

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство административно-торгового здания»

Студент

Е.С. Перов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М.О. Зюзин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

Целью выпускной квалификационной работы является надёжное и качественное электроснабжение торгово-административного комплекса в который входят: главный офис компании сотовой связи «БайкалВестКом», административно-торговый центр «Сезон» и супермаркет бытовой электроники «Эльдорадо».

Внешнее электроснабжение объекта проектирования осуществляется от существующей подстанции 110/10 кВ «Кировская». Выбор внешнего источника электроснабжения определяется непосредственной близостью ПС «Кировская» к объекту проектирования. Расстояние до источника питания порядка 1 км. Питание трансформаторных подстанций объекта проектирования осуществляется по кабельным линиям проложенным в земле. Длина кабельных линий, исходя из особенностей городской застройки составляет 1,76 км. Потребители объекта проектирования относятся к I и II категориям надёжности электроснабжения.

Выполнен расчет электрических нагрузок по каждому из зданий входящих в торгово-офисный комплекс.

В приложении представлен расчет освещения объекта проектирования.

Пояснительная записка выполнена на 60 страницах, содержит 24 таблицы и 9 рисунков. Список литературы представлен 22 источниками, из них 5 на иностранном языке. Графическая часть бакалаврской работы представлена на шести листах формата А1.

Annotation

The bachelor's thesis topic is "Electrical equipment and electrical facility of the administration building".

The theme of the work is topical, because the construction of new facilities and the reconstruction of existing ones require to use a new materials and equipment, in accordance with existing standards and rules when power supply system is designed. The use of modern techniques in designing primarily affects the reliability of the power supply system and its safety for people's live.

The aim of the work is developing a power supply system for an administration building. According to the aim in the work were made, the analysis of the design object, the structure of its power supply system, its location and the material of the building, the number of floors and the number of employees. The analysis of the object which was carried out made it possible to calculate the electrical loads of the administration building and choose the appropriate electrical equipment that meets modern standards and rules.

To achieve the goal of bachelor's thesis, the following tasks were solved. The calculation of electrical loads of the object was made. Based on the calculation of electrical loads and taking into account the object significance and the laying conditions, cables for the power and distribution networks were selected. Taking into account the norms of illumination, the calculation and selection of lighting installations for external and internal illumination was carried out. To protect the distribution network, the appropriate protection devices were selected. The issue of installation of electrical equipment is considered. To provide heat supply to the design object, the heat loads of the building for heating, ventilation and hot water supply were calculated.

As a result of the bachelor's thesis, the power supply system of the administration building was developed and the appropriate electrical equipment included in the electrical facility was selected.

Содержание

Введение.....	5
1 Общая характеристика объекта проектирования	7
2 Система электроснабжения торгового-офисного комплекса.....	8
3 Расчёт распределительных сетей	10
4 Расчет картограммы нагрузок.....	24
5 Выбор трансформаторов на ТП	27
6 Расчёт токов короткого замыкания.....	29
7 Выбор аппаратов защиты	37
8 Расчёт и выполнение контура заземления.....	46
9 Релейная защита и противоаварийная автоматика.....	49
Заключение	58
Список использованных источников	59
Приложение А	62

Введение

В условия развития рыночной экономики, и развития рынка услуг на территории Российской Федерации, а так же поддержка бизнеса государством подтолкнуло к развитию и строительству административно-торговых комплексов. Административно-торговый комплекс - это объект недвижимости, который проектируется и сдается под различные цели, совмещающие в себе две или несколько функций, с целью получения прибыли. С ростом экономики, притоком капиталов городу требуется с каждым годом все большее количество новых торговых и офисных площадей, спрос на которые растет вместе с повышением благосостояния жителей.

Создание таких помещений выгодно с точки зрения экономии энергоносителей, обеспечения безопасности, экономии земельных ресурсов. Одним из факторов влияющего на успешное развитие и эффективную работу торгово-офисных помещения является правильный выбор электрооборудования и эффективная эксплуатация и содержание электрохозяйства.

Объектом выпускной квалификационной работы является административно-торговый комплекс.

Целью ВКР проектирование системы электрооборудования и электрохозяйства административно-торгового комплекса.

К административно-торговому комплексу относятся:

- главный офис компании сотовой связи «БайкалВестКом»
- ТЦ «Сезон»
- супермаркет бытовой электроники «Эльдорадо».

Внешнее электроснабжение объекта осуществляется на напряжении 10 кВ. Источником является подстанция напряжением 110/10 кВ «Кировская». Данная подстанция расположена в непосредственной близости от объекта, на расстоянии 1 километра. Питание объекта выполняется по кабельным линиям напряжением 10 кВ проложенным в земле. Длина питающих линий составляет 1,76 км. Такая

длина обусловлена спецификой городской застройки. На территории объекта находятся потребители первой и второй категорий надежности электроснабжения.

Задачами выпускной квалификационной работы являются:

- расчет электрических нагрузок;
- определение ЦЭН для размещения ТП;
- выбор числа и мощности распределительных трансформаторов на ТП;
- выбор кабелей и проводников системы электроснабжения;
- расчет уставок релейной защиты объекта;
- расчет освещения;
- расчет заземления.

1 Общая характеристика объекта проектирования

Объект проектирования расположен в центре в Правобережном районе города Иркутска. В непосредственной близости от объекта проектирования расположены жилые дома, административные и общественные здания.

В состав объекта проектирования входит центральный офис сотовой компании «БВК». Данный потребитель осуществляет управление сетью филиалов, так же обработку поступающей информации со станций связи. Офис «БВК», исходя из специфики своей деятельности, имеет потребители I и II категории надежности электроснабжения. Для питания потребителей I категории надёжности электроснабжения предусмотрен дизель-генератор мощностью 150 кВт. Помимо потребителей I категории офиса компании «БВК» к данному дизель-генератору подключена система аварийного освещения торгового центра «Сезон».

Входящий в состав комплекса торговый центр «Сезон» осуществляет розничную торговлю продуктами питания, различными товарами общего потребления, имеются обувные отделы, отделы по продаже одежды, спортивного инвентаря и отдел золотых изделий «Алмаз». На территории ТЦ «Сезон» расположен футбольный клуб с сетью кафе, а так же два ресторана. В ТЦ так же расположены два отделения банков – банк «ВТБ24» и банк «Связь Банк». Из представителей крупных сетевых магазинов на территории ТЦ «Сезон» имеется магазин компьютерной техники «ДНС».

В ТЦ «Сезон» оказываются услуги по ремонту одежды, обуви, изготовлению ключей и т.д. Так же ТЦ «Сезон» предоставляет в аренду торговые и офисные помещения. Режим работы ТЦ «Сезон» 11 часов для покупателей. Обслуживающий электротехнический и другой персонал имеет 8 и 12 часов рабочий день, а также суточные дежурства.

Магазин бытовой электроники «Эльдорадо» осуществляет продажу бытового электрооборудования, промтоваров, товаров сотовой связи, фото-видео техники, компьютерной техники, а так же музыкальных товаров.

2 Система электроснабжения торгового-офисного комплекса

Наименование потребителей представленных в проектируемом торговом центре сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристика потребителей торгового-офисного комплекса

№ п/п	Потребитель	Характеристика потребителя	Характер потребителя	Технические данные помещений потребителей	Категория надежности
1	Супермаркет бытовой электроники «Эльдорадо»	Установки освещения, розеточная сеть, установки кондиционирования воздуха, тепловые завесы, установки вентиляции	Бытовое электрооборудование, промтовары, товары сотовой связи, фото-видео техника, компьютеры, музыкальные товары	Площадь тех.помещений S=184 м ² Площадь подсобных помещений S=387 м ² Площадь торговых площадей S=4994 м ² Суммарная площадь всех помещений S=5565 м ²	I и II
2	Центральный офис компании «БВК»	Установки освещения, розеточная сеть, установки кондиционирования воздуха, тепловые завесы, установки вентиляции, лифты	Управление сотовой связью	Площадь тех.помещений S=235 м ² Площадь офисных помещений S=2885 м ² Суммарная площадь всех помещений S=3120 м ²	I и II
3	Торговый центр «Сезон»	Установки освещения, розеточная сеть, установки кондиционирования воздуха, тепловые завесы, установки вентиляции, лифты, эскалаторы, холодильники, электрические печи, водяные повысительные насосы.	Торговое предприятие с административными помещениями	Площадь отделов под прод.товары S=1689 м ² Площадь отделов промтоваров S=1202 м ² Площадь вещевого рынка S=5649 м ² Площадь офисных помещений S=3868 м ² Площадь цокольного этажа (тех.этаж с коммуникациями) S=2462 м ² Площадь подсобных помещений S=764 м ² Суммарная площадь помещений всех S=15643 м ²	I и II

Для всех потребителей характерны нормальные условия среды с категорией по пожаробезопасности В1. Для бесперебойной работы электроприемников особой группы предусмотрена аккумуляторная установка и дизель-генератор.

