

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электроснабжение многофункционального складского корпуса»

Студент

А.А. Шарова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Нагаев

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

Тольятти 2020

## Аннотация

В бакалаврской работе была разработана система электроснабжения здания складского назначения, отвечающая требованиям надежности и безопасности.

Всего бакалаврская работа состоит из 10 разделов, включающих в себя:

- общую характеристику рассматриваемого объекта;
- определение расчётных электрических нагрузок склада;
- определение нагрузок системы освещения;
- определение номинальной мощности трансформаторов 10/0,4 кВ;
- выбор типа схемы внутреннего электроснабжения;
- определение значений номинальных токов проводников и выбор их сечений;
- определение токов КЗ;
- выбор электрических аппаратов для системы электроснабжения;
- определение параметров системы заземления склада;
- расчет параметров молниезащиты.

Суммарно пояснительная записка ВКР состоит из 53 листов, включает 2 рисунка и 11 таблиц с техническими характеристиками и результатами расчетов. Графическая часть работы выполнена шести листах А1.

## Содержание

Введение	4
1 Общая характеристика рассматриваемого объекта	5
2 Определение расчётных электрических нагрузок склада	6
3 Определение нагрузок системы освещения	19
4 Определение номинальной мощности трансформаторов 10/0,4 кВ	22
5 Выбор типа схемы внутреннего электроснабжения	28
6 Определение значений номинальных токов проводников и выбор их сечений	29
7 Определение токов КЗ	36
8 Выбор электрических аппаратов для системы электроснабжения	42
9 Определение параметров системы заземления склада	47
10 Расчет параметров молниезащиты	49
Заключение	50
Список используемых источников	51

## Введение

Системой электроснабжения объекта называется совокупность вместе работающих электрических установок, необходимых для снабжения электроприемников электроэнергией.

При проектировании системы электроснабжения (СЭС) необходимо обеспечить соблюдение заданных требований по надежности электроснабжения, минимум затрат на ввод в эксплуатацию, безопасность людей, эксплуатирующих систему электроснабжения, а также качество поставляемой потребителям электрической энергии. Множество аспектов, учитываемых при проектировании СЭС, повышает и требования к квалификации специалистов-проектировщиков [1].

Внутренние сети производственных цехов и общественных зданий состоят преимущественно из проводников и электрических аппаратов на напряжение до 1 кВ [2].

Цель бакалаврской работы заключается в разработке системы электроснабжения здания складского назначения, отвечающей заданным требованиям надежности и безопасности.

К основным задачам работы относятся:

- определение расчетных нагрузок силового оборудования и системы внутреннего освещения здания;
- выбор типа схемы внутреннего электроснабжения здания;
- выбор электрических аппаратов и проводников;
- проектирование системы заземления и молниезащиты здания.

## **1 Общая характеристика рассматриваемого объекта**

Здание склада является современным многофункциональным объектом. Предприятие оказывает услуги по хранению грузов различного назначения, разгрузке и погрузке.

Площадь здания равна 13,5 тыс. м<sup>2</sup> и состоит из следующих зон: склад с системой поддержания температурного режима, зоны для погрузки и разгрузки, а также офисных помещений. К основным преимуществам данного складского здания относятся его хорошая транспортная доступность и выгодное месторасположение, а также уровень предоставляемого сервиса и качество оказываемых услуг.

К электроприёмникам склада относятся: насосы системы противопожарной системы, установки системы вентиляции и кондиционирования, технологические установки для разгрузки и погрузки, тепловентиляционное оборудование и электроприемники индивидуального теплового пункта.

Большинство электроприемников склада относятся к III категории по надежности электроснабжения. К электроприемникам первой категории относятся насосы противопожарной системы, автоматика открытия люков для удаления продуктов горения, противопожарная сигнализации, установки аварийного освещения, установки системы вентиляции. Электроснабжение электроприемников склада выполнено от распределительного устройства 0,4 кВ трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

При аварийном отключении источника питания предусмотрен автоматический ввод резерва для питания потребителей первой категории.

Вывод: приведена общая характеристика рассматриваемого объекта.

## 2 Определение расчётных электрических нагрузок склада

Определение расчетной нагрузки необходимо для выбора проводников к распределительным пунктам и щитам, выбора защитно-коммутационной аппаратуры и номинальной мощности цеховых трансформаторов.

Выполним определение расчетной нагрузки для ЩР1:

Значение номинальной нагрузки одного ЭП длительного режима работы найдем [3, 4]:

$$P_{ном} = P_{расч} \cdot \quad (2.1)$$

Значение номинальной нагрузки для розеточной сети помещений №3 и №35 по плану здания.

$$P_{ном} = 2 \text{ кВт}.$$

Найдем значение номинальной мощности группы электроприёмников, получающих питание от ЩР4:

$$P_{ном} = n \cdot P_{расч} \cdot \quad (2.2)$$

Номинальную мощность группы ЭП определим на примере подъемной платформы.

$$P_{ном} = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ кВт}.$$

Для дальнейшего расчета нагрузка однофазных ЭП приводится к трехфазной.

Находим величину неравномерности:

$$H = \frac{P_{ф.наиб} - P_{ф.наим}}{P_{ф.наим}} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

$$H = \frac{2,5 - 1,89}{1,89} \cdot 100\% = 32,3 \%$$

При неравномерности более 15% номинальная мощность группы ЭП находится как:

$$P_{ном} = 3 \cdot P_{ф.наиб}, \quad (2.4)$$

$$P_{ном} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ кВт.}$$

Для ЩР1 находим величину коэффициента  $m$ :

$$m = \frac{P_{ном.наиб}}{P_{ном.наим}}, \quad (2.5)$$

$$m = \frac{2}{0,24} = 8,33. \quad (2.6)$$

Значение коэффициента  $m > 3$  влияет на выбор способа нахождения эффективного числа ЭП.

Определим для группы ЭП среднесменную активную и реактивную нагрузки.

$$P_{см} = k_u \cdot P_{ном}, \quad (2.7)$$

$$P_{см} = 0,7 \cdot 7,5 = 5,25 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.8)$$

$$Q_{см} = 5,25 \cdot 0,36 = 1,9 \text{ квар.}$$

Найдем значение величины [5, 6]:

$$n \cdot p_{НОМ}^2, \quad (2.9)$$

$$n \cdot p_{НОМ}^2 = 1 \cdot 2^2 = 4 \text{ кВт}^2.$$

Определим значения  $n$ ,  $k_u$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi$ ,  $n \cdot p_{НОМ}^2$  для ЩР1.

$$n = \sum n, \quad (2.10)$$

$$n = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7 \text{ шт.}$$

$$k_u = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{НОМ}}, \quad (2.11)$$

$$k_u = \frac{5,25}{7,5} = 0,7.$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{\sum Q_{см}}{\sum P_{см}}, \quad (2.12)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{1,9}{5,25} = 0,36.$$

$$\cos\varphi = \cos(\text{arctg}(\text{tg})), \quad (2.13)$$

$$\cos\varphi = \cos(\text{arctg}(0,36)) = 0,94.$$

$$\sum n \cdot p_{НОМ}^2, \quad (2.14)$$

$$\sum n \cdot p_{НОМ}^2 = 4 + 1 + 1,96 + 0,4225 + 0,25 + 0,25 + 0,0576 = 7,9.$$

Найдем значение эффективного числа ЭП. Исходя из того, что у ЩР1  $m > 3$ , а  $k_u > 0,2$ , то  $n_э$  определим по выражению:

$$n_э = 2 \cdot \frac{\sum P_{НОМ}}{P_{НОМ.наиб}}, \quad (2.15)$$



$$n_{\text{э}} = 2 \cdot \frac{7,5}{2} = 7,5.$$

Поскольку по расчетной формуле  $n_{\text{э}}$  превышает фактическое число ЭП, то в дальнейших расчетах принимается  $n_{\text{э}} = n = 7$ .

