

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 Реконструкции системы электроснабжения предприятия по выпуску заготовок и металлоконструкций

Студент

А.В. Бабак

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе бакалавра приводится проект по реконструкции системы электроснабжения предприятия по выпуску заготовок и металлоконструкций.

Основными разделами работы являются:

- введение с формулировкой цели и задач работы;
- расчет ожидаемых электрических нагрузок по основному корпусу предприятия;
- расчет нагрузок от системы электрического освещения основного корпуса;
- выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП предприятия;
- выбор защитных аппаратов и проводников;
- определение значений токов КЗ;
- расчет системы заземления главного производственного корпуса.

Выпускная квалификационная работа состоит из 49 страниц, включая 2 рисунка и 9 таблиц. Графическая часть состоит из 6 чертежей, выполненных на формате А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Описание объекта проектирования .....	5
1.1 Металлоконструкции.....	6
1.2 Заготовки.....	6
2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок по корпусу .....	8
3 Расчет нагрузок от системы электрического освещения корпуса .....	20
4 Выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП предприятия .....	25
5 Обоснование схемы внутрицехового электроснабжения .....	33
6 Определение значений токов КЗ .....	34
6.1 Определение значений токов КЗ в точке КЗ1 .....	37
6.2 Определение значений токов КЗ в точке КЗ2 .....	39
6.3 Определение значений токов КЗ в точке КЗ3 .....	40
7 Выбор защитных аппаратов и проводников.....	42
8 Расчет системы заземления корпуса .....	45
Заключение .....	47
Список используемых источников.....	48

## Введение

К одной из подсистем энергетической системы относится система электроснабжения, которая обеспечивает электрической энергией электрифицированный транспорт, коммунальное хозяйство, сельскохозяйственных потребителей и промышленные предприятия. Так же одной из составляющих технологического процесса является система электроснабжения, к которой предъявляются определенные требования.

Каждое предприятие находится в постоянном развитии и трансформации, меняется оборудование, технология производства, совершенствуется выпускаемая продукция, а значит и система электроснабжения должна обладать гибкостью, чтобы подстраиваться к производству без необходимости коренного переустройства, но с обязательным соблюдением требований по надежности электроснабжения и безопасности для окружающих [1, 2].

Реконструкция системы электроснабжения предприятия по выпуску заготовок и металлоконструкций направлена на решение следующих задач: обоснованный выбор значения номинального напряжения для питания электроприемников и для распределительной сети; максимально точное определение ожидаемых электрических нагрузок от силовых электроприемников и системы искусственного освещения; определение числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП предприятия; обоснованный выбор схемы внутрицехового электроснабжения; выбор защитных аппаратов и проводников с проверкой на воздействие токов короткого замыкания; расчет параметров системы заземления корпуса.

Основной целью реконструкции системы электроснабжения предприятия по выпуску заготовок и металлоконструкций является обеспечение надежного электроснабжения потребителей электрической энергией.

## 1 Описание объекта проектирования

Основным профилем предприятия, располагающегося в городе Самара, является изготовление изделий из металла: заготовок и конструкций, как стандартной номенклатуры, так и по требованиям заказчика.

«Изделий из металла существует огромное множество, а возможности применения металлов поистине безграничны. Современное строительство и любые виды производства просто невозможно представить без металлов. Изготовление изделий из металла зависит от свойств, которые этим изделиям нужно предать. И вот как этого добиваются:

Для начала же металл формируют; при этом различают несколько методов формирования:

- ковка;
- литье;
- штамповка;
- волочение;
- прессование;
- методы порошковой металлургии;
- другие методы.

После формирования изделия подвергаются термической или химической обработке для придания металлу нужных свойств. Последний шаг – это отделка изделия.

Процесс изготовления изделий из металла очень трудоемкий, и такое производство требует значительных инвестиций.

Оборудование для формирования изделий специфическое, громоздкое и дорогостоящее. Кроме того, для производства металла требуются значительные производственные площади, доступ к энергоресурсам и квалифицированная рабочая сила.

Тем не менее, зачастую инвестиции в производство по изготовлению изделий из металлов быстро окупаются, и такой бизнес приносит значительный

доход своему собственнику. Всё дело в том, что будь то обычный металлопрокат или сложные специфические металлоконструкции – спрос на такие изделия есть всегда. Если где-то ведется строительство, почти наверняка там требуются и металлоизделия самой широкой номенклатуры» [2]. Рассмотрим некоторые популярные виды изделий из металла, выпускаемых на данном предприятии.

## **1.1 Металлоконструкции**

«Под металлоконструкциями понимают специальные металлические конструкции, которые применяют в строительстве. Этот вид стройматериалов достаточно новый – впервые данную технологию начали применять только в конце 19-го века. С тех пор металлоконструкции получили широчайшее распространение.

Изготовление изделий из металла этого типа достаточно специфично. Металлоконструкции сооружают из первичных стальных прокатных элементов, которые могут быть различного профиля. Первичные элементы соединяют при помощи сварки, пайки, клепания или болтов для получения более сложных типовых конструктивных элементов, которые затем используются по назначению» [2].

## **1.2 Заготовки**

Существует несколько типов заготовок:

«а) Заготовки из проката. Прут горячекатаного проката, по сути, является непрерывной заготовкой. Нарезанный прут также является заготовкой, но уже мерной;

б) Заготовки, получаемые методом литья, широко распространены. Различают несколько групп отливок в зависимости от сложности их получения. Наиболее простые отливки – это литье простой геометрической формы;

в) Заготовки, которые получают обработкой давлением. Ковка используется в процессе получения заготовок сравнительно редко. Заготовки повышенной точности получают методом штамповки (в том числе штамповкой в закрытых штампах). Именно этот метод позволяет получать заготовки, наиболее приближенные по качеству и конфигурации к готовому изделию. Кроме того, обработка давлением в закрытых штампах является наиболее экономичной с точки зрения расхода металла.

г) Сварные заготовки;

д) Комбинированные заготовки;

е) Заготовки, которые формируют при помощи методов порошковой металлургии» [2].

Выводы: в разделе приводится обзор выпускаемой предприятием продукции – заготовок и металлоконструкций.

## 2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок по корпусу

«Расчетная активная  $P_p$  и реактивная  $Q_p$  мощность - это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке  $I_p$ , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения. Вероятность превышения фактической нагрузки над расчетной не более 0,05 на интервале осреднения, длительность которого принята равной трем постоянным времени нагрева элемента системы электроснабжения  $3T_0$ , через который передается ток нагрузки (кабеля, провода, шинпровода, трансформатора и т.д.).

Для одиночных ЭП расчетная мощность принимается равной номинальной, для одиночных ЭП повторно-кратковременного режима - равной номинальной, приведенной к длительному режиму.