Источником питания для объекта проектирования является подстанция «Кировская» 110/10 кВ. Со стороны низкого напряжения на отходящих линиях установлены высоковольтные выключатели марки ВБПВ-10. Характеристики выключателя ВБПВ-10 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики выключателя ВБПВ-10

Тип выключателя	Напряжение выключателя, кВ	Номинальный ток выключателя, А	Время отключения выключателя, с	Ток отключения, кА
ВБПВ-10	10	630	0,03	12,5

Так как отсутствуют данные о мощности системы, то для расчета токов короткого замыкания допускается определить это значение следующим образом исходя из данных выключателя установленного на отходящей линии источника питания:

$$X_c = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} I_c} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,485 \text{ Ом}$$

где X_c - сопротивление системы, Ом; $U_{\text{ср.ном}}$ - средне номинальное напряжение выключателя центра питания; I_c - номинальный ток отключения выключателя центра питания. Таким образом сопротивление системы для расчета ТКЗ $X_c = 0,485 \text{ Ом}$.

3 Расчёт распределительных сетей

3.1 Расчёт электрических нагрузок

Найдём расчётную электрическую нагрузку административно торгового комплекса. Перечень электроприёмников и установленные мощности сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Перечень электроприёмников

№ п/п	Наименование электроприемника	$\Sigma P_{уст}, кВт$
Торговый центр «Сезон»		
1	Установки освещения	399
2	Розеточная сеть	126
3	Воздушно-тепловые завесы	315
4	Нагрев системы вентиляции	304
5	Установки кондиционирования воздуха	315
6	Поэтажный эскалатор	24
7	Пассажирские лифты	31,2
8	Холодильные витрины	72
Итого по ТЦ «Сезон»		1586,2
Супермаркет бытовой электроники "Эльдорадо"		
9	Установки освещения	104,5
10	Розеточная сеть	36,1
11	Воздушно-тепловые завесы	72
12	Нагрев системы вентиляции	186
13	Установки кондиционирования воздуха	84
Итого по супермаркету бытовой электроники "Эльдорадо"		482,6
Центральный офис компании «БВК»		
14	Освещение	55,2
15	Бытовые розетки	24
16	Воздушно-тепловые завесы	90
17	Нагрев системы вентиляции	96,5
18	Установки кондиционирования воздуха	78
19	Пассажирские лифты	15,6
Итого по центральному офису компании «БВК»		359,3

Для расчета нагрузок по потребителям входящим в состав объекта проектирования необходимо разбить все электроприемники на отдельные группы учитывая их характер. В соответствии с характером потребителей и режимом их работы необходимо определить по справочным данным коэффициент использования $K_{и}$. Расчет нагрузок сведен в таблицу 4.

Выполним расчет на примере первой группы электроприемников.

Коэффициент использования:

$$\kappa_{II} = \frac{\sum P_C}{\sum P_H} \quad (1)$$
$$\kappa_{II} = \frac{434,83}{525,14} = 0,83$$

Эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \sum P_H}{P_{H \text{ МАКС}}} \quad (2)$$
$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot 525,14}{0,15} \approx 7002$$

Используя значения коэффициента использования и эффективное число электроприемников определяем, по справочным данным коэффициент расчётной нагрузки $\kappa_P = 1$.

Значения средних активной и реактивной мощностей, для группы электроприемников:

$$P_c = \sum_1^n P_c = 434,83 \text{ кВт}, Q_c = \sum_1^n q_c = 165,82 \text{ кВАр}.$$

Расчетная активная мощность для групп электроприемников напряжением до 1000 В:

$$P_p = \kappa_P \cdot P_c, \quad (3)$$
$$P_p = 1 \cdot 434,83 = 434,83 \text{ кВт}$$

Значение средневзвешенного коэффициента реактивной мощности:

$$\text{tg} \varphi = \frac{Q_c}{P_c}, \quad (4)$$
$$\text{tg} \varphi = \frac{165,82}{434,83} = 0,38$$

Для сетей напряжением до 1000В в зависимости от эффективного числа электроприемников определяется значение расчетной реактивной мощности исходя из условия $n_{\text{Э}} \leq 10, Q_p = 1,1 Q_c$ или $n_{\text{Э}} > 10, Q_p = Q_c$ получаем:

$$Q_p = 1 \cdot 165,82 = 165,82 \text{ кВАр}$$

Значение полной мощности для группы:

$$S_p = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{P\Sigma}^2}, \quad (5)$$

$$S_p = \sqrt{434,83^2 + 165,82^2} = 465,37 \text{ кВА}$$

Величина расчетного тока:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (6)$$

$$I_p = \frac{465,37}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 707,06 \text{ А}$$

Аналогичным образом произведен расчет для остальных групп электроприемников, результаты сведены в таблицу 4

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок ТЦ «Сезон»

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
		n	$P_{уст}, кВт$	$P_n, кВт$	K_{II}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_C, кВт$	$Q_C, кВАр$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Группа №1															
1	Светильник люминесцентный ARS/R 4x18	3961	0,072	285,2	0,90	0,92	0,43	256,67	109,34						
2	Светильник люминесцентный 2x36	264	0,072	19,0	0,90	0,92	0,43	17,11	7,29						
3	Светильник люминесцентный 1x28	1353	0,028	37,9	0,90	0,95	0,33	34,10	11,21						
4	Светильник люминесцентный.2x26	365	0,052	19,0	0,90	0,92	0,43	17,08	7,28						
5	Прожектор освещения типа МГЛ 150	70	0,15	10,5	0,90	0,85	0,62	9,45	5,86						
6	Светильник точечного освещения 1x35	788	0,035	27,6	0,90	1	0,00	24,82	0,00						
7	Розеточная сеть	2100	0,06	126,0	0,60	0,95	0,33	75,60	24,85						
Итого по группе №1		8901	0,469	525,14	0,83	0,93	0,38	434,83	165,82	7002	1	434,83	165,82	465,37	707,06
Группа №2															
8	Воздушно-тепловая завеса	8	18	144	0,80	0,95	0,33	115,20	37,86						
9	Воздушно-тепловая завеса	6	9	54	0,80	0,95	0,33	43,20	14,20						
10	Воздушно-тепловая завеса	2	24	48	0,80	0,95	0,33	38,40	12,62						
11	Воздушно-тепловая завеса	3	15	45	0,80	0,95	0,33	36,00	11,83						
12	Воздушно-тепловая завеса	4	6	24	0,80	0,95	0,33	19,20	6,31						
Итого по группе №2		23	72	315	0,80	0,95	0,33	252,00	82,83	23	1	252,00	82,83	265,26	403,03