При значениях  $n_{\text{э}}=7$  и  $k_{\text{л}}=0,7$  значение  $K_p$  по справочным таблицам равно 1,04.

Определим значения активной, реактивной и полной расчетных мощностей:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{\text{см}}, \quad (2.16)$$

$$P_p = 1,4 \cdot 5,25 = 5,46 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{\text{см}}, \quad (2.17)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,9 = 2,1 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.18)$$

$$S_p = \sqrt{5,46^2 + 2,1^2} = 5,85.$$

Найдем для ЩР1 значение расчетного тока:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.19)$$

$$I_p = \frac{5,85}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,9 \text{ А.}$$

Вывод: аналогичным образом выполняем расчёты и для остальных узлов, а результаты заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты определения силовых электрических нагрузок по зданию

Название	п, шт	1-го ЭП $P_{НОМ}$ , кВт	всех $P_{НОМ}$ , кВт	$k_u$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$K_{и} \cdot$ $P_{НОМ}$	$K_{и} \cdot$ $P_{НОМ} \cdot$ $tg \varphi$	$n \cdot P_{НОМ}$ $\cdot P_{НОМ}$	$n_{\text{Э}}$	$K_p$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	1	2	7,5	0,7	0,94	0,36	5,25	1,9	4	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	1	1							1						
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	1	1,4							1,96						
Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	1	0,65							0,4225						
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	1	0,5							0,25						
ЯТПР–220/12	1	0,5							0,25						
Вентиляц. установки	1	0,24							0,0576						
Итого по ЩР1	7	2/0,24	7,5	0,7	0,94	0,36	5,25	1,9	7,9401	7	1,04	5,46	2,1	5,85	8,9

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
Розеточная сеть пом. №13 и №14	1	3	22,7	0,6	0,94	0,36	13,6	5	9	-	-	-	-	-	-					
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	1	2,8							7,84											
Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	1	2,2							4,84											
Розеточная сеть пом. №27	1	1							1											
Система освещения пом. №1, №2 и №27	1	0,6							0,36											
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	1	1							1							-	-	-	-	-
Система освещения пом. №3, №13 и №14	1	0,7							0,49											
Система освещения пом. №7	1	0,45							0,2025											
Внешние уст.	1	3,1							9,61											
Внешние уст.	1	1,7							2,89											
Дренаж	1	0,054							0,003											
Вентиляц. установки	1	0,6							0,36											
Итого по ЦР2	12	3,1/0,054	22,7	0,6	0,94	0,36	13,6	5	37,6	14	1	13,6	5	14,5	22					

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розеточная сеть пом. №12 и №13	1	3	31,7	0,4	0,94	0,36	12,7	4,6	9	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №9 и №11	1	3							9						
Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	1	2,5							6,25						
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	1	2,5							6,25						
Система освещения пом. №1, №2 и №7	1	0,5							0,25						
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	1	0,9							0,81						
Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	1	0,8							0,64						
Внешние уст.	1	3,1							9,61						
Внешние уст.	1	2,18							4,75						
Дренаж	1	0,072							0,005						
Вентиляц. установки	1	0,52	0,27												
Итого по ЩРЗ	11	3,1/0,072	31,7	0,4	0,94	0,36	12,7	4,6	46,8	20	1	12,7	4,6	13,5	20,5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16						
Подъемная платформа	1	1,1	1,1	0,7	0,85	0,62	0,77	0,48	1,21	-	-	-	-	-	-						
Подъемная платформа	1	1,1	1,1	0,7	0,85	0,62	0,77	0,48	1,21												
Упаковщик	1	1,1	1,1	0,5	0,8	0,75	0,55	0,41	1,21												
ЭД ворот	1	0,4	17,01	0,65	0,9	0,48	11,06	5,35	0,16												
ЭД ворот	1	0,4							0,16												
Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	1	3,5							12,25												
Розеточная сеть пом. №23	1	2							4												
Розеточная сеть пом. №37	1	1							1												
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	1	0,3							0,09												
Система освещения пом. №21, №22 и №23	1	0,4							0,16												
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	1	0,8							0,64												
Система освещения	1	1							1												
Вентиляц. установки	1	0,34							0,1												
Тепловентилятор	1	3,37							11,36												
Итого по ЦР4	14	3,5/0,3							20,31	0,65	0,89	0,5	13,15	6,72	34,56	11	1	13,15	6,72	14,8	22,4

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Подъемная платформа	2	1,1	2,2	0,7	0,85	0,62	1,54	0,95	2,42						
Подъёмник для лиц с огр. возм.	1	0,75	2,25	0,75	0,9	0,48	1,69	0,82	0,56	-	-	-	-	-	-
ЭД ворот	2	0,4							0,32						
Итого по ЩСТ1	5	1,1/0,4	4,45	0,725	0,88	0,55	3,2	1,77	3,3	5	1,03	3,3	1,95	3,85	5,85
Подъемная платформа	3	1,1	3,3	0,7	0,85	0,62	2,31	1,43	3,63						
ЭД ворот	3	0,4	1,2	0,75	0,9	0,48	0,9	0,436	0,48	-	-	-	-	-	-
Итого по ЩСТ2	6	1,1/0,4	4,5	0,71	0,86	0,58	3,21	1,87	4,11	6	1,01	3,24	2,05	3,8	5,8
Розеточная сеть пом. №36	1	2	6	0,6	0,94	0,36	3,6	1,3	4	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №39	1	1							1						
Система освещения пом. №39	1	0,2							0,04						
Система освещения пом. №8, №9 и №36	1	0,3							0,09						
ЯТПР-220/12	1	0,25							0,0625						
Вентиляц. установки	1	0,1							0,01						
Итого по ЩР5	6	2/0,1	6	0,6	0,94	0,36	3,6	1,3	5,2	6	1,06	3,8	1,44	4,08	6,2
Розеточная сеть пом. №15 и №16	1	1,8							3,24						
Розеточная сеть пом. №17 и №18	1	2,1							4,41						

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	1	3	18,66	0,7	0,9	0,48	13,062	6,33	9	-	-	-	-	-	
Розеточная сеть пом. №23 и №24	1	1,4							1,96						
Система освещения пом. №19	1	0,5							0,25						
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	1	0,4							0,16						
Система освещения пом. №20, №21 и №22	1	0,8							0,64						
Система освещения пом. №17 и №18	1	0,3							0,09						
Система освещения пом. №15 и №16	1	0,6							0,36						
Внешние уст.	1	3,1							9,61						
Внешние уст.	2	1							2						
Дренаж	1	0,16							0,0256						
Вентиляц. установки	1	0,06							0,0036						
Итого по ЩР6	14	3,1/0,06	18,66	0,7	0,9	0,48	13,062	6,33	31,75	12	1	13,062	6,33	14,5	22,05
Розеточная сеть пом. №14 и №15	1	3							9						

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розеточная сеть пом. №16 и №17	1	2,5	38,25	0,4	0,9	0,48	15,3	7,4	6,25	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	1	3							9						
Розеточная сеть пом. №20 и №23	1	1,4							1,96						
Система освещения пом. №18	1	0,5							0,25						
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	1	0,4							0,16						
Система освещения пом. №19, №20 и №21	1	0,8							0,64						
Система освещения пом. №16 и №17	1	0,3							0,09						
Система освещения пом. №14 и №15	1	0,6							0,36						
Внешние уст.	2	3,1							19,22						
Внешние уст.	1	2,18							4,75						
Дренаж	1	0,11							0,0121						
Вентиляц. установки	1	0,06							0,0036						
Итого по ЩР7	14	3,1/0,06	38,25	0,4	0,9	0,48	15,3	7,4	51,7	24	1	15,3	7,4	17	25,83



Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Подъемная платформа	2	1,1	2,2	0,7	0,85	0,62	1,54	0,95	2,42						
Упаковщик	1	1,1	1,1	0,5	0,8	0,75	0,55	0,4	1,21						
Тепловой пункт	1	5,5	5,5	0,7	0,85	0,62	3,85	2,39	30,25						
ЭД ворот	2	0,4							0,32						
Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	1	3,5							12,25						
Розеточная сеть пом. №24	1	2							4						
Розеточная сеть пом. №34	1	1							1						
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	1	0,3	15,6	0,7	0,9	0,48	10,92	5,29	0,09	-	-	-	-	-	-
Система освещения пом. №24, №25 и №26	1	0,4							0,16						
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	1	0,8							0,64						
Система освещения	1	1							1						
Вентиляц. установки	1	0,16							0,0256						
Тепловентиляторы	1	3,37							11,36						
Итого по ЩР8	15	5,5/0,16	24,4	0,69	0,88	0,54	16,86	9,04	64,7	8	1	16,86	9,9	19,6	29,7

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ЩТ2	1	3,28	3,28	1	0,92	0,426	3,28	1,4	10,76	-	-	3,28	1,4	3,6	5,4
Итого по ШВ	56	5,5/0,054	95,09	0,58	0,9	0,5	55,3	27,35	168,24	34	1	55,3	30,08	62,96	95,7
Щит КПП1	1	2	2	0,5	0,92	0,426	1	0,426	4	-	-	1	0,426	1,09	1,65
Щит КПП2	1	2	2	0,5	0,92	0,426	1	0,426	4	-	-	1	0,426	1,09	1,65
ЩТ1	1	3,16	3,16	1	0,92	0,426	3,16	1,35	10	-	-	3,16	1,35	3,4	5,22
Итого по ВРУ без учета системы освещения	108	5,5/0,054	188,9	0,57	0,91	0,46	108,38	49,49	316,46	68	1	108,38	54,4	121,3	184,27
Система освещения	-	-	9,488	-	0,97	0,25	5,7	1,42	-	-	-	5,7	1,42	5,87	8,9
Итого по ВРУ здания	108	5,5/0,054	198,38	0,575	0,91	0,45	114,1	50,91	316,46	72	1	114,1	50,91	124,92	189,8

### 3 Определение нагрузок системы освещения

Определим необходимое количество светильников для соблюдения норм освещенности в зонах складирования, а также проведения погрузочно-разгрузочных работ. Расчёты производим по СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Исходными данными являются длина помещения №10, которая равна  $A=29,25$  м, ширина помещения  $B=6,74$  м, высота помещения  $H=12$  м.

Для использования в системе искусственного освещения выбираем светильники, выпускаемые заводом «Varton» со светодиодами.

Основные характеристики помещений, необходимые для светотехнического расчета сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Основные характеристики помещений

№	Помещение	А, м	В, м	Н, м	К <sub>з</sub> , о.е.	К <sub>отр</sub> , % для		
						потолка	стен	пола
1	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	29,25	6,74	12	1,5	70	50	20
2	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	33,8	7,28	12	1,5	70	50	20
3	Зона складирования	39	52,75	12	1,5	70	50	20
4	Зона складирования	39	53,17	12	1,5	70	50	20
5	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	26	5,52	12	1,5	70	50	20
6	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	26	6,2	12	1,5	70	50	20

Определяем коэффициент использования. Предварительно находим индекс помещения [7, 8]:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)}, \quad (3.1)$$
$$i = \frac{197,11}{(12 - 0 - 0) \cdot (29,25 + 6,74)} = 0,46.$$

По справочным таблицам для выбранного типа светильника определяем коэффициент использования, который равен  $K_u = 0,59$ .

Найдем количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_z}{k_u \cdot n \cdot \Phi}, \quad (3.2)$$

Определим суммарную мощность светильников внутри помещения №10:

$$P = N \cdot p, \quad (3.3)$$
$$P = 8 \cdot 36 = 288 \text{ Вт.}$$

Для остальных помещений расчеты требуемого количества светильников производим аналогично.

Результаты расчетов для каждого из помещений, количество светильников и мощность системы освещения каждого помещения заносим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов для каждого из помещений

№	Помещение	Выбранный светильник	Φ , лм	Номинальная мощность одного светильника Р, Вт	№, шт	Номинальная мощность всех светильников в помещении РΣ, Вт
1	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	VS IP65	4400	36	8	288
2	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	VS IP65	4400	36	8	288
3	Зона складирования	VI 2.0	10300	80	52	4160
4	Зона складирования	VI 2.0	10300	80	54	4320
5	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	VS IP65	4400	36	6	216
6	Зона проведения погрузочно-разгрузочных работ	VS IP65	4400	36	6	216

Вывод: произведены расчеты для каждого из помещений, определено количество светильников и мощность системы освещения каждого помещения.

#### 4 Определение номинальной мощности трансформаторов 10/0,4 кВ

Для питания основных потребителей III категории надёжности предусматриваем однострансформаторную подстанцию.

Принимаем к установке масляный трансформатор.

«Мощность трансформатора, принимаемого к установке» [9, 10]:

$$S_{ном.т} = \frac{P_p}{N_T \cdot K_3}, \quad (4.1)$$

$$S_{ном.т} = \frac{114,1}{1 \cdot 0,9} = 126,8.$$

Выбираем масляный трансформатор ТМГ–160/10/0,4.

В таблицу 4.1 сводим паспортные данные выбранного трансформатора ТМГ–160/10/0,4.

Таблица 4.1 – паспортные данные выбранного трансформатора ТМГ–160/10/0,4

$P_{xx}$ , кВт	$P_{кз}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$i_{xx}$ , %	$K_3$	$N_T$ , шт	$S_{ном.т}$ , кВА
0,35	2,9	4,5	1,1	0,9	1	160

«Активные потери в СТ» [11]:

$$\Delta P = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}, \quad (4.2)$$

$$\Delta P = 1 \cdot 0,35 + 0,9^2 \cdot 2,9 = 2,7 \text{ кВт.}$$

Реактивные потери в СТ:

$$\Delta Q = N_T \cdot (i_{xx} + K_{\frac{2}{3}} \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_{ном.т}}{100}, \quad (4.3)$$

$$\Delta Q = 1 \cdot (1,1 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{160}{100} = 7,6 \text{ квар.}$$

Активная и реактивная мощности с учётом потерь:

$$\Sigma P_p = P_p + \Delta P, \quad (4.4)$$

$$\Sigma P_p = 114,1 + 2,7 = 116,6 \text{ кВт.}$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + \Delta Q, \quad (4.5)$$

$$\Sigma Q_p = 50,91 + 7,6 = 58,5 \text{ квар.}$$

Действительный коэффициент загрузки трансформатора в случае полной компенсации РМ:

$$K_{з.д} = \frac{P_p}{N_T \cdot S_{ном.т}}, \quad (4.7)$$

$$K_{з.д} = \frac{114,1}{1 \cdot 160} = 0,71.$$

Реактивная мощность, которую можно передать через СТ с учётом требуемого Кз:

$$Q_1 = \sqrt{(K_{з.д} \cdot S_{ном.т})^2 - \Sigma P_p^2}, \quad (4.8)$$

$$Q_1 = \sqrt{(0,9 \cdot 160)^2 - 116,6^2} = 84,226 \text{ квар.}$$

Требуемая мощность КУ с учётом пропускной способности СТ:

$$Q_{ку.тp1} = \sum Q_p - Q_1, \quad (4.9)$$

$$Q_{ку.тp1} = 58,5 - 84,226 = -25,7 \text{ квар.}$$

Часть экономической РМ, потребляемой в часы максимума нагрузки в энергосистеме, трансформаторной подстанцией:

$$Q_{\vartheta} = tg\varphi_{\vartheta} \cdot \sum P_p, \quad (4.10)$$

$$Q_{\vartheta} = 0,45 \cdot 116,8 = 52,56 \text{ квар.}$$

Требуемая мощность КУ с учётом коэффициента мощности:

$$Q_{ку.тp2} = \sum Q_p - Q_{\vartheta}, \quad (4.11)$$

$$Q_{ку.тp2} = 58,5 - 52,56 = 5,94 \text{ квар.}$$

Выбираем большее из найденных значений мощности  $Q_{ку} = Q_{ку.тp2} = 5,94$  квар. Поскольку найденное значение многим меньше 50 квар, то установка КУ является нецелесообразной.