Метод определения расчетной электрической нагрузки зависит от стадии проектирования системы электроснабжения, то есть от располагаемого объема исходной информации» [3-5].

Ожидаемой или иначе говоря расчетной нагрузкой называется такое постоянное значение мощности, которое соответствует действительному изменяющемуся во времени графику нагрузки по тепловому влиянию на элементы системы электроснабжения (СЭС) предприятия.

Номинальная нагрузка одного трехфазного электроприемника с длительным режимом работы принимается равной его паспортной мощности:

$$P_n = P_{\text{пасп}}, \quad (1)$$

Для трехфазных электроприемников с другим режимом работы перед продолжением расчетов нагрузка должна быть приведена к длительному режиму.



Для электроприемников, работающих в повторно-кратковременном режиме (ПКР) справедлива формула:

$$P_n = P_{насн} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (2)$$

Для сварочных трансформаторов, работающих в длительном режиме работы:

$$P_n = S_{насн} \cdot \cos \varphi, \quad (3)$$

в повторно-кратковременном:

$$P_n = S_{насн} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (4)$$

Однофазные нагрузки перед продолжением расчетов необходимо привести к условной трехфазной нагрузке. Для этого нагрузка равномерно распределяется по фазам и находится значение нагрузки в наиболее загруженной и наименее загруженной фазе. Если нагрузка включается на линейное напряжение, то предварительно находим:

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{AC}}{2}, \quad (5)$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}, \quad (6)$$

$$P_C = \frac{P_{AC} + P_{BC}}{2}. \quad (7)$$

Неравномерность распределения нагрузки по фазам определяется:

$$H = \frac{P_{\text{Фнаиб}} - P_{\text{Фнаим}}}{P_{\text{Фнаим}}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Если величина неравномерности превышает 15%, то значение условной трёхфазной нагрузки определяется по формуле:

$$P_y = 3 \cdot P_{\text{Фнаиб}}, \quad (9)$$

Если величина неравномерности меньше либо равна 15%, то значение условной трёхфазной нагрузки определяется как сумма нагрузок по фазам.

Значение расчётной активной мощности группы электроприёмников находится:

$$P_{\text{н}\Sigma} = P_{\text{н}} \cdot n, \quad (10)$$

Значение средней активной нагрузки за смену определяется:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{н}\Sigma} \cdot K_u, \quad (11)$$

Значение средней реактивной нагрузки за смену определяется:

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (12)$$

Значение группового коэффициента использования в итоговой строке по узлу нагрузки находится по формуле:

$$K_{\text{изр}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{P_{\text{н}\Sigma}}, \quad (13)$$

Значение группового коэффициента реактивной мощности в итоговой строке по узлу нагрузки находится по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_{gp} = \frac{\sum Q_{cm}}{\sum P_{cm}}, \quad (14)$$

Определяется значение коэффициента  $m$ :

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}}, \quad (15)$$

Находим эффективное число электроприемников:

$$n_3 = \frac{\sum (P_i)^2}{\sum (P_i^2 \cdot n)}, \quad (16)$$

На шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции и для магистральных шинопроводов значение эффективного числа электроприемников может быть определено по упрощенной формуле:

$$n_3 = 2 \cdot \frac{\sum P_{н\Sigma}}{P_{н. \max}}, \quad (17)$$

Значение трехфазной расчетной активной нагрузки найдем по формуле:

$$P_p = K_m \cdot \sum P_{cm}, \quad (18)$$

Значение трехфазной расчетной реактивной нагрузки найдем по формуле:

- при значении эффективного числа электроприемников меньше либо равным десяти:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{cm}, \quad (19)$$

- при значении эффективного числа электроприемников превышающем десять:

$$Q_p = \sum Q_{cm}, \quad (20)$$

Значение трехфазной расчетной полной нагрузки найдем по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (21)$$

Значение расчетного тока по узлу нагрузки найдем по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (22)$$

Пример расчета электрических нагрузок приведем для точно-шлифовального станка и итоговой строки для первого распределительного пункта.

Значение расчётной активной мощности группы, состоящей из 4 точно-шлифовальных станков, находится:

$$P_{n\Sigma} = 4,5 \cdot 4 = 18 \text{ кВт.}$$

Значение коэффициентов использования и мощности для электроприемников определяется по справочным данным.

Значение средней активной нагрузки за смену определяется по 11:

$$P_{см} = 18 \cdot 0,65 = 3,1 \text{ кВт.}$$

Значение средней реактивной нагрузки за смену определяется по 12:

$$Q_{см} = 3,1 \cdot 1,17 = 3,6 \text{ квар.}$$

Находим эффективное число электроприемников, одинаковых по мощности и режиму работы по 17:

$$n_э = 2 \cdot \frac{230}{35} \approx 13.$$

Значение трехфазной расчетной активной нагрузки найдем по формуле 18:

$$P_p = 1,05 \cdot 87,9 = 92,3 \text{ кВт.}$$

Значение трехфазной расчетной реактивной нагрузки, при значении эффективного числа электроприемников превышающем десять, найдем по формуле 20:

$$Q_p = 116,4 \text{ квар.}$$

Значение трехфазной расчетной полной нагрузки найдем по формуле 21:

$$S_p = \sqrt{92,3^2 + 116,4^2} = 148,5 \text{ кВА.}$$

Значение суммарного расчетного тока для первого распределительного пункта найдем по формуле 22:

$$I_p = \frac{148,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 214,7 \text{ А.}$$

Результаты определения расчетных нагрузок по пяти распределительным пунктам сведем в таблицы 1-5.

В таблицах 1-5 использованы следующие сокращенные названия электроприемников: ТШС - токарно-шлифовальные станки; ПВ - плазменные ванны; ГВ - гальванические ванны; МКС - машины контактной сварки; МКСС - машины контактной стыковой сварки; НТС - настольные токарные станки; ПК - прессы кривошипные; ВФС - вертикально-фрезерные станки; ТВС - токарно-винторезные станки; БР – бухторазмотчики; ГН - гильотинные ножницы; ПОС - правильно-отрезные станки; КПК - консольно-поворотные краны; ЛП - листогибочные прессы; СППИ – станки по обработке плоских проволочных изделий.

Выводы по разделу: суммарная расчетная нагрузка осветительных установок составляет 11,7 кВт и 1,9 квар. Сумма нагрузок сторонних потребителей, получающих питание от ТП составляет 488 кВт и 532 квар. Тогда путем складывания нагрузок силовых электроприемников, осветительных установок и сторонних потребителей суммарные значения расчетных нагрузок на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции составят 678 кВт и 746 квар.