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Группе №3															
13	Нагрев системы вентиляции	2	15	30	0,65	0,95	0,33	19,50	6,41						
14	Нагрев системы вентиляции	3	9	27	0,65	0,95	0,33	17,55	5,77						
15	Нагрев системы вентиляции	5	21	105	0,65	0,95	0,33	68,25	22,43						
16	Нагрев системы вентиляции	3	34	102	0,65	0,95	0,33	66,30	21,79						
17	Водяная система вентиляции	20	2	40	0,65	0,8	0,75	26,00	19,50						
Итого по Группе №3		33	81	304	0,65	0,93	0,38	197,60	75,90	18	1	197,60	75,90	211,68	321,61
Группа №4															
18	Установка кондиционирования воздуха	12	6	72	0,50	0,85	0,62	36,00	22,31						
19	Установка кондиционирования воздуха	3	52	156	0,50	0,85	0,62	78,00	48,34						
20	Установка кондиционирования воздуха	1	36	36	0,50	0,85	0,62	18,00	11,16						
21	Установка кондиционирования воздуха	3	17	51	0,50	0,85	0,62	25,50	15,80						
Итого по Группе №4		19	111	315	0,50	0,85	0,62	157,50	97,61	12	1,03	162,23	97,61	189,33	287,65
Группа №5															
22	Поэтажный эскалатор	2	6,5	13	1,00	0,6	1,33	13,00	17,33						

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
		n	$P_{уст}, кВт$	$P_n, кВт$	K_{II}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_c, кВт$	$Q_c, кВАр$	n_{Σ}	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	
23	Поэтажный эскалатор	2	5,5	11	1,00	0,6	1,33	11,00	14,67						
24	Пассажирский лифт	4	7,8	31,2	0,20	0,6	1,33	6,24	8,32						
25	Витрины холодильные	160	0,45	72	0,80	0,65	1,17	57,60	67,34						
Итого по Группе №5		168	20,25	127,2	0,69	0,63	1,23	87,84	107,66	33	1	87,84	107,66	138,95	211,11
Итого по 0,4кВ		9144	284,7	1586,3	0,71	0,91	0,47	1129,77	529,82	1	1	1129,77	582,80	1271,23	1931,44
Потери в трансформаторах												5,19	51,26	52	78,28
Потери в линиях														0,00	0,00
Мощность приведенная к напряжению 10 кВ												1134,96	634,06	1300,06	75,06

Мощность потребителей приведенная к шинам напряжения 0,4 кВ:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{1129,77^2 + 582,8^2} = 1271,23 \text{ кВА}$$

Коэффициент загрузки исходя из скорректированных данных мощности:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.тр}} = \frac{1271,23}{2 \cdot 1000} = 0.64$$

Потери мощности в трансформаторах определяются следующим образом:

$$\Delta P = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2 \quad (8)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 \quad (9)$$

$$\Delta Q_{XX} = \frac{S_{HT} \cdot I_{XX} \%}{100} \quad (10)$$

$$\Delta Q_{K3} = \frac{S_{HT} \cdot U_{K3} \%}{100} \quad (11)$$

где ΔP_{XX} -потери холостого хода, кВт; ΔP_{K3} - потери короткого замыкания, кВт;
 K_3 - коэффициент загрузки трансформатора; I_{XX} -ток холостого хода трансформатора, %; U_{K3} - напряжение короткого замыкания, %.

Таблица 5 – Каталожные данные трансформатора

Марка трансформатора	ΔP_{XX} , Вт	ΔP_{K3} , Вт	I_{XX} , %	U_{K3} , %
ТМГ 1000 кВА	1550	10200	2	5,5

С учетом n параллельно работающих трансформаторов на ТП определим потери мощности:

$$\Delta P = n \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n} \Delta P_{K3} \cdot K_3^2 \quad (12)$$

$$\Delta Q = n \cdot \Delta Q_{XX} + \frac{1}{n} \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 \quad (13)$$

$$\Delta P = 2 \cdot 1,55 + \frac{1}{2} 10,2 \cdot 0,64^2 = 5,19 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{XX} = \frac{1000 \cdot 2\%}{100} = 20 \text{кВАр}$$

$$\Delta Q_{K3} = \frac{1000 \cdot 5,5\%}{100} = 55 \text{кВАр}$$

$$\Delta Q = 2 \cdot 20 + \frac{1}{2} 55 \cdot 0,64^2 = 51,26 \text{кВАр}$$

Полная расчетную мощность с учётом потерь в трансформаторах ТП, приведенная к шинам напряжения 10 кВ представлена в таблице 6.

Таблица 6 - Полная расчетная мощность

Номер ТП	S_p	Кол-во трансформаторов на ТП	Мощность трансформатора	$\Delta P_{XX},$ кВт	$\Delta P_{K3},$ кВт	$I_{XX},$ %	$U_{K3},$ %	K_3	ΔP	ΔQ	$S_{пр.10кВ}$
ТП-2 Офис «БВК»	265,1	2	250	0,55	3,1	2,3	4,5	0,513	1,5 1	12,98	272,1
ТП-3 Супермаркет «Эльдорадо»	366,2	2	400	0,8	5,5	2,1	4,5	0,442	2,1 4	18,56	375,8
ТП-1 ТЦ «Сезон»	1129,8	2	1000	1,55	10,2	2	5,5	0,596	5,1 9	51,26	1300,1

Расчёты для «БВК» и «Эльдорадо» сводим в расчётную таблицу 7 и таблицу 8

Таблица 7 - Расчётная мощность центрального офиса «БВК»

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
		n	$P_{уст}, кВт$	$P_n, кВт$	K_H	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_C, кВт$	$Q_C, кВАр$	$n_{Э}$	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	
Группа №1															
1	Светильник люминесцентный ARS/R 4x18	766	0,072	55,2	0,90	0,92	0,43	49,64	21,15						
2	Розеточная сеть	400	0,06	24,0	0,60	0,95	0,33	14,40	4,73						
Итого по группе №1		1166	0,132	79,15	0,81	0,93	0,40	64,04	25,88	1166	1	64,04	25,88	69,07	104,94
Группа №2															
3	Воздушно-тепловая завеса	4	18	72	0,80	0,95	0,33	57,60	18,93						
4	Воздушно-тепловая завеса	2	9	18	0,80	0,95	0,33	14,40	4,73						
Итого по группе №2		6	27	90	0,80	0,95	0,33	72,00	23,67	6	1	72,00	23,67	75,79	115,15
Группа №3															
5	Нагрев системы вентиляции	1	21	21	0,65	0,95	0,33	13,65	4,49						
6	Нагрев системы вентиляции	2	34	68	0,65	0,95	0,33	44,20	14,53						
7	Водяная система вентиляции	1	7,5	7,5	0,65	0,8	0,75	4,88	3,66						
Итого по группе №3		4	62,5	96,5	0,65	0,94	0,36	62,73	22,67	4	1	62,73	22,67	66,70	101,33
Группа №4															
8	Установка кондиционирования воздуха	6	9	54	0,50	0,85	0,62	27,00	16,73						

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
		n	$P_{уст}, кВт$	$P_n, кВт$	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_c, кВт$	$Q_c, кВАр$	n_{Σ}	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	
9	Установка кондиционирования воздуха	4	6	24	0,50	0,85	0,62	12,00	7,44						
10	Пассажирский лифт	2	7,8	15,6	0,20	0,6	1,33	3,12	4,16						
Итого по группе №4		12	22,8	93,6	0,45	0,83	0,67	42,12	28,33	12	1	42,12	28,33	50,76	77,12
Итого по напряжению 0,4кВ		1188	112,4	359,3	0,67	0,92	0,42	240,88	100,54	1	1	240,88	110,60	265,06	402,71
Потери в трансформаторах												1,51	12,98	13	19,85
Потери в линиях														0,00	0,00
Мощность приведенная к напряжению 10 кВ												242,39	123,58	272,08	15,71

Таблица 8 - Расчётная мощность магазина «Эльдорадо»