Для сравнения показателей выполним проверку утановки на ТП трансформатора типа ТМГ–250/10(6).

В таблицу 4.2 сводим паспортные данные выбранного трансформатора ТМГ–250/10/0,4.

Таблица 4.2 – паспортные данные выбранного трансформатора ТМГ–250/10/0,4

$P_{xx},$ кВт	$P_{кз},$ кВт	$U_{кз},$ %	$i_{xx},$ %	$K_з$	$N_T,$ шт	$S_{ном.т},$ кВА
0,51	3,5	4,5	0,45	0,9	1	250



Результаты расчетов с трансформатором типа ТМГ–250/10/0,4 заносим в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчетов с трансформатором типа ТМГ–250/10/0,4

$\Delta P$	$\Delta Q$	$\Sigma P_p$	$\Sigma Q_p$	$1,3 \cdot S_{ном.т}$	$K_{з.д}$	$Q_1$	$Q_{ку.мп1}$	$Q_э$	$Q_{ку.мп2}$
3,3	10,2	117,4	61,15	325	0,46	191,9	-130,8	52,85	8,3

В варианте с установкой трансформатора ТМГ–250/10/0,4 установка КУ также является нецелесообразной.

Выполним технико-экономическое сравнение показателей для двух вариантов установки СТ на КТП.

Определим величину приведённых затрат для варианта с трансформатором ТМГ–160/10/0,4:

$$Z = E_k \cdot K + I, \quad (4.12)$$

Величина единовременных капитальных затрат на установку КТП:

$$K = K_{кмпн} + K_m, \quad (4.13)$$

Ежегодные издержки производства:

$$I = I_a + I_э, \quad (4.14)$$

Расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления:

$$I_a = \frac{(p_a + p_э + p_p)}{100} \cdot K, \quad (4.15)$$

Величина годовых потерь электрической энергии:

$$I_{\text{э}} = C \cdot \Delta W, \quad (4.16)$$

Годовые потери электрической энергии [12, 13]:

$$\Delta W = N \cdot (P_{\text{xx}} \cdot t + P_{\text{кз}} \cdot K \frac{2}{3} \cdot \tau), \quad (4.17)$$

Время использования максимума потерь [14]:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000}\right)^2 \cdot t, \quad (4.18)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{2500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1225,3 \text{ ч.}$$

Годовые потери электрической энергии:

$$\Delta W = 1 \cdot (0,35 \cdot 8760 + 2,9 \cdot 0,9^2 \cdot 1225,3) = 5944,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость годовых потерь электрической энергии:

$$I_{\text{э}} = 2,4 \cdot 5944,3 = 14266,2 \text{ руб.}$$

Величина капитальных затрат на установку КТП:

$$K = 130000 + 129000 = 259000 \text{ руб.}$$

Расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления:

$$I_a = \frac{(20 + 3 + 2,9)}{100} \cdot 259000 = 67081 \text{руб.}$$

Ежегодные издержки производства:

$$I = 67081 + 14266,2 = 81347,2 \text{руб.}$$

Итоговые приведённые затраты для варианта с установкой трансформатора ТМГ–160/10/0,4:

$$З = 0,15 \cdot 259000 + 81347,2 = 120197,2 \text{руб.}$$

Результаты расчета приведённых затрат для варианта с установкой трансформатора ТМГ–250/10/0,4 занесены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчета приведённых затрат для варианта с установкой трансформатора ТМГ–250/10/0,4 и ТМГ–160/10/0,4

Приведённые затраты З, руб.	
ТМГ – 160/10(6)	ТМГ – 250/10(6)
120197,2 руб.	141350,3 руб.

Вывод: по величине наименьших приведенных затрат выбираем для установки вариант КТП–ТВ 160/10/0,4 с СТ типа ТМГ–160/10/0,4.

## **5 Выбор типа схемы внутреннего электроснабжения**

Схема внутреннего электроснабжения предприятия должна быть в первую очередь безопасной, обеспечивать заданную надежность электроснабжения потребителей, быть удобной в эксплуатации и при этом обладать наилучшими технико-экономическими показателями, которые достигаются путем сравнения нескольких вариантов на стадии проектирования и выбором оптимального.

Потребители электрической энергии на складе размещены крайне неравномерно, имеют разную номинальную мощность и не связанный между собой режим работы, поэтому применение магистральной схемы с шинопроводами становится нецелесообразно и экономически не выгодно. Поэтому для внутреннего электроснабжения выбираем радиальную схему с установкой распределительных пунктов и питанием электроприемников и РП по кабельным линиям [15].

Радиальная схема электроснабжения обладает повышенной надежностью, любые аварии могут быть быстро локализованы и не затрагивают нормальную работу потребителей от неповрежденных участков.

К недостаткам можно отнести сравнительно высокую протяженность КЛ, что приводит к увеличению затрат на строительство.

**Вывод:** выбрана радиальная схема электроснабжения.

## 6 Определение значений номинальных токов проводников и выбор их сечений

Номинальный ток ЭП однофазного исполнения определяем для вытяжной вентиляционной системы:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{U_{НОМ} \cdot \cos\varphi}, \quad (6.1)$$

$$I_{НОМ} = \frac{0,24}{0,22 \cdot 0,94} = 1,1 \text{ А.}$$

Номинальный ток ЭП трехфазного исполнения определяем для подъемной платформы:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi}, \quad (6.2)$$

$$I_{НОМ} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 1,93 \text{ А.}$$

Значения номинальных токов прочих ЭП рассчитываем по формулам 6.1 и 6.2, а результаты расчетов заносим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Значения номинальных токов прочих ЭП

ЭП	$I_{НОМ}$	Наименование ЭП	$I_{НОМ}, \text{А}$
1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	9	Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	4,5
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	6,3	Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	2,9
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	2,3	ЯТПР–220/12	2,2
Вентиляц. установки	1,1	Розеточная сеть пом. №13 и №14	13,6

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	12,7	Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	10
Розеточная сеть пом. №27	4,5	Система освещения пом. №1, №2 и №27	2,7
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	4,5	Система освещения пом. №3, №13 и №14	3,2
Система освещения пом. №7	2	Внешние уст.	14,5
Внешние уст.	7,7	Дренаж	0,3
Вентиляц. установки	2,7	Розеточная сеть пом. №12 и №13	13,6
Розеточная сеть пом. №9 и №11	13,6	Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	11,3
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	11,3	Система освещения пом. №1, №2 и №7	2,3
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	4	Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	3,6
Внешние уст.	14,5	Внешние уст.	10
Дренаж	0,33	Вентиляц. установки	2,4
Подъемная платформа	1,93	Подъемная платформа	1,93
ЭД ворот	4	ЭД ворот	4
Упаковщик	1,7	Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	15,9
Розеточная сеть пом. №23	9	Розеточная сеть пом. №37	4,5
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	1,36	Система освещения пом. №21, №22 и №23	1,9
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	3,6	Система освещения	4,5
Вентиляц. установки	1,55	Тепловентилятор	19,8
Подъемная платформа	1,93	Подъемная платформа	1,93
Подъёмник для лиц с огр. возм.	3,8	ЭД ворот	4
ЭД ворот	4	Подъемная платформа	1,93
Подъемная платформа	1,93	Подъемная платформа	1,93
ЭД ворот	4	ЭД ворот	4
ЭД ворот	4	Розеточная сеть пом. №36	9
Розеточная сеть пом. №39	4,5	Система освещения пом. №39	0,9
Система освещения пом. №8, №9 и №36	1,4	ЯТПР-220/12	1,18

