформаторов, шт» [14].

«Расчетная мощность трансформатора округляется до ближайшей стандартной мощности по шкале ГОСТ 11920-85, ГОСТ 12965-85» [18].

Эффективность трансформаторов определяется уравнением:

$$S_T \geq \frac{662,5}{0,65 \cdot 2} = 509,6 \text{ кВА.}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 630 кВА» [3].

Расчетный ток на вводе 10 кВ составит:

$$I_{\text{расч}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34,6 \text{ А.}$$

Расчетный ток на вводе 0,4 кВ составит:

$$I_{\text{расч}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 909,3 \text{ А.}$$

Основные технические трансформатора приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технические трансформатора ТМГ-630/10/0,4

«Параметр	«Единица измерения	Значение
Напряжение ВН	кВ	10,0
Напряжение НН	кВ	0,4
Номинальная мощность	кВА	630
Потери холостого хода	кВт	1,31
Потери короткого замыкания	кВт	7,6
Напряжение короткого замыкания	%	5,5
Ток холостого хода» [14].	%	2,0» [14].

Следующим шагом будет выбор кабельных линий.

## 2.5 Расчет кабельных линий

Экономически целесообразную конструкцию поперечного сечения линии электропередачи можно определить с помощью формулы:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{ЭК}}}. \quad (25)$$

«Экономическая плотность тока для кабелей с бумажной и проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами, при числе часов использования максимум нагрузки  $T_{\text{макс}}$  от 3000 до 5000 ч/год, согласно ПУЭ, принимается  $j_{\text{Э}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ » [18].

В этом случае экономически целесообразное сечение кабеля, питающего силовые трансформаторы, составляет:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{34,6}{1,4} = 24,7 \text{ мм}^2.$$

«По результатам расчетов установлено, что минимальное сечение линии должно быть не меньше  $25 \text{ мм}^2$ » [18].

«Для питающей сети 10 кВ выбраны трехжильные кабели марки АПвБП» [1].

«АПвБП 10 кВ – это силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ)» [1].

Кабель с изоляцией из СПЭ – это замена кабелям с бумажной изоляцией в сетях на разные типы напряжения. Он имеет ряд преимуществ: большую температуру нагрева жил, пропускную способность, меньший вес, габариты и радиус изгиба.

«Проверяем провод по условию нагрева:

$$I_{\text{дл.доп}} \geq I_{\text{расч}}. \quad (26)$$

Длительно-допустимый ток для кабельной линии АПВБП сечением  $3 \times 25$  мм<sup>2</sup> составляет 91 А.

Таким образом:

$$91 \text{ А} \geq 34,6 \text{ А.}$$

Условие выполняется.

Далее необходимо выполнить проверку провода по допустимой потере напряжения:

$$\Delta U' = \sqrt{3} \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi), \quad (27)$$

где  $r_0, x_0$  – удельные активное и реактивное сопротивление линии, Ом» [14].

«Для кабельной линии АПВБП сечением  $3 \times 25$  мм<sup>2</sup> удельное активное сопротивление составляет 1,24 Ом/км, реактивное – 0,10 Ом/км» [1].

Таким образом, потеря напряжения кабельной линии АПВБП сечением  $3 \times 25$  мм<sup>2</sup> и протяженностью 1,4 км составит:

$$U' = \sqrt{3} \cdot 34,6 \cdot 1,4 \cdot (1,24 \cdot 0,9 + 0,10 \cdot 0,5) = 97,8 \text{ В.}$$

«Согласно источнику [2], допустимые потери ограничены 10%. Для сетей 10 кВ это соответствует допустимым потерям 1000 В. Поэтому кабельная линия одобрена для установки» [2].

«Для распределительной сети 0,4 кВ выбраны четырехжильные кабельные линии АВБбШв» [1].

«Расчет кабельных линий 0,4 кВ выполняется аналогично расчетам и проверкам линий 10 кВ. Для сетей 0,4 кВ допустимые потери составляют 38 В» [18].

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов кабельных линий 0,4 Кв

«Линия	Сечение кабеля	L, м	Рабочий ток, А	Допустимый ток, А	$\Delta U$ , В
АБК	4×240	100	260,2	337	5,9
Закрытый склад №1	2× (4×240)	100	629,7	2×337=674	15,2
Закрытый склад №2	4×240	200	326,7	337	13,6
Наружное освещение	4×6	50	14,2	40	6,4
Охранное освещение	4×6	20	1,7	40	0,3» [14].

Таким образом, кабельные линии приняты к установке.

«Можно провести расчет потерь мощности в КЛ для каждого участка по величинам активных сопротивлений каждого участка КЛ и тока, протекающего по данному участку используя формулу» [18].

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (28)$$

где  $I$  – ток участка КЛ, А;

$R$  – активное сопротивление участка КЛ, Ом.