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
		n	$P_{уст}, кВт$	$P_n, кВт$	K_{II}	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_c, кВт$	$Q_c, кВАр$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Группа №1															
	Светильник люминесцентный ARS/R 4x18	1451	0,072	104,5	0,90	0,92	0,43	94,02	40,05						
	Розеточная сеть	602	0,06	36,1	0,60	0,95	0,33	21,67	7,12						
Итого по группе №1		2053	0,132	140,59	0,82	0,93	0,41	115,70	47,18	2053	1	115,70	47,18	124,95	189,84
Группа №2															
	Нагрев системы вентиляции	4	21	84	0,65	0,95	0,33	54,60	17,95						
	Нагрев системы вентиляции	3	34	102	0,65	0,95	0,33	66,30	21,79						
	Воздушно-тепловая завеса	4	18	72	0,80	0,95	0,33	57,60	18,93						
Итого по группе №2		11	73	258	0,69	0,95	0,33	178,50	58,67	11	1	178,50	58,67	187,89	285,48
Группа №4															
	Установка кондиционирования воздуха	10	6	60	0,50	0,85	0,62	30,00	18,59						
	Установка кондиционирования воздуха	6	4	24	0,50	0,85	0,62	12,00	7,44						
Итого по группе №4		16	10	84	0,50	0,85	0,62	42,00	26,03	16	1,03	43,26	26,03	50,49	76,71
Итого по напряжению 0,4кВ		2080	83,1	482,6	0,70	0,93	0,39	336,20	131,88	1	1	336,20	145,06	366,16	556,32
Потери в трансформаторах												2,14	18,56	19	28,39
Потери в линиях														0,00	0,00

Номер п/п	Перечень электроприемников	Кол-во электроприемников	Единичная мощность одного ЭП	Общая мощность ЭП	Коэффициент использования	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Средняя активная мощность группы ЭП	Средняя реактивная мощность группы ЭП	Эффективное число электроприемников	Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный ток
		n	$P_{уст}, кВт$	$P_n, кВт$	K_{II}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_c, кВт$	$Q_c, кВАр$	$n_{э}$	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
Мощность приведенная к напряжению 10 кВ												338,34	163,62	375,83	21,70

Расчет потерь в кабельных линиях:

$$\Delta S_{Л} = \frac{S_{ПП}^2}{U^2} \cdot Z_{Л} \quad (14)$$

$$Z_{Л} = \sqrt{R_{Л}^2 + X_{Л}^2} \quad (15)$$

По марке кабеля из справочных данных определяется удельные активное и индуктивное сопротивления $r_0 = 0,253 \text{ Ом} / \text{км}$, $x_0 = 0,083 \text{ Ом} / \text{км}$.

Выполним расчет для кабельной линии от ТП 1 до ТП 3. Параметры кабельной линии:

$$l = 0,165 \text{ км}$$

$$S_{np(1)} = 375,8 \text{ кВА}$$

Тогда активное и индуктивное сопротивления линии

$$R_{Л(1)} = 0,0417 \text{ Ом}$$

$$X_{Л(1)} = 0,0137 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление линии:

$$Z_{Л(1)} = \sqrt{0,0417^2 + 0,0137^2} = 0,0439 \text{ Ом}$$

Потери мощности:

$$\Delta S_{Л(1)} = \frac{375,8^2}{10^2} \cdot 0,0439 \cdot 10^{-3} = 0,062 \text{ кВА}$$

Выполним расчет для кабельной линии от ТП 1 до РП. Длина линии $l = 0,054 \text{ км}$.

$$R_{Л(2)} = 0,0137 \text{ Ом}$$

$$X_{Л(2)} = 0,0045 \text{ Ом}$$

$$Z_{Л(2)} = \sqrt{0,0137^2 + 0,0045^2} = 0,0144 \text{ Ом}$$

К линии 2 подключены супермаркета бытовой электроники «Эльдорадо» и ТЦ «Сезон». Суммарная мощность на шинах 10кВ ТП1-ТЦ «Сезон» с учётом потерь в кабельных линиях от супермаркета бытовой электроники «Эльдорадо» составит:

$$S_{P.CUM} = S_{ПР.Э} + S_{ПР.С} + \Delta S_{(Л1)} = 375,8 + 1300,1 + 0,062 = 1675,96 \text{ кВА}$$

Потери в линии 2:

$$\Delta S_{Л(2)} = \frac{1675,96^2}{10^2} \cdot 0,0144 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{кВА}$$

Тогда с учетом потерь в линиях мощность электроприемников подключенных к РП составит:

$$S_{(2)} = S_{P.CYM} + \Delta S_{Л(2)} = 1675,96 + 0,4 = 1676,36 \text{кВА}$$

Линия 3: от ПС «Кировская» 110/10 кВ. Длина линии $l = 1,768 \text{км}$.

$$R_{Л(3)} = 0,447 \text{Ом}$$

$$X_{Л(3)} = 0,147 \text{Ом}$$

$$Z_{Л(3)} = \sqrt{0,447^2 + 0,147^2} = 0,47 \text{Ом}$$

$$\Delta S_{Л(3)} = \frac{S^2}{U^2} \cdot Z_{Л} = \frac{1948,46^2}{10^2} \cdot 0,47 \cdot 10^{-3} = 17,84 \text{кВА}$$

Расчётная мощность РП административно-торгового комплекса с учётом (мощности «БВК») от ПС «Кировская» 110/10 (без учёта потерь в линии 3):

$$S = S_{np.БВК} + S_2 = 272,1 + 1676,36 = 1948,46 \text{кВА}.$$

4 Расчет картограммы нагрузок

Масштаб = 1:1300

Масштабный множитель $m = 1,69 \text{ кВт} / \text{мм}^2$

Определим радиусы окружностей для каждого здания входящего в торгово-офисный комплекс:

$$r = \sqrt{\frac{P_p}{m \cdot \pi}} \quad (16)$$

Супермаркет бытовой электроники «Эльдорадо» : $P_p = 336,2 \text{ кВт}$.

$$r1 = \sqrt{\frac{336}{1,69 \cdot \pi}} = 8,1 \text{ мм}$$

Центральный офис компании «БВК» : $P_p = 265,1 \text{ кВт}$.

$$r2 = \sqrt{\frac{265,1}{1,69 \cdot \pi}} = 7,1 \text{ мм}$$

Торговый центр «Сезон» : $P_p = 1271,23 \text{ кВт}$.

$$r3 = \sqrt{\frac{1271,23}{1,69 \cdot \pi}} = 15,5 \text{ мм}$$

Координаты центров нагрузок для каждого здания торгово-офисного комплекса:

Для супермаркета бытовой электроники «Эльдорадо» $x=119,71$ $y=55,09$, для Торгового центра «Сезон» $x=116,39$ $y=167,85$, для центрального офиса компании «БВК» $x=135,94$ $y=225,04$.

Координаты центра электрических нагрузок для объектов

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}} \quad y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} \quad (17)$$

$$x_0 = \frac{336,2 \cdot 119,71 + 1271,23 \cdot 116,39 + 265,1 \cdot 135,94}{336,2 + 265,1 + 1271,23} = 119,8 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{336,2 \cdot 55,09 + 1271,23 \cdot 167,85 + 265,1 \cdot 225,04}{336,2 + 265,1 + 1271,23} = 155,7 \text{ м}$$

Центр электрических нагрузок (А) показан на рисунке 1.

По полученным координатам ЦЭН расположен на территории здания торгового центра «Сезон». Расположение ТП 1 в этом месте невозможно, поэтому выбираем пристроенную ТП 1 и смещаем в сторону источника питания.

По архитектурному плану в данном месте должна располагаться площадка для разгрузки товаров, хозяйственный двор и подъездные пути. Смещаем ТП1 на угол здания, что не создаёт препятствия движению и разгрузки товара.

ТП2 располагается в пристроенном техническом блоке «БВК». Расположить ТП3 на углу здания и максимально приблизить её к источнику питания (ГПП Кировская) не предоставляется возможным так как фасад здания принадлежит к исторической части города Иркутска поэтому ТП3 располагается во внутреннем дворе «Эльдорадо».

Схема расположения ТП показана на рисунке 2.