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4
Вентиляц. установки	0,5	Розеточная сеть пом. №15 и №16	8,1
Розеточная сеть пом. №17 и №18	9,5	Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	13,6
Розеточная сеть пом. №23 и №24	6,3	Система освещения пом. №19	2,3
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	1,8	Система освещения пом. №20, №21 и №22	3,6
Система освещения пом. №17 и №18	1,4	Система освещения пом. №15 и №16	2,7
Внешние уст.	14,5	Внешние уст.	4,5
Внешние уст.	4,5	Дренаж	0,7
Вентиляц. установки	0,3	Розеточная сеть пом. №14 и №15	13,6
Розеточная сеть пом. №16 и №17	11,4	Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	13,6
Розеточная сеть пом. №20 и №23	6,4	Система освещения пом. №18	2,3
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	1,8	Система освещения пом. №19, №20 и №21	3,6
Система освещения пом. №16 и №17	1,4	Система освещения пом. №14 и №15	2,7
Внешние уст.	14,5	Внешние уст.	14,5
Внешние уст.	9,9	Дренаж	0,5
Вентиляц. установки	0,3	Подъемная платформа	1,93
Подъемная платформа	1,93	ЭД ворот	4
ЭД ворот	4	Палетоупаковщик	1,7
Тепловой пункт	10,5	Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	15,9
Розеточная сеть пом. №24	9	Розеточная сеть пом. №34	4,5
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	1,36	Система освещения пом. №24, №25 и №26	1,9
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	3,6	Система освещения	4,5
Вентиляц. установки	0,73	Тепловентиляторы	19,8
ЩТ2	14,8	Щит КПП1	3
Щит КПП2	3	ЩТ1	14,3

Сечение кабеля выбираем по формуле:

$$I_p \leq K_n \cdot I_{доп}, \quad (6.3)$$

где

$$K_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (6.4)$$

В качестве примера продемонстрируем выбор марки и сечения проводника для розеточной сети пом. №3 и №35.

$$K_n = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

$$9 \leq 1 \cdot 27.$$

Выбираем кабель типа ВВГнг-LS 3 × 2,5.

Для остальных электроприёмников выбираем такой же тип кабеля (если не указано иное), а результаты расчетов сечений сводим в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты расчетов сечений кабелей к электроприемникам

ЭП	Кол-во жил и сечение жилы	ЭП	Кол-во жил и сечение жилы
1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	3 × 2,5	Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	3 × 1,5
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	3 × 1,5	ЯТПР–220/12	3 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Розеточная сеть пом. №13 и №14	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №27	3 × 2,5	Система освещения пом. №1, №2 и №27	3 × 1,5
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	3 × 1,5	Система освещения пом. №3, №13 и №14	3 × 1,5
Система освещения пом. №7	3 × 1,5	Внешние уст.	3 × 2,5
Внешние уст.	3 × 1,5	Дренаж	2 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Розеточная сеть пом. №12 и №13	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №9 и №11	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	3 × 2,5	Система освещения пом. №1, №2 и №7	3 × 1,5



Продолжение таблицы 6.2

1	2	3	4
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	3 × 1,5	Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	3 × 1,5
Внешние уст.	3 × 2,5	Внешние уст.	3 × 2,5
Дренаж	2 × 1,5	Вентиляц. установки	3 × 1,5
Подъемная платформа	5 × 1,5	Подъемная платформа	5 × 1,5
ЭД ворот	3 × 1,5	ЭД ворот	3 × 1,5
Упаковщик	5 × 1,5	Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №23	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №37	3 × 2,5
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	3 × 1,5	Система освещения пом. №21, №22 и №23	3 × 1,5
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	3 × 1,5	Система освещения	3 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Тепловентилятор	3 × 4
Подъемная платформа	5 × 1,5	Подъемная платформа	5 × 1,5
Подъёмник для лиц с огр. возм.	3 × 1,5	ЭД ворот	3 × 1,5
ЭД ворот	3 × 1,5	Подъемная платформа	5 × 1,5
Подъемная платформа	5 × 1,5	Подъемная платформа	5 × 1,5
ЭД ворот	3 × 1,5	ЭД ворот	3 × 1,5
ЭД ворот	3 × 1,5	Розеточная сеть пом. №36	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №39	3 × 2,5	Система освещения пом. №39	3 × 1,5
Система освещения пом. №8, №9 и №36	3 × 1,5	ЯТПР–220/12	3 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Розеточная сеть пом. №15 и №16	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №17 и №18	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №23 и №24	3 × 2,5	Система освещения пом. №19	3 × 1,5
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	3 × 1,5	Система освещения пом. №20, №21 и №22	3 × 1,5
Система освещения пом. №17 и №18	3 × 2,5	Система освещения пом. №15 и №16	3 × 1,5
Внешние уст.	3 × 2,5	Внешние уст.	3 × 1,5
Внешние уст.	3 × 1,5	Дренаж	2 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Розеточная сеть пом. №14 и №15	3 × 2,5

Продолжение таблицы 6.2

1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №16 и №17	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №20 и №23	3 × 2,5	Система освещения пом. №18	3 × 1,5
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	3 × 1,5	Система освещения пом. №19, №20 и №21	3 × 1,5
Система освещения пом. №16 и №17	3 × 1,5	Система освещения пом. №14 и №15	3 × 1,5
Внешние уст.	3 × 2,5	Внешние уст.	3 × 2,5
Внешние уст.	3 × 2,5	Дренаж	2 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Подъемная платформа	5 × 1,5
Подъемная платформа	5 × 1,5	ЭД ворот	3 × 1,5
ЭД ворот	3 × 1,5	Палетоупаковщик	3 × 1,5
Тепловой пункт	5 × 4	Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №24	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №34	3 × 2,5
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	3 × 1,5	Система освещения пом. №24, №25 и №26	3 × 1,5
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	3 × 1,5	Система освещения	3 × 1,5
Вентиляц. установки	3 × 1	Тепловентиляторы	3 × 4
ЩТ2	3 × 2,5	Щит КПП1	АВБбШв 5 × 4
Щит КПП2	АВБбШв 5 × 4	ЩТ1	3 × 2,5
ЩР1	5 × 2,5	ЩР2	5 × 4
ЩР3	5 × 4	ЩР4	5 × 6
ЩСТ1	5 × 2,5	ЩСТ2	5 × 2,5
ЩР5	5 × 2,5	ЩР6	5 × 4
ЩР7	5 × 4	ЩР8	5 × 6
ШВ	5 × 35	РП	ЗПуГВнг-LS 1 × 95
ВРУ	АВБбШв-нг 4 × 120	-	-

Определим величину потерь напряжения до самого далёкого от центра питания электроприёмника:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_n} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\%, \quad (6.5)$$

Определим величину потерь в сети освещения:

$$\Delta U_{осв} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,5 \cdot 0,09}{220} \cdot (12,3 \cdot 0,9 + 0,126 \cdot 0,436) \cdot 100 = 3,55\%.$$

Величины потерь напряжения до пунктов ЩР8, ШВ, РП и ВРУ.

$$\Delta U_{щр8} = \frac{\sqrt{3} \cdot 24,9 \cdot 0,105}{380} \cdot (3,09 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,436) \cdot 100 = 3,37\%,$$

$$\Delta U_{шв} = \frac{\sqrt{3} \cdot 91,7 \cdot 0,08}{380} \cdot (0,53 \cdot 0,92 + 0,088 \cdot 0,392) \cdot 100 = 1,746\%,$$

$$\Delta U_{рп} = \frac{\sqrt{3} \cdot 172 \cdot 0,015}{380} \cdot (0,195 \cdot 0,92 + 0,081 \cdot 0,392) \cdot 100 = 0,25\%,$$

$$\Delta U_{вру} = \frac{\sqrt{3} \cdot 172 \cdot 0,1}{380} \cdot (0,261 \cdot 0,92 + 0,08 \cdot 0,392) \cdot 100 = 2,13\%.$$

Определим максимальные потери напряжения до самого далеко расположенного ЭП:

$$\Delta U = 105 - 3,55 - 3,37 - 1,746 - 0,25 - 2,13 = 93,95\%.$$

Вывод: полученное значение напряжения на зажимах электроприемника не выходит за установленные в ГОСТ 32144-2013 значения в 10%.