«Потери мощности в кабельной линии АПвБП сечением 3×25 мм<sup>2</sup>, подающей электроэнергию на силовые трансформаторы складского комплекса, будут суммироваться» [18].

$$\Delta P = 3 \cdot 34,6^2 \cdot 1,24 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ кВт.}$$

«Годовые потери энергии за год на этом участке определим по формуле» [18].

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (29)$$

Годовые потери электроэнергии в кабельной линии АПвБП сечением 3×25 мм<sup>2</sup>, питающей трансформаторы складского комплекса, будут представлены  $\tau$  – временем потерь, связанным с временем работы максимальной нагрузки, ч:

$$\Delta W = 0,4 \cdot 2000 = 800 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Результаты расчетов потерь КЛ 0,4 кВ электрической сети представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели потерь КЛ 0,4 кВ

Участок КЛ 0,4 кВ	I, А	R <sub>0</sub> , Ом/км	L, м	ΔP, тыс. кВт	ΔW, тыс. кВт·ч
АБК	275,1	0,132	200	2,680	5360,5
Закрытый склад №1	668,3	0,066	200	7,852	15704,0
Закрытый склад №2	316,1	0,132	200	8,454	16907,6
Наружное освещение	35,2	5,26	50	0,160	319,3
Охранное освещение	2,7	5,26	20	0,001	1,9
Итого:	–	–	–	19,1	38293,3

Таким образом, общие потери в КЛ 0,4 кВ составили 38293,3 кВт·ч.

## 2.6 Расчет токов короткого замыкания

«Процесс расчета токов короткого замыкания в электрической сети включает определенную последовательность шагов. Сначала создается однолинейная схема сети, включающая все компоненты, такие как источники питания, трансформаторы, кабели, распределительные устройства и нагрузки» [20]. Устанавливаются параметры элементов цепи, такие как сопротивление, индуктивность, емкость и номинальные напряжения. Затем определяется точка короткого замыкания, указывающая возможные места в цепи, где необходимо оценить токи короткого замыкания.

«После чего выполняется расчет тока короткого замыкания. В итоге с применением метода короткого замыкания (например, метода Кирхгофа) выполняется расчет тока короткого замыкания в точке КЗ согласно принятой схеме» [20].

«По полученного значению тока короткого замыкания выполняется выбор защитных устройств и средств автоматизации для обеспечения

безопасности электрооборудования и персонала» [20].

Люди уделяют много внимания местам в энергосистеме, где могут возникнуть действительно сильные электрические токи, потому что эти места могут быть опасны для машин и людей. Очень важно правильно рассчитать эти сильные токи, чтобы все было безопасно и работало хорошо.

«Для определения величины токов короткого замыкания необходимо составить расчетную схему (рисунок 3) и схему замещения (рисунок 4)» [20].

«Расчетная схема представляет собой упрощенную схему электроснабжения прессового производства с отмеченными на ней точками короткого замыкания и основными структурными элементами» [20].

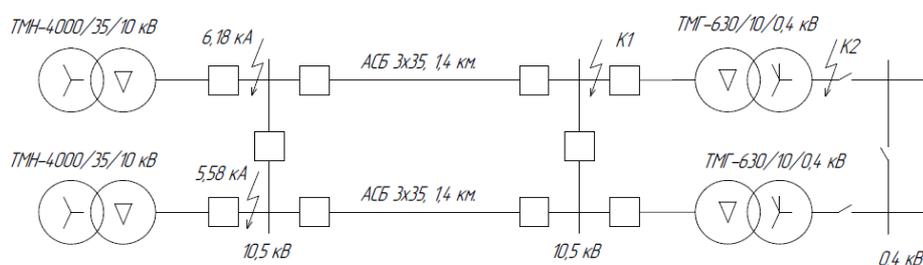


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения токов КЗ

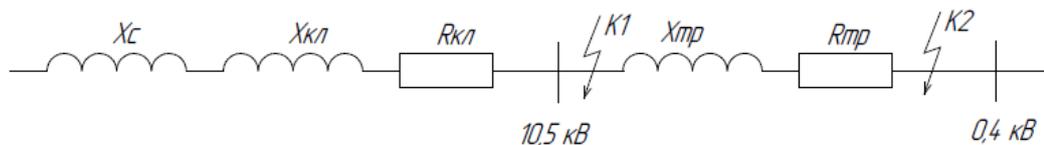


Рисунок 4 – Схема замещения для определения токов КЗ

Для точки К1 базисное значение напряжения составит,

$$U_{б1} = 10,5 \text{ кВ.}$$

«Как видно на расчетной схеме, ток короткого замыкания на шинах

центра питания составляет 6,18 кА и 5,58 кА. В дальнейших расчетах будет принято максимальное значение, так как для выбора оборудования и расчета уставок релейной защиты будет актуально именно это значение» [20].