Таблица 1 – Результаты определения расчетных нагрузок для первого распределительного пункта

Сокращенное название электроприемника	$P_n,$ кВт	$n,$ шт	$P_{n\Sigma},$ кВт	$K_{Игр}$	$tg\varphi$	$m$	$P_{CM\Sigma},$ кВт	$Q_{CM\Sigma},$ квар	$n_{\Delta},$ шт	$K_M$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
ТШС	4,5	4	18	0,17	0,65/1,17		3,06	3,58						
ПВ	35	4	140	0,4	0,6/1,33		56	74,48						
ГВ	18	4	72	0,4	0,6/1,33		28,8	38,3						
Всего	35/4,5	12	230	0,38	1,32	>3	87,9	116,4	13	1,05	92,3	116,4	148,5	214,7

Таблица 2 – Результаты определения расчетных нагрузок для второго распределительного пункта

Сокращенное название электроприемника	$P_n,$ кВт	$n,$ шт	$P_{n\Sigma},$ кВт	$K_{Игр}$	$tg\varphi$	$m$	$P_{CM\Sigma},$ кВт	$Q_{CM\Sigma},$ квар	$n_{\Delta},$ шт	$K_M$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
МКС	42	5	210	0,2	0,65/1,17		42	49,14						
МКСС	14	3	42	0,2	0,65/1,17		8,4	9,83						
Всего	42/14	8	252	0,2	1,17	>3	50,4	59	8	1,5	74,6	64,9	98,8	142,8



Таблица 3 – Результаты определения расчетных нагрузок для третьего распределительного пункта

Сокращенное название электроприемника	$P_n,$ кВт	$n,$ шт	$P_{n\Sigma},$ кВт	$K_{изр}$	$tg\varphi$	$m$	$P_{CM\Sigma},$ кВт	$Q_{CM\Sigma},$ квар	$n_{\Sigma},$ шт	$K_M$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
НТС	1,5	3	4,5	0,14	0,4/2,29		0,84	1,92						
ПК	3,8	1	3,8	0,17	0,65/1,17		1,29	1,51						
ВФС	11	2	22	0,14	0,4/2,29		3,08	7,05						
ТВС	7,5	2	15	0,14	0,4/2,29		2,1	4,8						
Всего	11/1,5	8	45,3	0,14	2,17	>3	6,45	14	5	2,1	13,5	15,4	20,5	29,6

Таблица 4 – Результаты определения расчетных нагрузок для четвертого распределительного пункта

Сокращенное название электроприемника	$P_n,$ кВт	$n,$ шт	$P_{n\Sigma},$ кВт	$K_{изр}$	$tg\varphi$	$m$	$P_{см\Sigma},$ кВт	$Q_{см\Sigma},$ квар	$n_{\Delta},$ шт	$K_M$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
БР	5,5	1	5,5	0,14	0,5/1,73		0,77	1,33						
ГН	6,5	2	13	0,14	0,5/1,73		1,82	3,15						
ПОС	5	2	10	0,14	0,4/2,29		1,4	3,2						
КПК	3,6	1	3,6	0,2	0,65/1,17		0,72	0,84						
ЛП	15	2	30	0,17	0,65/1,17		5,10	5,97						
СППИ	14,5	2	29	0,14	0,4/2,29		4,06	9,30						
Всего	15/5	10	91,1	0,15	1,74	>3	13,9	24,4	6	1,96	27,3	26,8	38,3	55,3

Таблица 5 – Результаты определения расчетных нагрузок для пятого распределительного пункта

Сокращенное название электроприемника	$P_n,$ кВт	$n,$ шт	$P_{n\Sigma},$ кВт	$K_{Иер}$	$tg\varphi$	$m$	$P_{CM\Sigma},$ кВт	$Q_{CM\Sigma},$ квар	$n_{Э},$ шт	$K_M$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
НТС	1,5	1	1,5	0,14	0,4/2,29		0,21	0,48						
ПОС	5	1	5	0,14	0,4/2,29		0,7	1,6						
МКС	42	1	42	0,2	0,65/1,17		8,4	9,82						
КП	3,8	1	3,8	0,17	0,65/1,17		0,64	0,74						
ТВС	7,5	1	7,5	0,14	0,4/2,29		1,05	2,4						
Всего		5	59,8	0,18	1,36	>3	11	15	2	3,4	37,3	16,5	40,8	58,9
Итого без учета осветительных установок	42/1,5	43	678,2	0,25	1,35	>3	169,6	228,3	32	1,05	178,1	228,3	289,6	418,4

### **3 Расчет нагрузок от системы электрического освещения корпуса**

Освещение является важным гигиеническим фактором. «Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению безопасности и эффективности труда (качества выпускаемой продукции), снижает утомление, сохраняет высокую работоспособность.

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями. Количественные показатели: световой поток, сила света, освещенность, яркость. Качественные показатели, фон, контраст объекта с фоном, коэффициент пульсации освещенности, спектральный состав света» [6, 7].

При проектировании электрического освещения выделяют светотехническую и электротехническую часть проекта.

В светотехнической части проекта производят выбор освещенности и показателей качества освещения, систем, видов и способов освещения, типов источников света и осветительных приборов, выполняют светотехнические расчеты, в результате которых определяют тип, мощность и расположение осветительных приборов.

В электротехнической части выбирают источники питания, решают вопросы компенсации реактивной мощности для установок с люминесцентными лампами, намечают способы управления освещением, выбирают типы магистральных и групповых щитков и другое оборудование [8, 9].

В расчете нагрузок от системы электрического освещения корпуса используем метод коэффициента использования.

В помещении для выполнения полировки деталей выбираем осветительные приборы типа ЛПП-07В 2x58 с электронной пускорегулирующей аппаратурой.

Номинальная мощность одного светильника составляет:

$$P = P_{\text{лампы}} \cdot n, \quad (23)$$

$$P = 58 \cdot 2 = 116 \text{ Вт}.$$

Паспортное значение светового потока одной лампы:

$$\Phi_{\text{л}} = 8000 \text{ лм},$$

Значение коэффициента мощности:

$$\cos \phi = 0,92.$$

При определении необходимого для установки числа светильников в помещении используются следующие данные:

Значение нормируемой горизонтальной освещенности на рабочей поверхности:

$$E = 300 \text{ лк}.$$

Значение коэффициента запаса принимается равным 1,5, так как помещение считается чистым.