## 7 Определение токов КЗ

Определим значения сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения.

«Индуктивное сопротивление ЭЭС» [16, 17]:

$$X_c = \frac{U_{HH}^2}{S_k} \cdot 10^3, \quad (7.1)$$

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

Для трансформатора ТМГ–160/10/0,4:

Величина активного сопротивления:

$$R_{T1} = \frac{P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_{ном.т}^2} \cdot 10^6, \quad (7.2)$$

$$R_{T1} = \frac{3,5 \cdot 0,4^2}{160^2} \cdot 10^6 = 21,875 \text{ мОм.}$$

Величина индуктивного сопротивления:

$$X_{T1} = \sqrt{U_{K3}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{K3}}{S_{ном.т}}\right)^2} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{ном.т}} \cdot 10^4. \quad (7.3)$$

$$X_{T1} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,5}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{160} \cdot 10^4 = 39,325 \text{ мОм.}$$

Определим активные и индуктивные сопротивления кабельных линий:

$$R_{кл} = R_{уд} \cdot l, \quad (7.4)$$

$$X_{кл} = X_{уд} \cdot l, \quad (7.5)$$

Выполним расчёты активных сопротивлений кабелей КЛ1, КЛ2, КЛ3 и КЛ4

$$R_{кл1} = 0,195 \cdot 15 = 2,925 \text{ мОм},$$

$$R_{кл2} = 0,53 \cdot 80 = 42,4 \text{ мОм},$$

$$R_{кл3} = 3,09 \cdot 105 = 324,45 \text{ мОм},$$

$$R_{кл4} = 12,3 \cdot 90 = 1107 \text{ мОм}.$$

Выполним расчёты индуктивных сопротивлений кабелей КЛ1, КЛ2, КЛ3 и КЛ4

$$X_{кл1} = 0,081 \cdot 15 = 1,215 \text{ мОм},$$

$$X_{кл2} = 0,088 \cdot 80 = 7,04 \text{ мОм},$$

$$X_{кл3} = 0,1 \cdot 105 = 10,5 \text{ мОм},$$

$$X_{кл4} = 0,126 \cdot 90 = 11,34 \text{ мОм}.$$

Найдем сопротивления АВ:

– АВ в КТП:  $R_{ав1} = 0,4 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав1} = 0,5 \text{ мОм}$ ;

– АВ к РП:  $R_{ав2} = 0,4 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав2} = 0,5 \text{ мОм}$ ,  $R_{ав3} = 0,4 \text{ мОм}$ ,  
 $X_{ав3} = 0,5 \text{ мОм}$ ;

– АВ к ШВ:  $R_{ав4} = 0,7 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав4} = 0,7 \text{ мОм}$ ;

– АВ к ЩР8:  $R_{ав5} = 5,5 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав5} = 4,5 \text{ мОм}$ ;

– АВ к ЭП:  $R_{ав6} = 5,5 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав6} = 4,5 \text{ мОм}$ .

Предварительно выбираем автоматические выключатели по  $I_p$ :

- АВ в КТП: фирмы Schneider Electric типа EZC400N 1P 250A;
- АВ к РП: фирмы Schneider Electric типа EZC250N 3P 200A, фирмы Schneider Electric типа EZC400N 1P 250A;
- АВ к ШВ: фирмы Schneider Electric типа C120N 3P 125A
- АВ к ЩР8: фирмы Schneider Electric типа iC60N 3P 32A;
- АВ к ЭП: фирмы ИЕК типа ВА47-29 1P 6A.

Найдем значения сопротивлений ТТ:

- ТТ в КТП:  $R_{TT1} = 0,2 \text{ мОм}$ ,  $X_{TT1} = 0,3 \text{ мОм}$ ;
- ТТ к РП:  $R_{TT2} = 0,11 \text{ мОм}$ ,  $X_{TT2} = 0,17 \text{ мОм}$

На рисунке 7.1 изображена электрическая схема для определения токов КЗ.

Выполним расчёт токов КЗ в точке К1.

«Суммарное активное и индуктивное сопротивления» [18, 19]:

$$R_{1\Sigma} = R_{T1} + R_{ав1} + R_{TT1} + R_{ав2} + R_{TT2} + R_{кл1} + R_{ав3}, \quad (7.6)$$

$$R_{1\Sigma} = 21,875 + 0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,11 + 2,925 + 0,4 = 26,31 \text{ мОм}.$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{T1} + X_{ав1} + X_{TT1} + X_{ав2} + X_{TT2} + X_{кл1} + X_{ав3}, \quad (7.7)$$

$$X_{1\Sigma} = 1,6 + 39,325 + 0,5 + 0,3 + 0,5 + 0,17 + 1,215 + 0,5 = 44,11 \text{ мОм}.$$

Полное суммарное сопротивление:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (7.8)$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{26,31 + 44,11} = 51,36 \text{ мОм}.$$

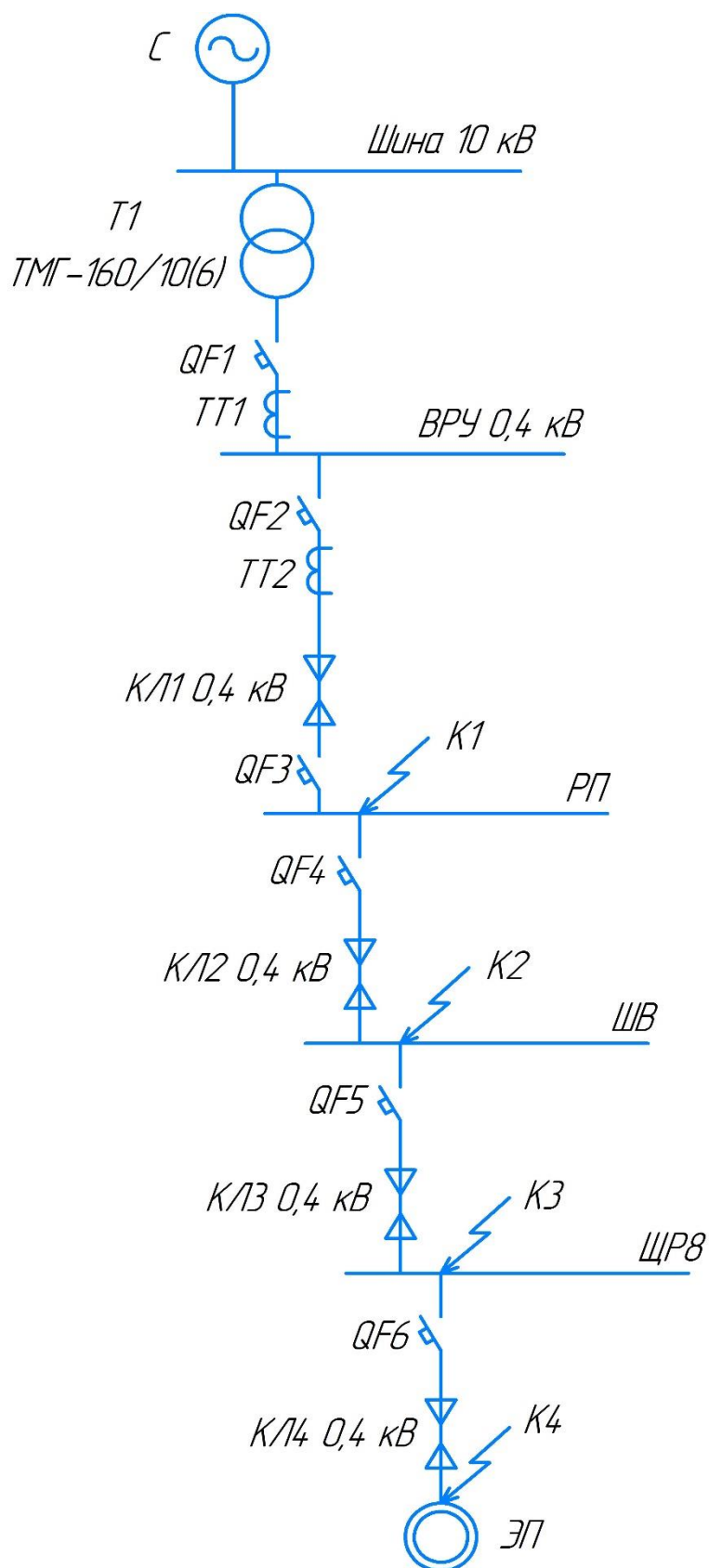


Рисунок 7.1 – Электрическая схема для определения токов K3

На основе электрической схемы составляем схему замещения, которая представлена на рисунке 7.2.