«Реактивное сопротивление системы определяется по формуле» [20].

$$X_C = Z_C = \frac{U_{б1}}{\sqrt{3} \cdot I_C}; \quad (30)$$
$$X_C = Z_C = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 6,18} = 1,70 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление линии определяются по формуле» [20].

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l. \quad (31)$$

«Таким образом, активное сопротивление кабельной линии АПвБП сечением  $3 \cdot 25 \text{ мм}^2$  и протяженностью 1,4 км составит» [20].

$$R_{\text{кл}} = 1,24 \cdot 1,4 = 1,74 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление линии определяется по формуле» [20].

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l \quad (32)$$

«где  $x_0$ - удельное индуктивное сопротивление линии электропередач, (для кабельной линии АПвБП сечением  $3 \times 25 \text{ мм}^2$  составляет 0,10 Ом/км)» [14].

«Таким образом, индуктивное сопротивление кабельной линии АПвБП сечением  $3 \times 25 \text{ мм}^2$  и протяженностью 1,4 км составит» [14]:

$$X_{\text{кл}} = 0,10 \cdot 1,4 = 0,14 \text{ Ом.}$$

«Далее, в соответствии со схемой замещения, определяется реактивное сопротивление до точки К1 по формуле» [20].

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{KL}; \quad (33)$$

$$X_{\Sigma K1} = 1,70 + 0,14 = 1,84 \text{ Ом.}$$

«Суммарное активное сопротивление до точки К1 равно» [20].

$$R_{\Sigma K1} = R_{ВЛ} = 1,74 \text{ Ом.} \quad (34)$$

«Полное сопротивление определяется по формуле» [20].

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{(R_{\Sigma K1})^2 + (X_{\Sigma K1})^2}; \quad (35)$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{1,74^2 + 1,84^2} = 2,53 \text{ Ом.}$$

«Рассчитаем значение установившегося тока короткого замыкания в первой точке» [20].

$$I_{K1} = \frac{U_{61}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}}; \quad (36)$$

$$I_{K1} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,53} = 2,40 \text{ кА.}$$

«Ударный ток короткого замыкания в точке К1 определяется по формуле» [12].

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot K_{уд1}, \quad (37)$$

где  $K_{уд1}$  – ударный коэффициент, равный 1,9.

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 2,40 \cdot 1,9 = 6,45 \text{ кА.}$$

«Мощность короткого замыкания в точке К1 определяется по формуле» [20].

$$S_{К1} = \sqrt{3} \cdot I_{К1} \cdot U_6; \quad (38)$$
$$S_{К1} = \sqrt{3} \cdot 2,40 \cdot 10,5 = 43,65 \text{ МВА.}$$

Базисное напряжение в точке К2 составит:

$$U_{62} = 0,4 \text{ кВ.}$$

«Суммарное активное сопротивление системы до точки К2 на ТП 10/0,4 кВ составит» [20].

$$R_{\Sigma К2} = R'_{\Sigma К1} + R_{ТР}; \quad (39)$$

$$X_{\Sigma К2} = X'_{\Sigma К1} + X_{ТР}. \quad (40)$$

«Активное сопротивление силового трансформатора, ТМГ-630/10/0,4 кВ, согласно справочным данным, составляет» [20].

$$R_{ТР} = 3,10 \text{ мОм;}$$

$$X_{ТР} = 13,60 \text{ мОм.}$$

«Активное сопротивления системы до точки К1, приведенные к базисному напряжению в точке К2 определяется по формуле» [20].

$$R'_{\Sigma К1} = R_{\Sigma К1} \cdot \left( \frac{U_{62}}{U_{61}} \right)^2; \quad (41)$$

$$R'_{\Sigma K1} = 1,74 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 2,53 \text{ мОм.}$$

«Индуктивное сопротивления системы до точки К1, приведенные к базисному напряжению в точке К2 определяется по формуле» [20].

$$X'_{\Sigma K1} = X_{\Sigma K1} \cdot \left(\frac{U_{б2}}{U_{б1}}\right)^2; \quad (42)$$

$$X'_{\Sigma K1} = 1,84 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 2,67 \text{ мОм.}$$

«Суммарное индуктивное сопротивление системы до точки К2 составит» [20].

$$R_{\Sigma K2} = 2,53 + 3,10 = 5,63 \text{ мОм.}$$

$$X_{\Sigma K2} = 2,67 + 13,60 = 16,27 \text{ мОм.}$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{5,63^2 + 16,27^2} = 17,22 \text{ мОм.}$$

«Ток короткого замыкания в точке К2 составит» [20].

$$I_{K2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,22} = 13,41 \text{ кА.}$$

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 13,41 \cdot 1,3 = 24,65 \text{ кА.}$$

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot 17,22 \cdot 0,4 = 9,29 \text{ МВА.}$$

Результат расчетов токов КЗ для остальных точек, согласно расчетной схеме, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результат расчетов токов КЗ

«Точка КЗ	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I, кА	$i_{уд}$ , кА	S, МВА
K1	1,74	1,84	2,53	2,40	6,45	43,65
K2	$5,63 \cdot 10^{-3}$	$16,27 \cdot 10^{-3}$	$17,22 \cdot 10^{-3}$	13,41	24,65	9,29» [8].