Длина подвеса светильника:

$$h_1 = 0 \text{ м}.$$

Значение расстояния от пола помещения до рабочей поверхности:

$$h_2 = 1 \text{ м}.$$

Высота корпуса:

$$H = 3,3 \text{ м} .$$

С учетом материала и цвета пола помещения принимаем значение коэффициента отражения пола равным:

$$K_{\text{отр.пол}} = 20\% .$$

С учетом материала и цвета стен помещения принимаем значение коэффициента отражения стен равным:

$$K_{\text{отр.стен}} = 70\% .$$

С учетом материала и цвета потолка помещения принимаем значение коэффициента отражения потолка равным:

$$K_{\text{отр.потолка}} = 50\% .$$

В одном светильнике размещаются две люминесцентные лампы:

$$n = 2 \text{ шт} .$$

Для определения значения коэффициента использования предварительно определяем значение индекса помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)}, \quad (24)$$

где  $A = 36 \text{ м}$ ,  $B = 12 \text{ м}$ ,

$$i = \frac{36 \cdot 12}{(3,3 - 0 - 1) \cdot (36 + 12)} = 3,9.$$

Тогда по справочным таблицам для данного светильника определим значение коэффициента использования:

$$\eta = 0,45.$$

Требуемое число светильников для помещения определим по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_l}, \quad (25)$$

где  $S$  – значение площади помещения,  $m^2$ .

$$N = \frac{300 \cdot 432 \cdot 1,5}{0,45 \cdot 2 \cdot 8000} = 27 \text{ шт.}$$

Расчетная нагрузка системы освещения помещения для выполнения полировки деталей определяется при следующих исходных данных:

Номинальная активная мощность одной лампы в светильнике:

$$P = 58 \text{ Вт.}$$

В одном светильнике располагается две лампы, при этом:

$$\operatorname{tg} \phi = 0,16.$$

Значение активной мощности системы освещения составит:

$$P_{осн.осв} = N \cdot n \cdot P_{лампы}, \quad (26)$$

$$P_{осн.осв} = 27 \cdot 2 \cdot 58 = 3,13 \text{ кВт.}$$

Значение реактивной мощности системы освещения составит:

$$Q_{осн.осв} = P_{осн.осв} \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (27)$$

$$Q_{осн.осв} = 3,13 \cdot 0,16 = 0,5 \text{ квар.}$$

Расчёт нагрузок системы освещения для других помещений выполняем по той же методике.

Выводы по разделу: для производственных помещений выбираем осветительные приборы типа ЛПП-07В 2x58 с электронной пускорегулирующей аппаратурой, в качестве примера приведен пример определения необходимого количества светильников в помещении для выполнения полировки.



## **4 Выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП предприятия**

«При выборе цеховых трансформаторов руководствуются следующими положениями:

- число трансформаторов на подстанции определяется из условия надежности питания с учетом категории потребителей электроэнергии;
- намечаются возможные варианты мощности трансформаторов с учетом допустимой их перегрузки в рабочем и послеаварийном режимах, и на основании технико-экономического сопоставления выбирается приемлемый вариант с учетом возможного увеличения нагрузок.

Трансформаторные подстанции должны размещаться как можно ближе к центру электрических нагрузок. Для этого должны применяться внутрицеховые ТП, а также встроенные в здание цеха или пристроенные к нему ТП, питающие отдельные цеха или части их.

ТП должны размещаться вне цеха только при невозможности размещения внутри его или при расположении части нагрузок вне цеха.

Применение внешних отдельно стоящих цеховых ТП целесообразно:

- при питании от одной ТП нескольких цехов;
- при наличии в цехах взрывоопасных производств;
- при невозможности расположения ТП внутри цеха по соображениям производственного характера.

Однотрансформаторные цеховые ТП применяются при ЭП, допускающих перерыв в электроснабжении на время доставки «складского» резерва, или при резервировании, осуществляемом по перемычкам на вторичном напряжении.

Двухтрансформаторные цеховые ТП применяются при преобладании потребителей I и II категорий, а также при наличии неравномерного суточного или годового графика нагрузок» [10-12].

По суммарной расчетной нагрузке определим необходимую номинальную мощность трансформаторов для КТП:

$$S_{ном} > \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}, \quad (28)$$

$$S_{ном} > \frac{678,2}{0,7 \cdot 2} > 484,4 \text{ кВА.}$$

По найденному значению выбираем силовой трансформатор мощностью 630 кВА.

Технические параметры трансформатора находим на сайте производителя и переносим в таблицу 6.

Таблица 6 – Технические параметры трансформатора типа ТМ – 630/6/0,4 для цеховой КТП

$P_{x.x}, \text{кВт}$	$P_{к.з}, \text{кВт}$	$U_{к.з}, \%$	$i_{0(x.x)}, \%$	$K_3$	$N_T, \text{шт}$	$S_H, \text{кВА}$
1,05	7,6	5,5	2	0,7	2	630

Методика выбора трансформаторов КТП взята из [10]:

«Величина потерь в трансформаторах КТП» [10]:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (P_{x.x} + K_3^2 \cdot P_{к.з}), \quad (29)$$

$$\Delta P_T = 2 \cdot (1,05 + 0,7^2 \cdot 7,6) = 4,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_{0(x.x)} + K_3^2 \cdot U_{к.з}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (30)$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (2 + 0,7^2 \cdot 5,5) \cdot \frac{630}{100} = 59,2 \text{ квар.}$$

«Расчетная нагрузка корпуса с учетом потерь в трансформаторах» [10]:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (31)$$

$$P_p = 678,2 + 4,8 = 683 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (32)$$

$$Q_p = 746 + 59,2 = 805,2 \text{ квар}.$$

«Величина реактивной мощности в часы минимальных нагрузок» [10]:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p, \quad (33)$$

$$Q_{\min} = 0,5 \cdot 805,2 = 402,6 \text{ квар}.$$

«Экономические значения реактивной мощности в часы максимальных нагрузок» [10]:

$$Q'_{\text{э}1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}, \quad (34)$$

$$Q'_{\text{э}1} = 805,2 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э}1} = \alpha \cdot P_p, \quad (35)$$

$$Q''_{\text{э}1} = 0,28 \cdot 683 = 191,2 \text{ квар}.$$

«В часы максимальных нагрузок из-за пониженного напряжения принимаем меньшее из двух найденных значений» [10]:

$$Q_{\text{э}1} = 191,2 \text{ квар}.$$

«Экономические значения реактивной мощности в часы наименьших нагрузок» [10]:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\min} + Q_k, \quad (36)$$

$$Q'_{\varepsilon 2} = 402,6 \text{ квар},$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = Q_{\min} - Q_{KD} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\varepsilon 1}), \quad (37)$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = 402,6 - (805,2 - 191,2) = -211,4 \text{ квар}.$$

«В часы минимальных нагрузок из-за повышенного напряжения принимаем значение» [10]:

$$Q_{\varepsilon 2} = 402,6 \text{ квар}.$$

«Суммарная мощность компенсирующих устройств» [1]:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_P - Q''_{\varepsilon 1}, \quad (38)$$

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot 805,2 - 191,2 = 694,5 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\min} - Q'_{\varepsilon 2}, \quad (39)$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 402,6 - 402,6 = 0 \text{ квар}.$$

В варианте А рассмотрим показатели установки трансформаторов ТМГ-630.

«Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1кВ и не должна компенсироваться» [10]:

$$Q_{\varepsilon H} = Q''_{\varepsilon 1} - (Q_P - Q_{P\Sigma}), \quad (40)$$

$$Q_{\varepsilon H} = 191,2 - (805,2 - 746) = 132,1 \text{ квар}.$$

«Величина реактивной мощности, которая может быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1000 В» [10]:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_H)^2 - P_{P\Sigma}^2}, \quad (41)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 678,2^2} = 563,9 \text{ квар.}$$

«Номинальная мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1000 В» [10]:

$$Q_{KV.H} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (42)$$

$$Q_{KV.H} = 746 - 563,9 = 182 \text{ квар.}$$

При  $Q_{KV.H}$  больше 50 квар применение автоматической установки компенсации реактивной мощности является целесообразным.

Принимаем к установке на подстанции две автоматические установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-100 стоимостью 43 тыс. руб. каждая.

«Номинальная мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6/10 кВ» [10]:

$$Q_{KV.6} = Q_{KV.max} - Q_{KV.H}, \quad (43)$$

$$Q_{KV.6} = 694,5 - 182,1 = 512,4 \text{ квар.}$$

При  $Q_{KV.6}$  меньше 800 квар применение установок компенсации реактивной мощности на стороне 6 кВ нецелесообразно.

«Величина приведенных затрат на установку КТП» [10]:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_P, \quad (44)$$

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2,886 \cdot 10^3 \text{ ч,}$$

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right), \quad (45)$$

$$C_0 = \left( \frac{116,19}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 305,02 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год},$$

$$C = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau, \quad (46)$$

$$C = \left( \frac{116,19}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 100,49 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год},$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{x.x} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{к.з}, \quad (47)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 305,02 \cdot 1,05 + 100,49 \cdot 0,7^2 \cdot 7,6 = 694,5 \text{ руб},$$

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T, \quad (48)$$

$$Z_{КТП} = 0,223 \cdot (317,22 \cdot 2) + (0,694 \cdot 2) = 142,9 \text{ тыс.руб}.$$

Суммарные приведенные затраты на КУ и КТП:

$$Z_{\text{общее}} = Z_{\text{КУ.н}} + Z_{\text{КТП}}, \quad (49)$$

$$Z_{\text{общее}} = 43 \cdot 2 + 142,9 = 228,9 \text{ тыс.руб}.$$

В варианте Б рассмотрим показатели установки трансформаторов ТМГ-1000.

Технические параметры трансформатора находим на сайте производителя и переносим в таблицу 7.

«Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1кВ и не должна компенсироваться» [10]:

$$Q_{эн} = 191,72 - (835,92 - 746,02) = 101,82 \text{ квар}.$$

Таблица 7 – Технические параметры трансформатора типа ТМ – 1000/6/0,4 для цеховой КТП

$P_{x.x}, \text{кВт}$	$P_{к.з}, \text{кВт}$	$U_{к.з}, \%$	$i_{0(x.x)}, \%$	$K_3$	$N_T, \text{шт}$	$S_H, \text{кВА}$
1,55	10,2	5,5	1,8	0,7	2	1000

«Величина реактивной мощности, которая может быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1000 В» [10]:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 678,2^2} = 1224,8 \text{ квар.}$$

«Номинальная мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1000 В» [10]:

$$Q_{КУ.н} = 746 - 1224,8 = -478,2 \text{ квар.}$$

При  $Q_{КУ.н}$  меньше 50 квар применение автоматической установки компенсации реактивной мощности является нецелесообразным.

«Номинальная мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6/10 кВ» [10]:

$$Q_{КУ.6} = 727,8 - 0 = 727,8 \text{ квар.}$$

При  $Q_{КУ.6}$  меньше 800 квар применение установок компенсации реактивной мощности на стороне 6 кВ нецелесообразно.

«Величина приведенных затрат на установку КТП» [10]:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2,886 \cdot 10^3 \text{ ч},$$

$$C_0 = \left( \frac{116,19}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 305 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год},$$

$$C = \left( \frac{116,19}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 100,5 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год},$$

$$C \cdot \Delta P_T = 305 \cdot 1,55 + 100,5 \cdot 0,7^2 \cdot 10,2 = 975 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot (458 \cdot 2) + (0,975 \cdot 2) = 206,2 \text{ тыс.руб}.$$

Суммарные приведенные затраты на КУ и КТП:

$$Z_{\text{общее}} = 0 + 206,2 = 206,2 \text{ тыс.руб}.$$

Выводы по разделу: по минимальной величине приведенных общих затрат выбираем вариант с установкой в комплектной трансформаторной подстанции двух трансформаторов ТМГ–1000.



## 5 Обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

Радиальные схемы применяются для питания мелких групп двигателей, расположенных в различных местах цеха, от распределительного пункта цеховой трансформаторной подстанции. По радиальной схеме осуществляется питание мощных приемников, например, насосов, компрессоров, крупных прессов и т. п. Радиальные схемы выполняются обычно проводами или кабелями.

В последнее время широкое применение на предприятиях, особенно машиностроительных, получили магистральные схемы, выполненные шинопроводами. Наиболее совершенной из магистральных схем является БМТ. Для всех магистральных схем характерны следующие особенности:

- схема обеспечивает несколько пониженную по сравнению с радиальной надежностью электроснабжения, так как при повреждении магистрали все ее потребители теряют питание. Однако у современных магистральных шинопроводов надежность весьма высока;
- стоимость исполнения магистральных сетей обычно ниже стоимости радиальных из-за меньшего числа коммутационных аппаратов и меньшей стоимости монтажа питающей линии;
- магистральные схемы применяют новейшие системы шинопроводов, позволяющих производить скоростной монтаж;
- в магистральных сетях больше токи КЗ, но зато меньше потери напряжения и мощности [13, 14].

Выводы по разделу: в работе выбираем радиальную схему электроснабжения электроприемников от распределительных пунктов исходя из расположения электроприемников и как обеспечивающую лучшую надежность электроснабжения.

## 6 Определение значений токов КЗ

«При проектировании СЭС учитываются не только нормальные продолжительные режимы работы электроустановок, но и аварийные режимы. Одним из аварийных режимов является короткое замыкание.

Коротким замыканием (КЗ) называется всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землей, при котором токи в ветвях резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима» [15, 16].

В системе трехфазного тока могут быть замыкания между тремя фазами – трехфазные КЗ, между двумя фазами – двухфазные КЗ. Если нейтраль сети заземлена, то возможно однофазное КЗ. Чаще всего возникают однофазные КЗ (60–90 % общего числа), реже трехфазные – до 7 %. Последние вызывают в поврежденной цепи наибольшие токи, поэтому при выборе аппаратуры управления и защиты за расчетный ток КЗ принимают ток трехфазного КЗ.