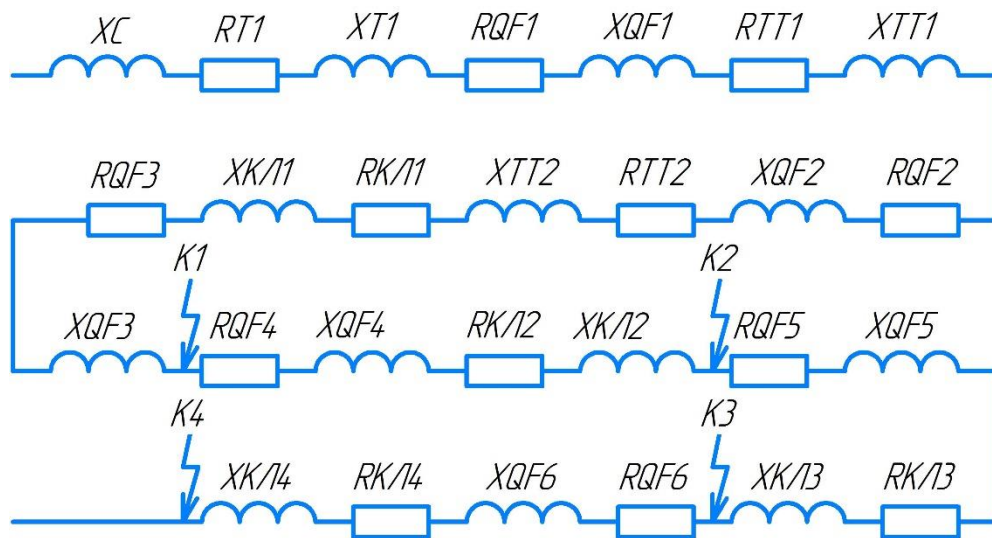


Рисунок 7.2 – Схема замещения для определения токов КЗ

«Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ» [17]:

$$I_{n0} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}}, \quad (7.9)$$

$$I_{n0\max} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 51,36} = 4,5 \text{ кА.}$$

«Ударный коэффициент  $K_{уд}$ » [17]:

$$\frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}}, \quad (7.10)$$

$$\frac{44,11}{26,31} = 1,68.$$



По величине данного соотношения определяем значение коэффициента  $K_{y\partial} = 1,15$ .

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [17]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0\max} \cdot K_{y\partial}, \quad (7.11)$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 4,5 \cdot 1,15 = 7,3 \text{ кА.}$$

Найдем значение коэффициента  $K_c$ . При величине  $Z_{1\Sigma} = 51,36$   
 $K_{c1} = 0,8$ ,  $K_{c2} = 0,7$ .

Значения дугового трёхфазного КЗ для разных моментов времени найдем:

$$I_{n0\min} = I_{n0\max} \cdot K_{c1}, \quad (7.12)$$

$$I_{n0\min} = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кА.}$$

$$I_{n0\min} = I_{n0\max} \cdot K_{c2}, \quad (7.13)$$

$$I_{n0\min} = 4,5 \cdot 0,7 = 3,15 \text{ кА.}$$

Вывод: по формулам 7.6-7.13 определим значения токов КЗ в остальных расчетных точках, а результаты сведем в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Значения токов КЗ в остальных расчетных точках

Точка короткого замыкания	$I_{n0\max}$ , кА	$i_{y\partial}$ , кА	$I_{n0\min}$ при $K_{c1}$ , кА	$I_{n0\min}$ при $K_{c2}$ , кА
1	4,5	7,3	3,6	3,15
2	2,7	3,96	2,3	2
3	0,6	0,4	0,5	0,46
4	0,15	0,1	0,14	0,13

## 8 Выбор электрических аппаратов для системы электроснабжения

Выбираем автоматический выключатель для линии ЩР8-ЭП:

1) Защита от КЗ и перегрузки [20]:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (8.1)$$

$$6 \geq 4,5.$$

$$I_{ном.расц} \geq I_p, \quad (8.2)$$

$$6 \geq 4,5.$$

2) Проверка по отключающей способности:

$$I_{откл.сп} \geq I_{п0max}, \quad (8.3)$$

$$4,5 \geq 4,5.$$

3) Проверка по электродинамической стойкости:

$$I_{эл.ст} \geq i_{уд}, \quad (8.4)$$

$$10 \geq 7,3.$$

4) Проверка по термической стойкости:

Данный тип выключателя устойчив к термическим воздействиям при всех возможных временах отключения КЗ, что гарантируется фирмой-изготовителем [16].

Результаты выборы АВ для защиты остальных линий сведены в таблицу 8.1

Таблица 8.1 – Результаты выборы АВ для защиты линий

ЭП	Выключатель	ЭП	Выключатель
1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	ВА47-29 1Р 16А	Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	ВА47-29 1Р 10А	ЯТПР–220/12	ВА47-29 1Р 10А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 4А	Розеточная сеть пом. №13 и №14	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №27	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №1, №2 и №27	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №3, №13 и №14	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №7	ВА47-29 1Р 10А	Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А
Внешние уст.	ВА47-29 1Р 10А	Дренаж	ВА47-29 1Р 4А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 4А	Розеточная сеть пом. №12 и №13	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №9 и №11	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №1, №2 и №7	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	ВА47-29 1Р 16А
Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А	Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А
Дренаж	ВА47-29 1Р 4А	Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 4А
Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А	Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А
ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А	ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А
Упаковщик	ВА47-29 3Р 6А	Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №23	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №37	АД12 16/0,03
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №21, №22 и №23	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения	ВА47-29 1Р 10А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 4А	Тепловентилятор	ВА47-29 1Р 25А
Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А	Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А
Подъёмник для лиц с огр. возм.	ВА47-29 1Р 6А	ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4
ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А	Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А
Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А	Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А
ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А	ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А
ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А	Розеточная сеть пом. №36	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №39	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №39	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №8, №9 и №36	ВА47-29 1Р 10А	ЯТПР-220/12	ВА47-29 1Р 10А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 4А	Розеточная сеть пом. №15 и №16	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №17 и №18	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №23 и №24	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №19	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №20, №21 и №22	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №17 и №18	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №15 и №16	ВА47-29 1Р 10А
Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А	Внешние уст.	ВА47-29 1Р 10А
Внешние уст.	ВА47-29 1Р 10А	Дренаж	ВА47-29 1Р 14А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 14А	Розеточная сеть пом. №14 и №15	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №16 и №17	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №20 и №23	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №18	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №19, №20 и №21	ВА47-29 1Р 10А
Система освещения пом. №16 и №17	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №14 и №15	ВА47-29 1Р 10А
Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А	Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А
Внешние уст.	ВА47-29 1Р 16А	Дренаж	ВА47-29 1Р 4А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1Р 4А	Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А
Подъемная платформа	ВА47-29 3Р 4А	ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А
ЭД ворот	ВА47-29 1Р 6А	Палетоупаковщик	ВА47-29 1Р 6А
Тепловой пункт	ВА47-29 3Р 16А	Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №24	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №34	АД12 16/0,03
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	ВА47-29 1Р 10А	Система освещения пом. №24, №25 и №26	ВА47-29 1Р 10А