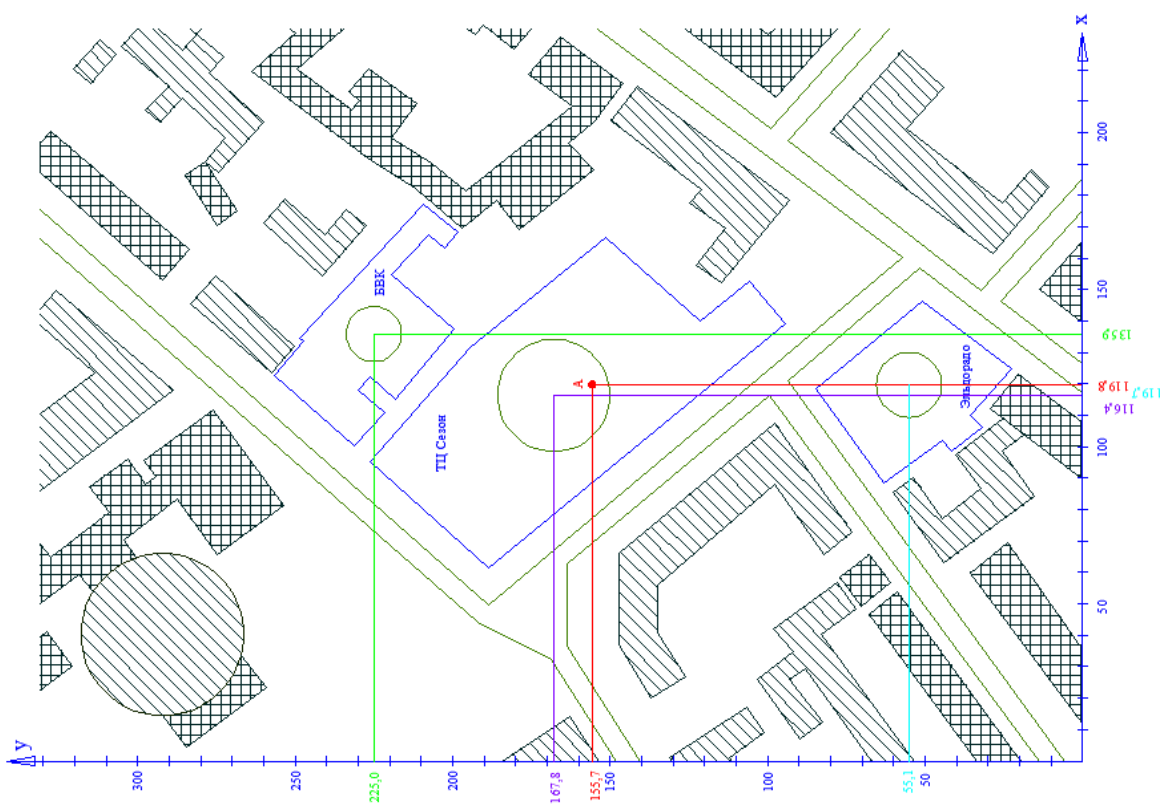


Рисунок 1 – Определение центра электрических нагрузок

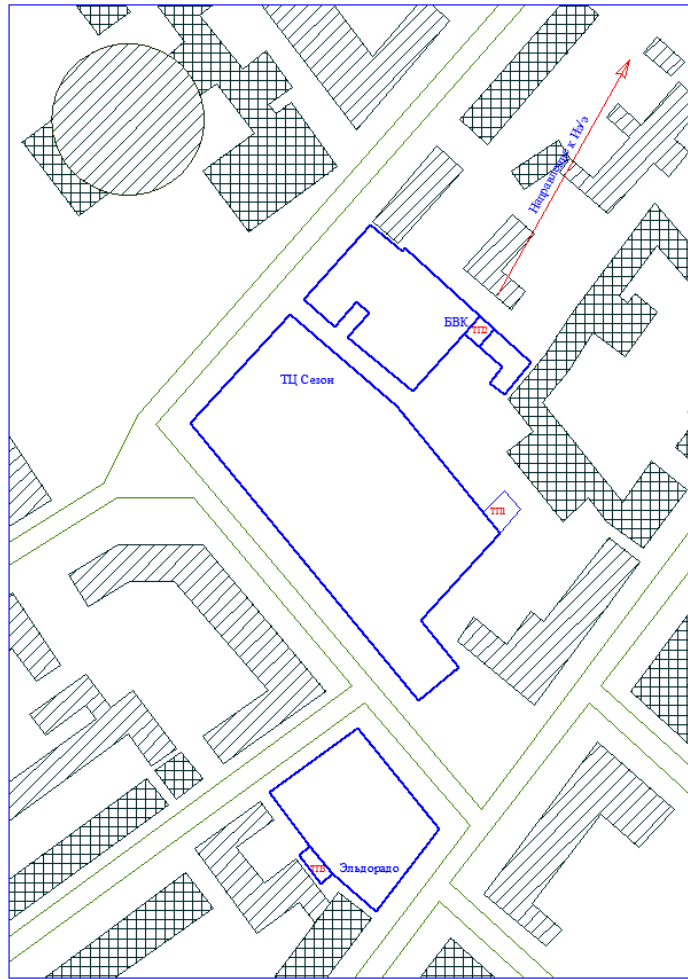


Рисунок 2 – Схема расположения трансформаторных подстанций

5 Выбор трансформаторов на ТП

Таблица 9 – Каталожные данные рассматриваемых трансформаторов

Тип трансформатора	$\Delta P_{XX}, Bm$	$\Delta P_{K3}, Bm$	$I_{XX}, \%$	$U_{K3}, \%$
ТМГ 250кВА	550	3100	2,3	4,5
ТМГ 400 кВА	800	5500	2,1	4,5
ТМГ 1000 кВА	1550	10200	2	5,5

Супермаркет бытовой электроники «Эльдорадо»

Исходные данные для выбора трансформаторов: $S_p = 366,16$ кВт, $\cos\varphi 0,93$, категория надежности электроснабжения I и II.

Для двух трансформаторной ТП с $K_3 = 0,7$ мощность трансформатора:

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3} = \frac{366,16}{2 \cdot 0,7} = 261,54 \text{ кВА}$$

Выбираем к установке трансформатор мощностью 400кВА.

Коэффициент загрузки трансформаторов на ТП составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.тр}} = \frac{366,16}{2 \cdot 400} = 0.46$$

Выбранный трансформатор удовлетворяет условию работы в аварийном режиме $S_p < S_{ном.тр}$

Выполним проверку трансформатора меньшей мощности 250 кВА. Коэффициент загрузки составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.тр}} = \frac{366,16}{2 \cdot 250} = 0.73$$

Работа трансформатора в аварийном режиме:

$$1.4 S_{ном.тр} \geq S_p \quad 1.4 \cdot 250 = 350 \text{ кВА} < 366.16 \text{ кВА}$$

В аварийном режиме трансформатор мощностью 250 кВА не удовлетворяет условию, поэтому окончательно принимаем к установке два трансформатора мощностью 400 кВА.

Центральный офис компании «БВК»

Исходные данные для выбора трансформаторов: $S_p = 265,06$ кВт, $\cos\varphi 0,92$, категория надежности электроснабжения I и II.

Для двух трансформаторной ТП с $K_3 = 0,7$ мощность трансформатора:

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3} = \frac{265,06}{2 \cdot 0,7} = 189,32 \text{ кВА}$$

Выбираем к установке трансформатор мощностью 250кВА.

Коэффициент загрузки трансформаторов на ТП составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.тр}} = \frac{265,06}{2 \cdot 250} = 0.53$$

Работа трансформатора в аварийном режиме:

$$1.4S_{НОМ.ТР} \geq S_p \quad 1.4 \cdot 250 = 350 \text{ кВА} > 265.06 \text{ кВА}$$

Выбранный трансформатор удовлетворяет условию.

Выполним проверку трансформатора меньшей мощности 160кВА.

$$\text{Коэффициент загрузки трансформатора: } K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.тр}} = \frac{265,06}{2 \cdot 160} = 0.83$$

$$\text{Условие работы в аварийном режиме: } 1.4S_{НОМ.ТР} \geq S_p$$

$$1,4 \cdot 160 = 224 \text{ кВА} < 265,06 \text{ кВА}$$

Трансформатор мощностью 160 кВА не удовлетворяет условию аварийного режима, поэтому окончательно принимаем к установке два трансформатора мощностью 250 кВА.

Торговый центр «Сезон»

Исходные данные для выбора трансформаторов:

$S_p = 1129,77$ кВт, $\cos\phi$ 0,91 категория надежности электроснабжения I и II.