Расчеты токов КЗ выполняем по методике, изложенной в [15].

«Сопротивления системы учитывается индуктивным сопротивлением в схеме замещения» [15]:

$$x_c = \frac{U_{н.нн}^2}{S_c} \cdot 10^3, \quad (50)$$

$$x_c = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм.}$$

«Активные и индуктивные сопротивления обмоток трансформатора» [15]:

$$r_T = \frac{P_{к.з} \cdot U_{н.нн}^2}{S_H^2} \cdot 10^6, \quad (51)$$

$$r_T = \frac{10,2 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,6 \text{ мОм.}$$

$$Z_T = \frac{U_{к.з} \cdot U_{н.нн}^2}{S_H} \cdot 10^4, \quad (52)$$

$$Z_T = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,8 \text{ мОм.}$$

$$x_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2}, \quad (53)$$

$$x_T = \sqrt{8,8^2 - 1,6^2} = 8,6 \text{ мОм.}$$

«Сопротивления линий определяются по известным удельным сопротивлениям кабелей и их длине» [15]:

$$r_{КЛ} = r_{уд} \cdot l, \quad (54)$$

$$r_{КЛ1} = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ мОм,}$$

$$r_{КЛ2} = 0,37 \cdot 32 = 11,84 \text{ мОм,}$$

$$r_{КЛ3} = 0,74 \cdot 2 = 1,48 \text{ мОм.}$$

$$x_{КЛ} = x_{уд} \cdot l, \quad (55)$$

$$x_{КЛ1} = 0,078 \cdot 40 = 3,12 \text{ мОм,}$$

$$x_{КЛ2} = 0,085 \cdot 32 = 2,72 \text{ мОм,}$$

$$x_{КЛ3} = 0,091 \cdot 2 = 0,18 \text{ мОм.}$$

Составляем расчетную схему для определения значений токов КЗ (рисунок 1) и ее схему замещения (рисунок 2).

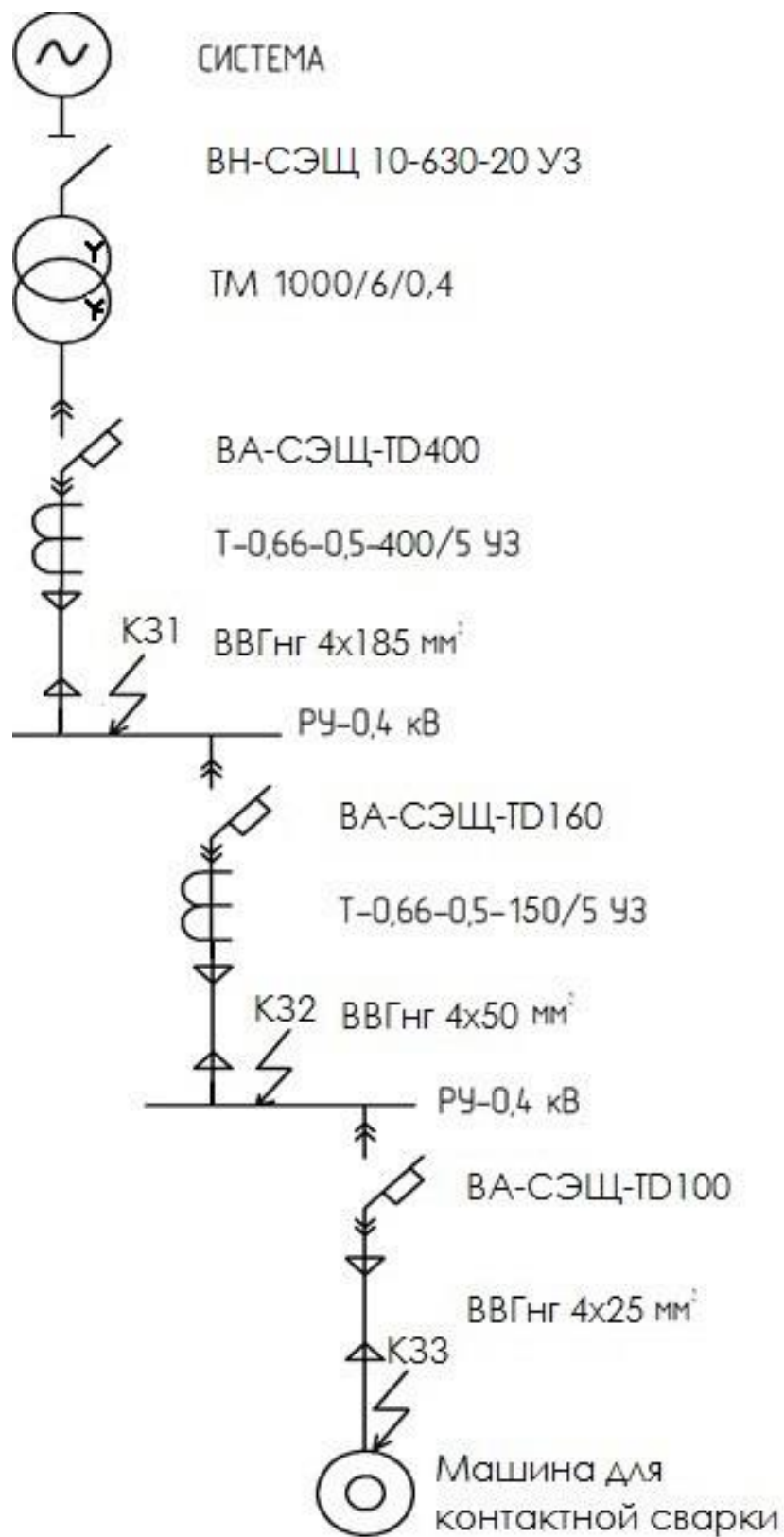


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения значений токов КЗ

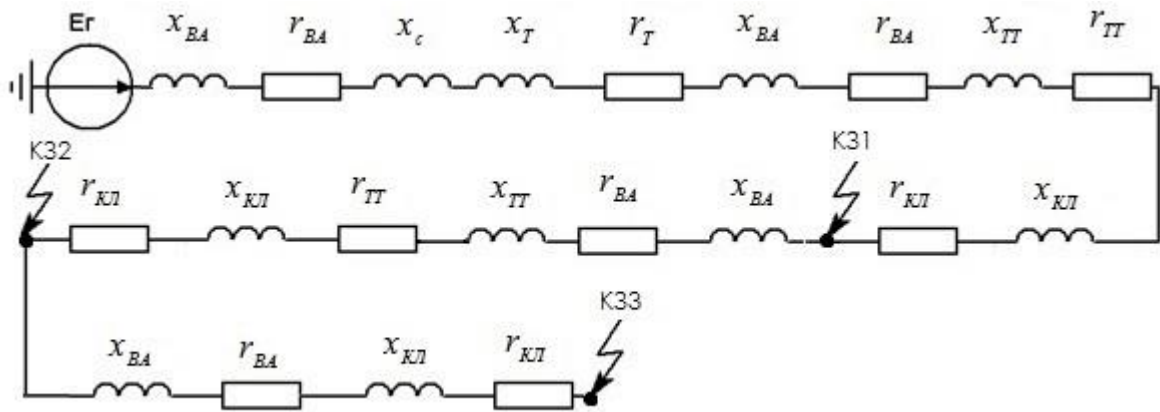


Рисунок 2 – Схема замещения для определения значений токов КЗ

### 6.1 Определение значений токов КЗ в точке КЗ1

«По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ» [15]:

$$r_{1\Sigma} = \sum r, \quad (56)$$

$$r_{1\Sigma} = 0,14 + 1,6 + 0,65 + 0,2 + 4 = 6,5 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = \sum x, \quad (57)$$

$$x_{1\Sigma} = 0,08 + 1,6 + 8,6 + 0,17 + 0,3 + 3,12 = 13,8 \text{ мОм}.$$

«Полное суммарное сопротивление до точки КЗ1» [15]:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{6,5^2 + 13,8^2} = 15,2 \text{ мОм}.$$

«Ток металлического трёхфазного короткого замыкания находится по формуле» [15]:

$$I_{км} = \frac{U_{н.нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{U_{н.нн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (58)$$

$$I_{км} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 15,2} = 15,19 \text{ кА.}$$

«Ток трехфазного дугового КЗ определяем с использованием снижающего коэффициента  $K_C$ .

Расчет дугового трехфазного КЗ выполняется в следующем порядке:

1. Определяются значения снижающего коэффициента для начального момента КЗ ( $K_{C1}$ ) и для установившегося КЗ ( $K_{C2}$ ) по справочным кривым.
2. Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле» [15]:

$$I_{к\partial} = I_{км} \cdot K_c, \quad (59)$$

$$I_{к\partial 1} = 15,19 \cdot 0,7 = 10,6 \text{ кА,}$$

$$I_{к\partial 2} = 15,19 \cdot 0,64 = 9,7 \text{ кА.}$$

«Ударный коэффициент КУ определяем по характеристике в справочнике» [15]:

$$\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}, \quad (60)$$

$$\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \frac{13,8}{6,5} = 2,1, \quad K_y \approx 1,21$$

«Ударный ток КЗ определяем по формуле» [15]:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{км}, \quad (61)$$

$$i_y = 1,21 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,19 = 25,9 \text{ кА.}$$

## 6.2 Определение значений токов КЗ в точке КЗ2

«По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ» [15]:

$$r_{1\Sigma} = 0,14 + 1,6 + 0,65 + 0,2 + 4 + 0,65 + 0,42 + 11,84 = 19,4 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,08 + 1,6 + 8,6 + 0,17 + 0,3 + 3,12 + 0,17 + 0,67 + 2,72 = 17,4 \text{ мОм}.$$

«Полное суммарное сопротивление до точки КЗ2» [15]:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{19,4^2 + 17,4^2} = 26 \text{ мОм},$$

«Ток металлического трёхфазного короткого замыкания находится по формуле» [15]:

$$I_{км} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26} = 8,9 \text{ кА}.$$

«Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле» [15]:

$$I_{к\partial 1} = 8,9 \cdot 0,72 = 6,4 \text{ кА},$$

$$I_{к\partial 2} = 8,9 \cdot 0,66 = 5,9 \text{ кА}.$$

«Ударный коэффициент КУ определяем по характеристике в справочнике» [15]:

$$\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \frac{17,4}{19,4} = 0,89, \quad K_y \approx 1,05$$

«Ударный ток КЗ определяем по формуле» [15]:

$$i_y = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,9 = 13,2 \text{ кА.}$$

### 6.3 Определение значений токов КЗ в точке КЗ3

«По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ» [15]:

$$r_{1\Sigma} = 0,14 + 1,6 + 0,65 + 0,2 + 4 + 0,65 + 0,42 + 11,84 + 2,15 + 1,48 = 23 \text{ мОм,}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,08 + 1,6 + 8,6 + 0,17 + 0,3 + 3,12 + 0,17 + 0,67 + 2,72 + 1,2 + 0,18 = 18,7 \text{ мОм,}$$

«Полное суммарное сопротивление до точки КЗ2» [15]:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{23^2 + 18,7^2} = 29,7 \text{ мОм.}$$

«Ток металлического трёхфазного короткого замыкания находится по формуле» [15]:

$$I_{км} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 29,7} = 7,8 \text{ кА,}$$

«Ток трехфазного дугового КЗ определяется по формуле» [15]:

$$I_{к\partial 1} = 7,8 \cdot 0,74 = 5,8 \text{ кА,}$$

$$I_{к\partial 2} = 7,8 \cdot 0,68 = 5,3 \text{ кА.}$$



«Ударный коэффициент КУ определяем по характеристике в справочнике» [15]:

$$\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \frac{18,7}{23} = 0,81, K_y \approx 1,03$$

«Ударный ток КЗ определяем по формуле» [15]:

$$i_y = 1,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,8 = 11,2 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу: определены значения токов короткого замыкания в трех точках сети 0,4 кВ, необходимые для проверки и выбора автоматических выключателей и проводников.

## 7 Выбор защитных аппаратов и проводников

Для одиночных электроприемников определяем значения номинальных токов:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0,380 \cdot \cos \varphi}, \quad (62)$$

Результаты заносим в таблицу 8.

Величины расчетных токов для РП берем из таблицы 2.

Провода и кабели при прохождении через них тока нагреваются. Если температура проводов и жил кабелей будут выше допустимой ПУЭ, то изоляция придет в негодность раньше предусмотренного срока службы.

В цеховых сетях могут быть следующие ненормальные по току режимы работы:

- а) увеличение тока вследствие перегруза;
- б) увеличение тока в момент пуска и самозапуска электродвигателей;
- в) увеличение тока вследствие короткого замыкания.

Для защиты проводов и жил кабелей от ненормальных токов в сетях напряжением до 1 кВ используются плавкие предохранители и автоматы. Эти аппараты разрывают цепь тока, когда значение его становится выше допустимой величины [17, 18].

Для линий к распределительным пунктам выбираем автоматические выключатели марки ВА-СЭЩ-ТД с различными токами расцепителей, трансформаторы тока Т-0,66-0,5, кабели типа 2ВВГнг.