Результаты расчетов токов КЗ будут использоваться при проверке выбранного оборудования.

## 2.7 Выбор и проверка аппаратов защиты и коммутации

«РУ-10 кВ ТП 10/0,4 кВ складского комплекса комплектуется камерами КСО-393 с вакуумными выключателями нагрузки ВВУ-СЭЩ-10/630» [4].

Основные технические характеристики выключателей нагрузки ВНА-10/630 приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики вакуумных выключателей ВВУ-СЭЩ-10/630

«Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальное напряжение	кВ	10
Максимальное напряжение	кВ	12
Номинальный ток	А	630
Ток электродинамической стойкости	кА	51
Номинальное значение периодической составляющей	кА	20
Время протекания тока КЗ	с	1» [10].

«Выбранные высоковольтные выключатели проверяются по ряду условий» [10].

Проверка оборудования по номинальному напряжению:

$$U_{ном.выкл} \geq U_{ном.уст}. \quad (43)$$

Для вакуумных выключателей ВВУ-СЭЩ-10/630:

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Условие выполняется.

Проверка оборудования по номинальному току:

$$I_{\text{ном.выкл}} \geq I_{\text{макс.расч.}} \quad (44)$$

Для вакуумных выключателей ВВУ-СЭЩ-10/630:

$$630 \text{ A} \geq 34,5 \text{ A.}$$

Условие выполняется.

Проверка оборудования по отключающей способности:

$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{кз}(K1)}, \quad (45)$$

Для вакуумных выключателей ВВУ-СЭЩ-10/630:

$$20 \text{ кА} \geq 2,40 \text{ кА.}$$

Условие выполняется.

Проверка оборудования на электродинамическую стойкость:

$$I_c \geq I_{\text{уд}(K1)}. \quad (46)$$

Для вакуумных выключателей ВВУ-СЭЩ-10/630:

$$51 \text{ кА} \geq 6,45 \text{ кА.}$$

«Условие выполняется.

Далее проверяем трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ.

Основные технические трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ 50/5 приведены в таблице 8» [14].

Таблица 8 – Основные технические трансформатора тока ТОЛ-СЭЩ 50/5

«Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальное напряжение	кВ	10
Номинальный ток	А	50
Ток электродинамической стойкости	кА	100» [14].

«Выбранные трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ 50/5 проверяются по тем же условиям, что и выключатели нагрузки.

Проверка оборудования по по номинальному напряжению» [14].

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ.}$$

Условие выполняется. Требуется проверка оборудования на номинальный ток:

$$50 \text{ А} \geq 34,5 \text{ А.}$$

«Условие выполняется.

Проверка оборудования по отключающей способности» [14].

$$100 \text{ кА} \geq 2,40 \text{ кА.}$$

«Условие выполняется.

Проверка оборудования на электродинамическую стойкость» [14].

$$100 \text{ кА} \geq 6,45 \text{ кА.}$$

Условие выполняется.

«Для коммутации электрических сетей по стороне 0,4 кВ для установки

в ячейку ввода трансформатора в панели ЩО-01-49 используется автоматический выключатель Э25С» [7].

Проверка выбранного автоматического выключателя приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Условие выбор автоматического выключателя

«Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение	0,4	$\leq$	0,4
Номинальный ток	380	$\leq$	1000
Электродинамическая стойкость	24,95	$\leq$	50» [14].

Из таблицы 9 следует, что оборудование соответствует требованиям испытаний. Для отходящих линий РУ-0,4 кВ выбран автоматический выключатель ВА51-41. Результаты испытаний выбранных отходящих линий представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Проверка выбранных выключателей отходящих линий

«Назначение ячейки	Ток ячейки	Номинальный ток АВ, А	Ток динамической стойкости, кА	Ударный ток КЗ, кА
АБК	260,2	400	100	24,65
Закрытый склад №1	629,7	1000	100	24,65
Закрытый склад №2	326,7	400	100	24,65
Наружное освещение	14,2	100	100	24,65
Охранное освещение	1,7	25	100	24,65» [14].