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3} = \frac{1129,77}{2 \cdot 0,7} = 807 \text{ кВА}$$

Выбираем к установке трансформатор мощностью 1000кВА.

Коэффициент загрузки трансформаторов на ТП составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.тр}} = \frac{1129,77}{2 \cdot 1000} = 0.56$$

Работа трансформатора в аварийном режиме:

$$1.4S_{НОМ.ТР} \geq S_p \quad 1.4 \cdot 1000 = 1400 \text{ кВА} > 1129.77 \text{ кВА}$$

Выбранный трансформатор удовлетворяет условию.

6 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта ТКЗ составляем схему замещения. На показаны расчетные точки ТКЗ. Преобразуем схему и выполним расчет ТКЗ в этих точках.

Принимаем: $U_{\sigma} = 10,5 \text{ кВ}$ $S_{\sigma} = 100 \text{ МВА}$

$$U_{\sigma N} = \frac{1}{n_1 n_2 \dots n_m} U_{\sigma, \text{осн}}, \quad n = \frac{U_{TP.H}}{U_{TP.B}} \quad (18)$$

где n_1, n_2, \dots, n_m – коэффициенты трансформации трансформаторов, включенных между основной и N-й ступенями напряжения;

$$n = \frac{U_{TP.H}}{U_{TP.B}} = \frac{0,4}{10} = 25$$

$$U_{B1} = U_B = E_C = 10,5 \text{ кВ}$$

$$U_{B2} = \frac{1}{n_1} U_{B1} = \frac{1}{25} \cdot 10,5 = 0,42 \text{ кВ}$$

$$I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,42} = 137,46 \text{ кА}$$

Сопротивление системы определено в п.1:

$$X_C = \frac{U_{CP.HOM}}{\sqrt{3} \cdot I_{K3}^{(3)}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,485 \text{ Ом}$$

$$E_C^* = \frac{U_B}{U_{B1}} = \frac{10,5}{10,5} = 1 \text{ oe}$$

$$X_C^* = X_C \cdot \frac{S_B}{U_B^2} = 0,485 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,439 \text{ oe}$$

Сопротивление трансформаторов:

$$X_T = \frac{U_K \% \cdot U_{НОМ.T}^2}{100 \cdot S_{НОМ.T}} \quad (19)$$

где $U_{НОМ.T}$ кВ – номинальное междуфазное напряжение стороны трансформатора, к которой приводится сопротивление трансформатора; $S_{НОМ.T}$ (МВА) – номинальная мощность трансформатора; $U_K, \%$ – напряжение короткого замыкания трансформатора;

$$X_{T1} = \frac{U_K \% \cdot U_{НОМ.Т}^2}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1} = 5,5 \text{ Ом}$$

$$X_{T2} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,25} = 18 \text{ Ом}$$

$$X_{T3} = \frac{4,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,4} = 11,25 \text{ Ом}$$

$$X_{T1}^* = X_{T1} \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 5,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 4,99 \text{ ое}$$

$$X_{T2}^* = X_{T2} \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 18 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 16,32 \text{ ое}$$

$$X_{T3}^* = X_{T3} \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 11,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 10,2 \text{ ое}$$

Сопротивление кабельных линий.

$$X_{Л1}^* = X_{Л1} \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 0,0137 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0136 \text{ ое}$$

$$X_{Л2}^* = 0,004 \text{ ое}$$

$$X_{Л3}^* = 0,146 \text{ ое}$$

$$R_{Л1}^* = R_{Л1} \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 0,0417 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0416 \text{ ое}$$

$$R_{Л2}^* = 0,0136 \text{ ое}$$

$$R_{Л3}^* = 0,445 \text{ ое}$$

$$z_{Л1} = \sqrt{x_{Л1}^2 + r_{Л1}^2} = \sqrt{0,0136^2 + 0,041^2} = 0,0431 \text{ ое}$$

$$z_{Л2} = \sqrt{x_{Л2}^2 + r_{Л2}^2} = \sqrt{0,004^2 + 0,0136^2} = 0,0142 \text{ ое}$$

$$z_{Л3} = \sqrt{x_{Л3}^2 + r_{Л3}^2} = \sqrt{0,146^2 + 0,445^2} = 0,468 \text{ ое}$$

Сопротивление нагрузки:

$$X_{H1}^* = 0,35 \cdot \frac{S_B}{S_{H1}} = 0,35 \cdot \frac{100}{0,265} = 136,72 \text{ ое}$$

$$E_{H1}^* = 0,85 \cdot \frac{U_{CP.НОМ.Н}}{U_{Б2}} = 0,85 \cdot \frac{0,4}{0,42} = 0,83 \text{ ое}$$

$$X_{H2}^* = 29,37 \text{ ое}$$

$$E_{H2}^* = 0,83 \text{ ое}$$

$$X_{H3}^* = 98.92 \text{ oe}$$

$$E_{H3}^* = 0,83 \text{ oe}$$

Составим схему замещения исходя из полученных данных:

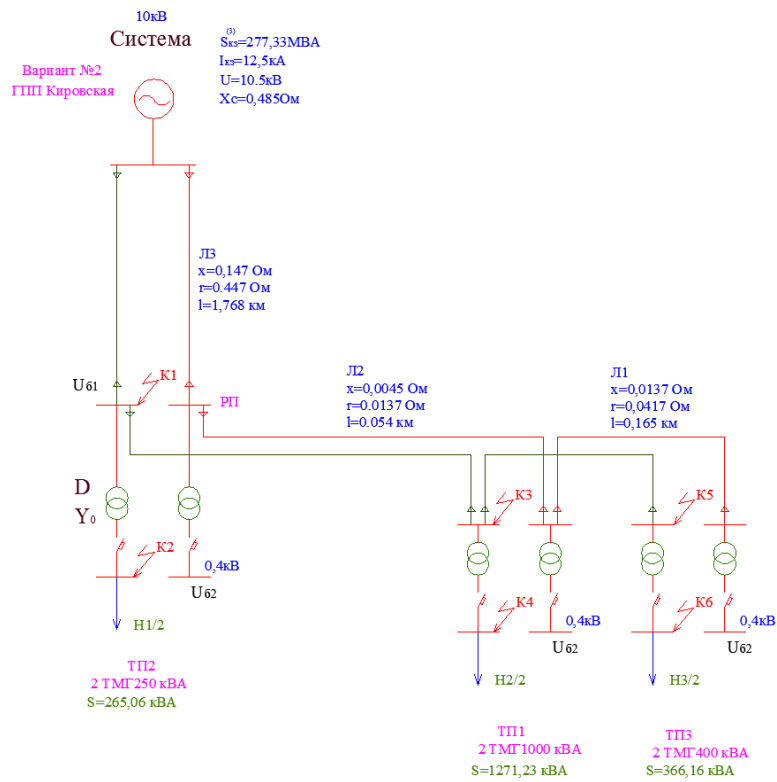


Рисунок 3 – Схема для расчета ТКЗ

Составим схему замещения на примере расчёта ТКЗ для точки К5.