Результаты выбора сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты выбора проводников и защитных аппаратов к распределительным пунктам

№ линии	Расчетное значение тока, А	Ток расцепителя АВ, А	Первичный ток ТТ, А	Кол-во жил и сечение кабеля
1	357,5	400	400	4x185
2	142,7	160	150	4x50
3	29,5	32	40	4x4
4	55,3	63	50	4x16
5	58,9	63	150	4x16

Для линий к отдельным электроприемникам выбираем автоматические выключатели марки ВА-СЭЩ-TD100 с различными токами расцепителей и кабели типа 2ВВГнг.

Результаты выбора автоматических выключателей и кабелей к отдельным электроприемникам сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматических выключателей и кабелей к отдельным электроприемникам

ЭП	$P_n$ , кВт	cosφ	$I_p$ , А	Ток расцепителя АВ, А	Кол-во жил и сечение кабеля
НТС	1,5	0,4	5,7	16	4x1,5
БР	5,5	0,5	16,7	20	4x2,5
ГН	6,5	0,5	19,7	20	4x2,5
ПОС	5	0,4	19	20	4x2,5
КПК	3,6	0,65	8,4	16	4x1,5
ЛП	15	0,65	35	40	4x6

Продолжение таблицы 9

ЭП	$P_n, \text{кВт}$	$\cos\varphi$	$I_p, \text{А}$	Ток расцепителя АВ, А	Кол-во жил и сечение кабеля
МКС	42	0,65	98,3	100	4x25
МКСС	14	0,65	32,7	40	4x6
ПК	3,8	0,65	8,9	16	4x1,5
СППИ	14,5	0,4	55,1	63	4x16
ВФС	11	0,4	41,8	63	4x10
ТВС	7,%	0,4	28,5	32	4x4
ТШС	4,5	0,65	10,5	16	4x1,5
ПВ	35	0,6	88,7	100	4x25
ГВ	18	0,6	45,6	50	4x10

Выводы по разделу: все выбранные аппараты проверены на отключающую способность и стойкость к токам КЗ.

## 8 Расчет системы заземления корпуса

«Защитным соединением называется преднамеренное соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей установки с целью электробезопасности. Его назначение - предотвратить возможность поражения людей электрическим током при соприкосновении с корпусами оборудования и другими нетоковедущими металлическими частями электроустановки, оказавшимися под напряжением вследствие различных неисправностей.

В сетях с глухозаземленной нейтралью задача защитного заземления состоит в обеспечении через нулевой провод (зануление) быстрого автоматического отключения поврежденного участка. В связи с этим по отношению к установкам напряжением до 1 кВ используется термин «зануление». Под занулением в электроустановках (ЭУ) понимается преднамеренное соединение металлических частей ЭУ, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью трансформатора (через нулевой провод)» [10, 19, 20].

Величина максимально допустимого сопротивления защитного заземления согласно ПУЭ равна 4 Ом.

Определим величину сопротивления одиночного вертикального заземлителя:

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_{\epsilon}}{2\pi \cdot L} \left( \lg \frac{2L}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4T + L}{4T - L} \right), \quad (63)$$

$$R_{\epsilon} = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \lg \frac{2 \cdot 3}{0,02} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 16,03 \text{ Ом.}$$

Определим величину сопротивления горизонтального заземлителя:

$$R_2 = 0,366 \frac{\rho_2}{L_2} \lg \frac{L_2^2}{d}, \quad (64)$$

$$R_2 = 0,366 \frac{50}{15} \lg \frac{15^2}{0,5 \cdot 0,04} = 17,05 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление сложного заземлителя найдем по формуле:

$$R_3 = \frac{R_8 \cdot R_2}{R_8 \cdot \eta_2 + R_2 \cdot \eta_8 \cdot n}, \quad (65)$$

$$R_3 = \frac{16,03 \cdot 17,05}{16,03 \cdot 0,74 + 17,05 \cdot 0,78 \cdot 5} = 3,5 \text{ Ом.}$$

Выводы по разделу: сопротивление спроектированного защитного заземления 3,5 Ом меньше установленного ПУЭ, что подтверждает правильность выбора.

## Заключение

В бакалаврской работе выполнен проект по реконструкции системы электроснабжения предприятия по выпуску заготовок и металлоконструкций.

Суммарная расчетная нагрузка осветительных установок составила 11,7 кВт и 1,9 квар. Сумма нагрузок сторонних потребителей, получающих питание от ТП предприятия составляет 488 кВт и 532 квар. После суммирования нагрузок силовых электроприемников, осветительных установок и сторонних потребителей суммарные значения расчетных нагрузок на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции составили 678 кВт и 746 квар.

Для освещения производственных помещений выбраны осветительные приборы типа ЛПП-07В 2x58 с электронной пускорегулирующей аппаратурой.

По минимальной величине приведенных общих затрат выбран вариант с установкой на ТП двух трансформаторов ТМГ–1000.

В работе выбрана радиальная схема электроснабжения электроприемников.

Определены значения токов короткого замыкания в трех точках.

Для линий к распределительным пунктам выбраны автоматические выключатели марки ВА-СЭЩ-ТД с различными токами расцепителей, трансформаторы тока Т-0,66-0,5, кабели типа 2ВВГнг. Для линий к отдельным электроприемникам выбраны автоматические выключатели марки ВА-СЭЩ-ТД100 с различными токами расцепителей и кабели типа 2ВВГнг. Выбранные автоматические выключатели проверены на отключающую способность и стойкость к токам КЗ.

Выполнен расчет системы заземления корпуса.

## Список используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
2. Анчарова Т. В., Рашевская М.А., Стебунова. Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс]: учебник , 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. 415 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/982211> (дата обращения 15.01.2021).
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko\\_%20EUI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf) (дата обращения: 09.02.2021).
4. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие. Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.
5. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
6. Мельников М.А. Внутризаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.
7. Савоськин В.С. Электроснабжение. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. ун-та, 2018. 256 с.
8. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2015. 384 с.
9. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.



10. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского пол-го ун-та, 2012. 173 с.
11. Старкова Л.Е. Справочник цехового энергетика : учебно-практическое пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 352 с.
12. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 16.12.2020).
13. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Жданов В.Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.
14. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов [Электронный ресурс]: Учебное пособие. 2-е изд. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 352 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/494251> (дата обращения 17.02.2021).
15. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.
16. Beaty H.W. Handbook of electric power calculations. USA: McGraw-Hill Companies, 2011. 608 p.
17. Hossain M.A., Pota H.R., Hossain M.J., Blaabjerg F. Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. № 109, pp. 160-186.
18. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
19. Nadaraju F.J., Maddocks A.R., Zanganeh J., Moghtaderi B. Simulation of power and cooling generation via heat recovery from a ventilation air methane abatement unit // Fuel. 2019. № 249, pp. 27-35.
20. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.