«Таблица 10 показывает, что оборудование удовлетворяет требованиям испытаний. Далее необходимо выбрать трансформаторы тока для ячеек 0,4 кВ. Результаты испытаний выбранных трансформаторов тока Т-0,66» [14]. представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Условие выбора трансформаторов тока Т-0,66

Назначение ячейки	Ток ячейки, А	Первичный ток Т-0,66, А
Силовой трансформатор	909,3	1000



### 3 Выбор АВР

Устройство автоматического ввода резерва (АВР), является важным компонентом, предназначенным для обеспечения непрерывного и надежного электроснабжения, особенно критически важных объектов инфраструктуры. Это устройство играет важную роль в автоматическом переключении электрической нагрузки с основного источника питания на резервный в случае выхода из строя основного источника [11].

Основная цель АВР заключается в обеспечении бесперебойного электроснабжения основных систем и оборудования. Это имеет важное значение в условиях, когда сбой в подаче электроэнергии может привести к значительным сбоям в работе, угрозе безопасности или финансовым потерям. К таким потребителям относятся:

- больницы;
- центры обработки данных;
- промышленные предприятия;
- военные объекты;
- объекты критически важной общественной инфраструктуры и др.

Для таких потребителей даже кратковременное отключение электроэнергии может привести к серьезным проблемам, включая потерю важной информации, повреждение устройств или потенциально опасные ситуации.

Работа АВР включает в себя несколько сложных этапов, направленных на обеспечение плавного переключения между источниками питания. Устройство оснащено датчиками, которые непрерывно контролируют напряжение, частоту и общее состояние основного источника питания. Когда автоматический переключатель резерва обнаруживает проблему с основным источником питания, например, падение напряжения, изменение частоты или полное отключение питания, он немедленно подтверждает необходимость перехода на резервный источник питания. При обнаружении неисправности

система посылает сигнал на активацию резервного источника питания, которым может быть резервный генератор, источник бесперебойного питания (ИБП) или другой ввод от центра питания. Если резервным источником питания является генератор, запуск и стабилизация обычно занимают несколько секунд. Как только резервный источник питания достигает стабильных рабочих условий, система АВР активирует механизм переключения для передачи электрической нагрузки от основного источника к резервному. Этот процесс разработан таким образом, чтобы быть максимально быстрым и плавным, чтобы избежать значительных перебоев в подаче электроэнергии.

Когда основной источник питания восстанавливается и считается стабильным, система АВР готовится к переключению нагрузки обратно на основной источник. Для этого сначала выполняется мониторинг восстановленного питания, чтобы убедиться в его постоянстве и надежности. После подтверждения система АВР переключает нагрузку обратно на основной источник, а затем либо отключает резервный источник питания (в случае генератора), либо переводит его обратно в режим ожидания.

Внедрение АВР дает множество преимуществ. Автоматическое переключение обеспечивает бесперебойное питание критически важных систем без вмешательства человека, снижая риск человеческой ошибки. Во многих отраслях промышленности действуют строгие требования к надежности электроснабжения, и АВР помогает предприятиям соответствовать этим стандартам, обеспечивая безопасность эксплуатации. Быстрое реагирование АВР сводит к минимуму время простоя, обеспечивая непрерывную работу необходимого оборудования и процессов. Предотвращая неблагоприятные последствия перебоев в подаче электроэнергии, такие как повреждение оборудования и потеря данных, АВР может уберечь организации от значительных финансовых потерь.

Таким образом, система АВР является незаменимым компонентом для любого предприятия, которое не может допустить перебоев в подаче

электроэнергии. Автоматическое переключение на резервный источник питания при отказе основного источника обеспечивает бесперебойное и безопасное продолжение критически важных операций. Современные системы АВР с их передовыми возможностями мониторинга и коммутации обеспечивают надежное и эффективное решение для поддержания бесперебойного электроснабжения, что в итоге повышает устойчивость и безотказность электрических систем.

Для достижения необходимой мощности потребителей складского комплекса был выбран блок АВР серии OptiSave. На рисунке 6 представлена схема подключения блока АВР к сети OptiSave.