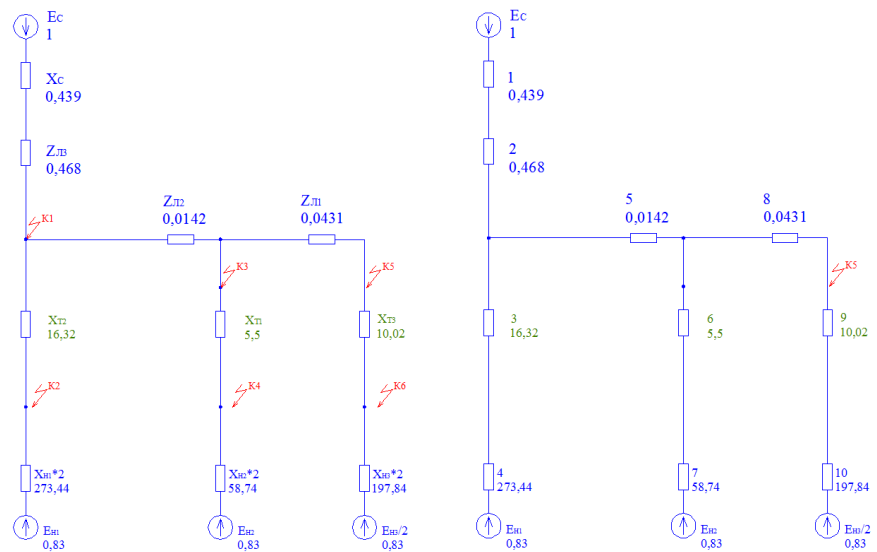


Рисунок 4 Схема замещения для расчета ТКЗ в точке К5

$$X_{11} = X_3 + X_4 = 16,32 + 273,44 = 289,76 \text{ o.e}$$

$$X_{12} = X_1 + X_2 = 0,439 + 0,468 = 0,907 \text{ o.e}$$

$$X_{13} = X_9 + X_{10} = 10,2 + 197,84 = 208,04 \text{ o.e}$$

$$X_{16} = X_6 + X_7 = 5,5 + 58,74 = 64,24 \text{ o.e}$$

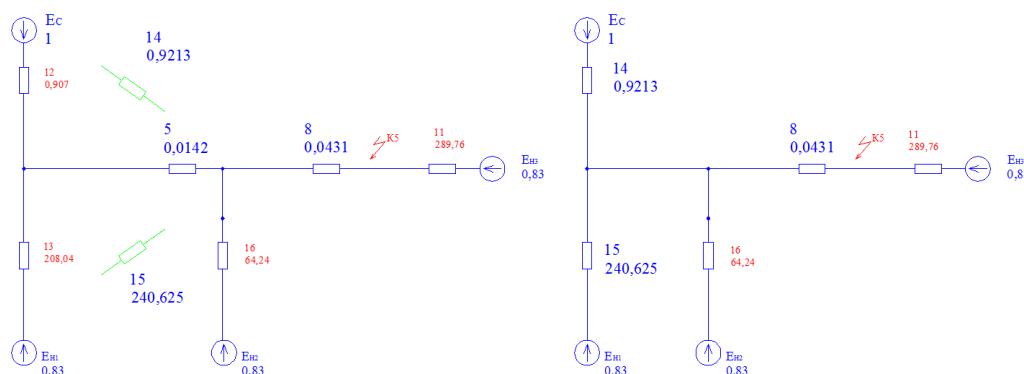


Рисунок 5 – Преобразование схемы для расчета ТКЗ

Определим значения эквивалентных сопротивлений X_{14} и X_{15} . Для этого используем метод коэффициентов распределения.

$$X_{14} = X_5 + X_{12} + \frac{X_5 \cdot X_{12}}{X_{13}} = 0,0142 + 0,907 + \frac{0,0142 \cdot 0,907}{208,04} = 0,921 \text{ o.e}$$

$$X_{15} = X_5 + X_{13} + \frac{X_5 \cdot X_{13}}{X_{12}} = 0,0142 + 208,04 + \frac{0,0142 \cdot 208,04}{0,907} = 240,63 \text{ o.e}$$

Выполним преобразование ветви схемы с ЭДС нагрузки E_{H1} и E_{H2} . Учитывая, что $E_{H1} = E_{H2}$ получим:

$$X_{17} = \frac{1}{\frac{1}{X_{15}} + \frac{1}{X_{16}}} = \frac{1}{\frac{1}{240,63} + \frac{1}{64,24}} = 50,7 \text{ o.e}$$

Эквивалентные сопротивления X_{18} и X_{19} методом коэффициентов распределения:

$$X_{18} = X_8 + X_{14} + \frac{X_8 \cdot X_{14}}{X_{17}} = 0,0431 + 0,921 + \frac{0,0431 \cdot 0,921}{50,7} = 0,965 \text{ o.e}$$

$$X_{19} = X_8 + X_{17} + \frac{X_8 \cdot X_{17}}{X_{14}} = 0,0431 + 50,7 + \frac{0,0431 \cdot 50,7}{0,921} = 53,119 \text{ o.e}$$

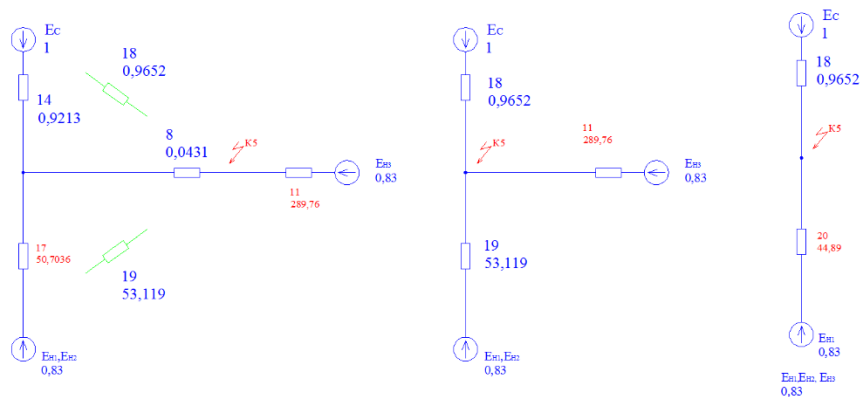


Рисунок 6 – Преобразование схемы для расчета ТКЗ

Выполним преобразование для ветви схемы замещения с ЭДС нагрузки E_{H1}, E_{H2} и E_{H3} .

$$X_{20} = \frac{1}{\frac{1}{X_{11}} + \frac{1}{X_{19}}} = \frac{1}{\frac{1}{289,76} + \frac{1}{53,119}} = 44,89 \text{ o.e.}$$

Расчёт начального значения ПО 3х фазного тока к.з. в точке К5

Величина тока от системы:

$$I_{П0.C}^* = \frac{E_C^*}{X_{18}^*} = \frac{1}{0,9652} = 1,036 \text{ o.e.}$$

$$I_{П0.C} = I_{П0.C}^* \cdot I_{Б1} = 1,036 \cdot 5,5 = 5,698 \text{ кА}$$

Величина тока от нагрузок $H1, H2, H3$:

$$I_{П0.H}^* = \frac{E_{H1, H2, H3}^*}{X_{20}^*} = \frac{0,83}{44,89} = 0,0185 \text{ o.e.}$$

$$I_{П0.H} = I_{П0.H}^* \cdot I_{Б1} = 0,0185 \cdot 5,5 = 0,102 \text{ кА}$$

Значение суммарного ТКЗ в расчетной точке К5:

$$I_{П0.K5} = I_{П0.C} + I_{П0.H} = 5,698 + 0,102 = 5,8 \text{ кА}$$

Определение ударного тока КЗ в расчетной точке К5

Расчет производится по следующим формулам:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot n; \quad K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}; \quad T_a = \frac{X}{\omega_c \cdot r}; \quad \omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (20)$$

где f - частота сети 50 Гц; $K_{y\partial}$ - значение ударного коэффициента.