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	ВА47-29 1P 10А	Система освещения	ВА47-29 1P 6А
Вентиляц. установки	ВА47-29 1P 4А	Тепловентиляторы	ВА47-29 1P 25А
ЩТ2	iC60N 1P 20А	Щит КПП1	iC60N 3P 16А
Щит КПП2	iC60N 3P 16А	ЩТ1	iC60N 1P 20А
ЩР1	iC60N 3P 20А	ЩР2	iC60N 3P 32А
ЩР3	iC60N 3P 32А	ЩР4	iC60N 3P 32А
ЩСТ1	iC60N 3P 16А	ЩСТ2	iC60N 3P 20А
ЩР5	iC60N 3P 20А	ЩР6	iC60N 3P 32А
ЩР7	iC60N 3P 32А	ЩР8	iC60N 3P 32А
ШВ	C120N 3P125А	РП	EZC250N 3P 200А
РП	EZC400N 1P 250А	ВРУ	EZC400N 1P 250А

Выбираем ТТ по следующим условиям:

- 1) По величине номинального напряжения сети:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети}, \quad (8.5)$$

$$0,66 \geq 0,4.$$

- 2) По номинальному току:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (8.6)$$

$$250 \geq 189,8.$$

- 3) «Проверяется на электродинамическую стойкость» [3]:

$$I_{эл.ст} \geq i_{уд}, \quad (8.7)$$

$$40 \geq 7,3.$$

ТТ выбираем типа Т-0,66 250/5А.

Выбираем контакторы КМ1 и КМ2. Условие выбора:

$$I_{ном.конт} \geq I_p, \quad (8.8)$$

$$160 \geq 135.$$

Вывод: принимаем для КМ1 и КМ2 контакторы типа TVS 160А.

## 9 Определение параметров системы заземления склада

«Сопротивление растеканию электрического тока вертикального заземлителя» [21]:

$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d_{\text{экв}}}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot T + L}{4 \cdot T - L}\right) \right), \quad (9.1)$$

$$R_0 = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 3}{0,00475}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3}\right) \right) = 19,701 \text{ Ом.}$$

В качестве вертикальных заземлителей используем угловую сталь. Найдем величину эквивалентного диаметра:

$$d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot b, \quad (9.2)$$

$$d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot 0,005 = 0,00475 \text{ м.}$$

«Расстояние от поверхности земли до середины стержня» [21]:

$$T = \frac{L}{2} + t, \quad (9.3)$$

$$T = \frac{3}{2} + 0,5 = 2 \text{ м.}$$

«Количество уголков заземления без учёта сопротивления горизонтального заземлителя» [21]:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_{\text{норм}}}, \quad (9.4)$$

$$n_0 = \frac{19,701 \cdot 1,7}{4} = 8,4.$$

«Сопротивление растеканию электрического тока для горизонтального заземлителя» [21]:

$$R_{горизонт} = 0,366 \cdot \left( \frac{\rho \cdot \psi}{l \cdot \eta_{горизонт}} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \right), \quad (9.5)$$

$$R_{горизонт} = 0,366 \cdot \left( \frac{50 \cdot 4}{3 \cdot 0,36} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 3^2}{0,025 \cdot 0,5} \right) = 214,248 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление вертикального заземлителя с учётом сопротивления растеканию тока горизонтального заземлителя» [21]:

$$R_{верт} = \frac{R_{горизонт} \cdot R_{норм}}{(R_{горизонт} - R_{норм})}, \quad (9.6)$$

$$R_{верт} = \frac{214,248 \cdot 4}{(214,248 - 4)} = 4 \text{ Ом.}$$

«Полное количество вертикальных заземлителей» [21]:

$$n_0 = \frac{R_0}{R_{верт} \cdot \eta_{верт}}, \quad (9.10)$$

$$n_0 = \frac{19,701}{4,1 \cdot 0,55} = 8,74.$$

Вывод: таким образом для наружного контура заземления используются вертикальные заземлители, выполненные из стальных уголков с сечением 50x50x5 мм и длиной одного уголка - 3 м, заземлители объединяются в контур при помощи полосовой стали сечением 25x4 мм, которая заглубляется на 0,5 м от земляной поверхности. Для соединения элементов контура используется сварка.



## 10 Расчет параметров молниезащиты

Молниезащиту склада выполняем, опираясь на требования стандарта СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций». Склад относится к третьей категории молниезащиты. На крыше здания крепится молниеприёмная оцинкованная сетка с помощью пластмассового крепежа. Соединение с контуром заземления здания выполняется при помощи круглого стального проводника с диаметром 8 мм.

Определим плотность ударов молнии в поверхность земли:

$$N_g = \frac{6,7 \cdot T_d}{100}, \quad (10.1)$$

где  $T_d$  - среднегодовое число часов гроз, определяемое по местным картам интенсивности грозовой обстановки, ч.

$$N_g = \frac{6,7 \cdot 40}{100} = 2,68 \frac{1}{(\text{км}^2 \cdot \text{год})}.$$

Вывод: молниезащита склада выполняется молниеприёмной оцинкованной сеткой, располагаемой на крыше здания.

## Заключение

В бакалаврской работе была разработана система электроснабжения здания складского назначения.

В результате определения расчетных нагрузок от силового электрооборудования было установлено, что общая активная расчетная нагрузка равна 109 кВт; общая реактивная расчетная нагрузка равна 55 квар, а общая полная расчетная нагрузка равна 122 кВА.

В дальнейшем в соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» было определено необходимое количество светильников для соблюдения норм освещенности в зонах складирования, а также проведения погрузочно-разгрузочных работ. Для использования в системе искусственного освещения выбраны светильники, выпускаемые заводом «Vartan» со светодиодами. Суммарная нагрузка предприятия с учётом нагрузки системы освещения составила:  $P_p = 115$  кВт;  $Q_p = 51$  квар;  $S_p = 125$  кВА.

Для установки на КТП были рассмотрены варианты с трансформаторами ТМГ – 160/10/0,4 и ТМГ – 250/10/0,4. По величине наименьших приведенных затрат выбираем для установки вариант КТП–ТВ 160/10/0,4 с СТ типа ТМГ–160/10/0,4.

Потребители электрической энергии на складе размещены крайне неравномерно, имеют разную номинальную мощность и не связанный между собой режим работы, поэтому применение магистральной схемы с шинпроводами становится нецелесообразно и экономически не выгодно. Поэтому для внутреннего электроснабжения выбрана радиальная схема с установкой распределительных пунктов и питанием электроприемников и РП по кабельным линиям.

Найдены значения номинальных токов и токов КЗ по которым были выбраны электрические защитные и коммутационные аппараты и проводники.

## Список используемых источников

1. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.
2. Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А. Режимы работы электроэнергетических систем : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика». Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 80 с.
3. 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.
4. Hase Y. Handbook of Power System Engineering. England: John Wiley & Sons, 2011. 401 p.
5. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 07.03.2020).
6. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 06.04.2020).
7. 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 25.04.2020).
8. Danilova O.V., Belayeva I.Y. The power grid complex of Russia: From informatization to the strategy of digital network development // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. pp. 42-53.

9. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
10. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 173 с.
11. Валеев И.М., Мусаев Т.А. Методика расчета режима работы системы электроснабжения городского района : монография. Казань : КНИТУ, 2016. 132 с.
12. Rajendra P. Fundamentals of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 1064 p.
13. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.
14. Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 296 с.
15. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. Стандарт организации. Дата введения: 13.09.2011. ОАО «ФСК ЕЭС». 2011.
16. Usman M., Coppo M., Bignucolo F., Turri R., Cerretti, A. A novel methodology for the management of distribution network based on neutral losses allocation factors // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №1. pp. 613-622.
17. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.
18. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование : учебник, 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2018. 407 с.

19. Hickey R.B., Robert B. Electrical Engineer's Portable Handbook. USA: McGraw-Hill Companies, 2012. 575 p.

20. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.

21. Дайнеко В.А., Забелло Е.П., Прищепова Е.М. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2015. 333 с.