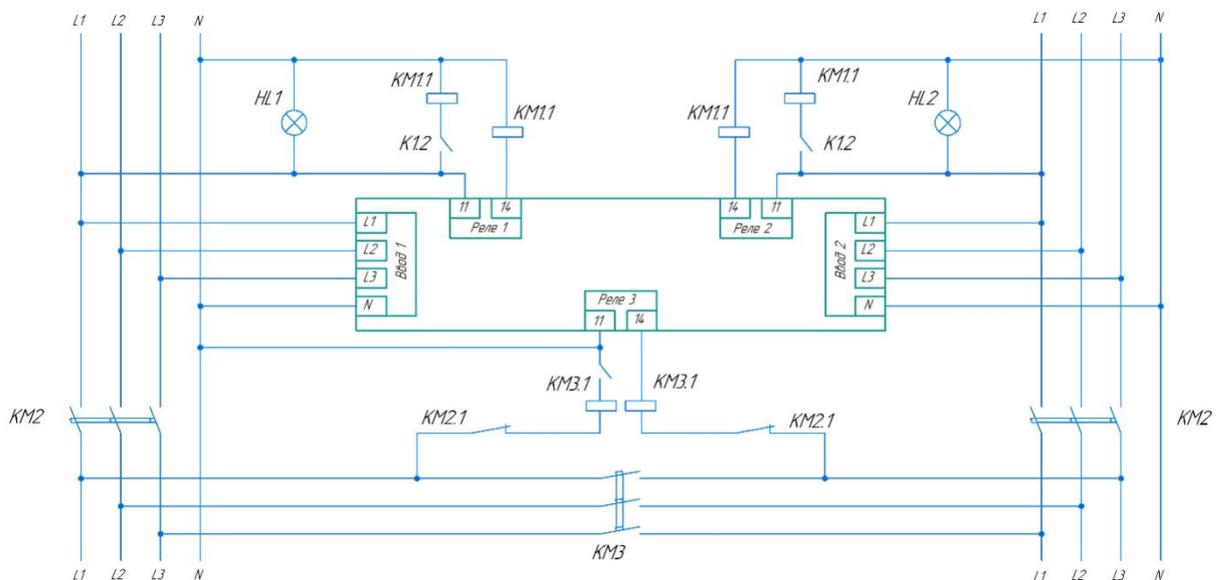


Рисунок 6 – Схема подключения блока АВР

В таблице 12 представлен список наименований.

Таблица 12 – Условные обозначения

«Обозначение	Наименование	Кол-во
HL1, HL2	Сигнальная лампа	2
K1-K3	Реле промежуточное	3
KM1, KM2	Контактор	2
KM3	Контактор	1» [14].

В данном случае, в качестве основного и резервного ввода будут служить секции шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ. Таким образом, при выходе из строя трансформатора и отсутствии напряжения на той секции шин, питающей основной ввод в здание, питание от этой кабельной линии будет переключено на резервный источник – кабельную линию, запитанную от другой секции шин.

Блока АВР в сеть OptiSave предлагается установить непосредственно в ВРУ зданий.

«Блок автоматического ввода резерва OptiSave представляет собой устройство управления, предназначенное для автоматического переключения на резервную линию при неисправности или отключении рабочей линии» [8].

Выводы по разделу 3.

Мы выбрали блок АВР серии OptiSave для достижения необходимой надежности насосной станции.

#### 4 Расчет системы заземления

«Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электрической установки или оборудования с заземляющим устройством» [8].

«Защитное заземление – заземление, выполненное в целях безопасности. Заземление включает в себя подключение электрической системы к земле с помощью сети проводов и электродов» [9].

«Основная цель заземления подстанции - обеспечить канал с низким сопротивлением для передачи токов короткого замыкания на землю, тем самым предотвращая повреждение оборудования и снижая риск поражения электрическим током» [6].

«Система заземления на подстанции состоит из различных компонентов, включая заземляющие электроды, провода и соединения» [8].

«Заземляющие электроды обычно закапываются в землю на определенной глубине и в определенных местах вокруг подстанции. Эти электроды изготовлены из материалов с высокой электропроводностью, таких как медь или оцинкованная сталь, что облегчает отвод токов короткого замыкания в землю. Проводники соединяют электроды с оборудованием, обеспечивая непрерывный поток тока» [5].

«Защитное заземление на трансформаторной подстанции имеет решающее значение для обеспечения безопасности персонала, защиты оборудования» [6] от скачков напряжения, поддержания стабильности системы за счет выравнивания электрических потенциалов, соблюдения отраслевых норм и минимизации финансовых потерь в результате неисправностей и простоев оборудования. Такой комплексный подход к заземлению не только повышает безопасность и надежность электрической системы, но и обеспечивает спокойствие и эффективность работы.

«Требуемое сопротивление заземляющего устройства» [10].

$$R_{3Y} \leq 4 \text{ Ом.}$$

«Расчетное сопротивление вертикального заземлителя – электрода, определяется формулой» [4]:

$$r_g = 0,27 \cdot \rho \cdot K_{ces}, \quad (47)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта;

$K_{ces}$  - коэффициент сезонности.

$$r_g = 0,27 \cdot 100 \cdot 1,7 = 45,9 \text{ Ом.}$$

«Требуемое число вертикальных заземлителей без учета экранирования определяется по формуле» [4]:

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3Y}}, \quad (48)$$

где  $r_B$  - сопротивление одного вертикального электрода.

$$N'_{B.P} = \frac{45,9}{4} = 11,475.$$

Следовательно, без учета экранирования необходимо 12 вертикальных заземлителей.

«Требуемое число вертикальных заземлителей с учетом экранирования определяется по формуле» [4]:

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B}, \quad (49)$$

где  $\eta_B$  - коэффициент использования вертикального электрода.

$$N_{B.P} = \frac{12}{0,52} = 23,07 \text{ шт.}$$

«Таким образом, с учетом экранирования требуется 24 вертикальных заземлителей – электродов» [20].

«Далее необходимо определить требуемый периметр контурного заземления по выражению» [4]:

$$L_{\Pi} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = 164 \text{ м.}$$

«Вертикальные электроды распределяются равномерно по периметру контурного заземления – по одному электроду по углам и оставшиеся между ними» [4].

Для равномерного распределения электродов принимаем 24 шт, тогда:

$$a = \frac{B'}{n - 1} = 5,3.$$

«Определяем уточненное значение сопротивления вертикального электрода по формуле» [4]:

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \cdot \eta_B}, \quad (50)$$

$$R_B = \frac{45,9}{24 \cdot 0,52} = 3,67 \text{ Ом.}$$

«Определяем уточненное значение горизонтального электрода по формуле» [4]:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot K_{\text{сез}} \cdot \rho}{L} \cdot \lg \frac{2l^2}{bt}, \quad (51)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 1,7 \cdot 100}{128} \cdot \lg \frac{2 \cdot 128^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 2,94 \text{ Ом.}$$

«Определяем фактическое значение заземляющего устройства по формуле» [4]:

$$R_{3\phi} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}}, \quad (52)$$

$$R_{3\phi} = \frac{3,67 \cdot 2,94}{3,67 + 2,94} = \frac{10,78}{6,61} = 1,63 \text{ Ом.}$$

Таким образом:

$$R_{3\phi} = 1,63 \text{ Ом} \leq R_{3V} = 4 \text{ Ом.}$$

«Следовательно расчетное сопротивление заземляющего устройства не превышает допустимое, так образом, заземляющее устройство работает эффективно» [4].

Схема защитного заземления КТП 10/0,4 кВ приведена на рисунке 7.

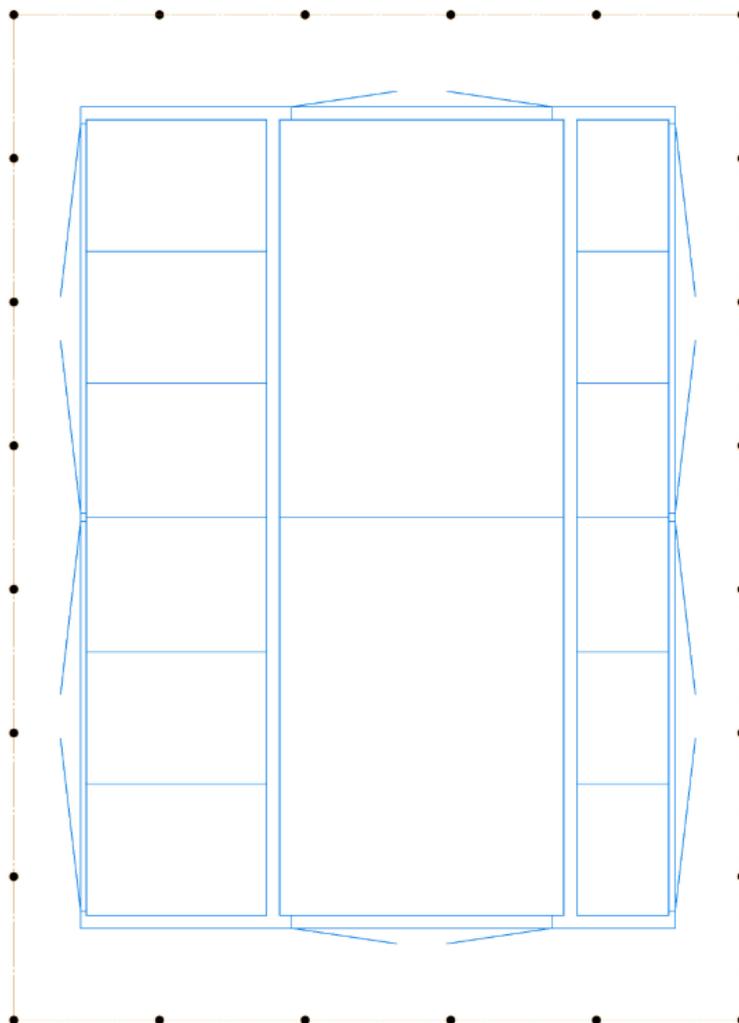


Рисунок 7 – Схема защитного заземления КТП 10/0,4 кВ

Выводы по разделу 4.

«Установлено, что для эффективного защитного заземления необходимо 24 вертикальных заземляющих электрода» [8].

## Заключение

В данной выпускной квалификационной работе разработан проект модернизации системы электроснабжения складского комплекса «Верный».

Выпускная квалификационная работа разделена на четыре раздела.

В первом разделе приведены общие сведения об объекте исследования и обоснование реконструкции.

В данный момент электроснабжение зданий складского комплекса «Верный» (далее – складской комплекс) осуществляется от однотрансформаторной КТП 10/0,4 кВ.

Производственные помещения складского комплекса спроектированы по распределенной системе застройки, при этом каждое здание имеет отдельный вход с главной дороги.

Существующая КПП питает административно бытовой корпус, а также, систему наружного и охранного освещения складского комплекса.

Распределение электроэнергии выполнено по КЛ-0,4 кВ.

Необходимость реконструкции складского комплекса связана со строительством нового закрытого склада и реконструкцией существующего. Так как при этом повышаются требования к системе электроснабжения. Так, перерыв в электроснабжении может привести к сбою в работе систем поддержания микроклимата, систем вентиляции и аварийного освещения.

На территории предприятия предполагается два закрытых склада и один административно-бытовой корпус, а также три открытых склада.

Электроснабжение закрытых складов планируется обеспечить от двухтрансформаторной КТП 10/0,4 кВ.

Для обеспечения надежного электроснабжения складского комплекса необходимо провести следующие мероприятия: рассчитать нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности, выполнить расчет параметров силовых трансформаторов, определить токи короткого замыкания (КЗ), выбрать оборудование для трансформаторной подстанции и кабельных линий. Помимо

этого, требуется подобрать устройства автоматического ввода резерва (АВР) и провести расчет заземляющего устройства подстанции.

Во втором разделе рассматривается расчет системы электроснабжения. На начальном этапе выполнены расчеты системы освещения и силовых нагрузок. На основе результатов вычислений, включая компенсацию реактивной мощности, выбраны два трансформатора модели ТМГ-630/10/0,4 кВ.

«Питание комплектной трансформаторной подстанции (КТП-10/0,4 кВ) будет осуществляться по воздушным линиям с использованием провода АС сечением 25 мм<sup>2</sup>. Отходящие линии напряжением 0,4 кВ запроектированы с применением кабелей марки АВБбШв. Также было выбрано коммутационное и защитное оборудование для КТП-10/0,4 кВ» [12].

Третий раздел посвящен выбору устройства автоматического ввода резерва. Для обеспечения требуемого уровня надежности насосной станции выбрано устройство АВР серии OptiSave.

Система АВР является незаменимым компонентом для любого предприятия, которое не может допустить перебоев в подаче электроэнергии. Автоматическое переключение на резервный источник питания при отказе основного источника обеспечивает бесперебойное и безопасное продолжение критически важных операций.

По опубликованным данным современные системы АВР с их передовыми возможностями мониторинга и коммутации обеспечивают надежное и эффективное решение для поддержания бесперебойного электроснабжения, что в итоге повышает устойчивость и безотказность электрических систем.

В данном случае, в качестве основного и резервного ввода будут служить секции шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ. Таким образом, при выходе из строя трансформатора и отсутствии напряжения на той секции шин, питающей основной ввод в здание, питание от этой кабельной линии будет переключено

на резервный источник – кабельную линию, запитанную от другой секции шин.

В четвертом разделе подробно описан расчет заземления для КТП-10/0,4. Результаты показывают, что для обеспечения адекватного защитного заземления необходимо всего 24 вертикальных заземляющих электрода.

Защитное заземление на трансформаторной подстанции имеет важное значение для обеспечения безопасности персонала, защиты оборудования от скачков напряжения, поддержания целостности системы путем выравнивания электрических потенциалов, соответствия отраслевым стандартам и снижения экономических потерь из-за выхода оборудования из строя и простоев в работе. Такой комплексный подход к заземлению не только повышает безопасность и надежность электрической системы, но и обеспечивает спокойствие и эффективность работы.

## Список используемых источников

1. Булгаков С. С. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. БСК, 2022. 51 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 19 с.
3. ГОСТ Р 54419-2011. Трансформаторы силовые. Руководство по нагрузке силового трансформатора. М.: Стандартинформ, 2012. 28 с.
4. Крючков И. П., Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы./ И.П.Крючков., Б.Н. Неклепаев, М.: Издат. дом «МЭИ», 2015. 544 с.
5. 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.
6. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
7. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. М.: Форум-ИНФРА – М, 2021. 480 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 29 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. М.: Издательский дом МЭИ, 2019. 573 с.

12. Рокотян С.С., Шапиро И. М. Справочник по проектированию электрических сетей. 3-е издание М.: Энергоатомиздат, 2021. 352 с.
13. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
15. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст]: РТМ 36.18.32.4-92: утв. РАО ЕЭС России, 30.07.1992: ввод в действие с 01.01.1993. М.: ЭНАС, 2003. 25 с.
16. Федоров А. А., Старкова Л. Е. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. М.: Энергия, 2020. 345 с.
17. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов. М.: Форум, 2024. 158 с.
18. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2024. 214 с.
19. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2017. 136 с.
20. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2024. 407 с.