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$$

Ударный ток со стороны нагрузки подходящий к расчетной точке К3 К5

$$r_H = \frac{X_{20}}{2,5} = \frac{44,89}{2,5} = 17,956 \text{ о.е.}$$

$$T_{a(H)} = \frac{X_{20}}{\omega_c \cdot r} = \frac{44,89}{314 \cdot 17,965} = 0,008$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + 2,718^{\frac{-0,01}{0,008}} = 1,286$$

$$i_{y\partial.H}^* = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.H}}^* \cdot K_{y\partial} = 1,414 \cdot 0,0185 \cdot 1,286 = 0,0336 \text{ о.е.}$$

$$i_{y\partial.H} = i_{y\partial.H}^* \cdot I_{B1} = 0,0336 \cdot 5,5 = 0,185 \text{ кА}$$

Величина ударного тока со стороны системы для расчетной точки К5:

$$r_C = \frac{X_C}{60} = \frac{0,956}{60} = 0,0159 \text{ о.е.} \quad X_C = X_{18}$$

$$T_{a(C)} = \frac{X_{18}}{\omega_c \cdot r} = \frac{0,9652}{314 \cdot 0,016} = 0,1911$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + 2,718^{\frac{-0,01}{0,192}} = 1,949$$

$$i_{y\partial.C}^* = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.C}}^* \cdot K_{y\partial} = 1,414 \cdot 1,036 \cdot 1,949 = 2,8556 \text{ о.е.}$$

$$i_{y\partial.H} = i_{y\partial.H}^* \cdot I_{B1} = 2,955 \cdot 5,5 = 15,705 \text{ кА}$$

Значение суммарного ударного ТКЗ в расчетной точке К5:

$$i_{y\partial.K5} = i_{y\partial.C} + i_{y\partial.H} = 15,705 + 0,185 = 15,89 \text{ кА}$$

Определение трехфазного КЗ в точке К6 на стороне 0,4кВ

Значение сопротивления системы приведенное к ступени низшего напряжения сети:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{к.ВН}} U_{\text{ср.ВН}}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{S_{\text{к}}} \cdot 10^{-3}, \quad (21)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ - среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В; $U_{\text{ср.ВН}}$ - среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В; $I_{\text{к.ВН}} = I_{\text{по.ВН}}$ - действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА;

$$I_{\text{по.ВН}} = I_{\text{по.КЗ}} = 5,8 \text{ кА}$$

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.ВН}} \cdot U_{\text{ср.ВН}}} \cdot 10^3 = \frac{400^2}{1,732 \cdot 5,8 \cdot 10,5} \cdot 10^{-3} = 1,516 \text{ мОм}$$

Величина активного и индуктивного сопротивлений для трансформаторов приведенные к ступени низшего напряжения сети:

$$r_T = \frac{P_{\text{к.ном}} U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}^2} \cdot 10^6 \quad (21)$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{т.ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}} \cdot 10^4 \quad (22)$$

где $S_{\text{т.ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $P_{\text{т.ном}}$ - потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт; $U_{\text{НН.ном}}$ - номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ; u_k - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Таблица 10 - Каталожные данные трансформатора

Трансформатор	Потери Вт. XX	Потери Вт. КЗ	Ток XX%	Напряжение КЗ%
ТМГ 400 кВА	800	5500	2,1	4,5

$$r_T = \frac{P_{\text{к.ном}} U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}^2} \cdot 10^6 = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} \cdot 10^6 = 5,5 \text{ мОм}$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{т.ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}} \cdot 10^4 = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 5,5}{400} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{400} \cdot 10^4 = 17,14 \text{ мОм}$$

Значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ:

$$I_{\text{по}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} \quad (23)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ - среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В; $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм.

$$r_{1\Sigma} = r_T = 5,5 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_T = 1,516 + 17,14 = 18,656 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{по}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = \frac{400}{1,732 \cdot \sqrt{5,5^2 + 18,656^2}} = 11,87 \text{ кА}$$

Апериодическая составляющая тока КЗ:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} = \sqrt{2} \cdot 11,87 = 16,786 \text{ кА}$$

Ударный ток ТКЗ:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} I_{\text{по}} K_{\text{уд}}, \quad (24)$$

где $K_{\text{уд}}$ - значение ударного коэффициента определяется из справочных данных; x - результирующее индуктивное сопротивление схемы, r - результирующее активное сопротивление схемы

$$\frac{r_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma}} = \frac{5,5}{18,656} = 0,294 \text{ тогда } K_{\text{уд}} = 1,4$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} I_{\text{по}} K_{\text{уд}} = 1,414 \cdot 11,87 \cdot 1,4 = 23,5 \text{ кА}$$

Расчет токов КЗ для остальных расчетных точек выполняется аналогично, поэтому результаты расчетов сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты расчета ТКЗ

	Значение апериодической составляющей, кА	Значение ударного ТКЗ, кА	Периодическая составляющая ТКЗ, кА
Расчетная точка К4 на ТП1 (НН)	31,938	51,739	22,583
Расчетная точка К2 на ТП2 (НН)	10,824	15,371	7,654
Расчетная точка К6 на ТП3 (НН)	16,792	23,509	11,874
Расчетная точка К3 на ТП1 (ВН)	8,593	16,645	6,076
Расчетная точка К1 на ТП2 (ВН)	8,725	16,903	6,169
Расчетная точка К5 на ТП3 (ВН)	8,202	15,890	5,800

7 Выбор аппаратов защиты

7.1 Проверка кабеля на термическую стойкость к ТКЗ

Выполним проверку для выбранного сечения кабеля от ГПП до РП. Значение ТКЗ на шинах РП $I_{\text{ТКО}} = 6,196 \text{ кА}$. Время действия ТКЗ $t = 0,73 \text{ с}$.

$$S_{\text{ТВ}} = \frac{I_{\text{К.З.}} \cdot \sqrt{t}}{C} \quad (25)$$

где $C=95$ – постоянное значение для кабелей с алюминиевыми жилами напряжение 10кВ.

$$S_{\text{ТВ}} = \frac{6196 \cdot \sqrt{0,73}}{95} = 55,72 \text{ мм}^2$$

Выбранный кабель сечением $S=120 \text{ мм}^2$ проходит по условиям термической стойкости и может быть принят к прокладке.

7.2 Проверка головного и секционного выключателя на РП

Исходные данные для выбора выключателей:

$$I_{\text{ТКО}} = 6,196 \text{ кА}, \quad U_{\text{В.ном}} = 10 \text{ кВ}, \quad i_{\text{уд}} = 16,903 \text{ кА}, \quad i_{\text{а0}} = 8,725 \text{ кА}$$

Значение мощности на шинах РП $S=1947,97 \text{ кВА}$.

Ток протекающий через выключатель в аварийном режиме

$$I_{\text{А.Р.}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1947,97}{1,732 \cdot 10} = 112,5 \text{ А}$$

Ток протекающий через выключатель в нормальном режиме

$$I_{\text{Н.Р.}} = \frac{I_{\text{А.Р.}}}{2} = \frac{112,5}{2} = 56,2 \text{ А}$$

Выбор выключателей выполняется по следующим условиям:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном}} &\geq U_{\text{сети ном}}; \\ I_{\text{ном}} &\geq I_{\text{ном.расч}}; \\ K_{\text{пг}} \cdot I_{\text{ном}} &\geq I_{\text{прод.расч}}. \end{aligned}$$

где $K_{\text{пг}}$ – величина коэффициента перегрузки

Проверку выключателей выполняют по следующим условиям:

$$I_{вкл} \geq I_{п0};$$

$$i_{вкл} \geq i_{уд};$$

$$I_{пр.скв} \geq I_{п0};$$

$$i_{пр.скв} \geq i_{уд};$$

Каталожные данные для выбираемого выключателя ВБСК-10-12,5/630, который применяется в ячейках КСО-285, приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Каталожные данные выключателя

Марка выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		Номинальный ток включения, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с	Время полного отключения, с
				Наибольший ток	Начальное действующее значение периодической составляющей	Наибольший пик	Начальное действующее значение периодической составляющей		
ВБСК	10	630	12,5	32	12,5	32	12,5	12,5/3	0,05

Выполним проверку выключателя представленного в таблице по приведенным ранее условиям:

Для рабочего продолжительного режима:

$$U_{НОМ} = 10кВ \geq U_{СЕТИ.НОМ} = 10кВ$$

$$I_{НОМ} = 630А \geq I_{ПРОД.РАСЧ} = 56,2А (I_{А.Р} = 112,5А)$$

По отключающей способности и электродинамической стойкости:

$$I_{ВКЛ} = 12,5кА \geq I_{П0} = 6,196кА$$

$$i_{ВКЛ} = 32кА \geq i_{УД} = 16,903кА$$

$$I_{ПР.СКВ.} = 12,5кА \geq I_{П0} = 6,196кА$$

$$i_{ПР.СКВ.} = 32кА \geq i_{УД} = 16,903кА$$

По термической стойкости к ТКЗ из условий что, постоянная времени затухания аperiodической составляющей ТКЗ $T_a = 0,19$, а продолжительность действия ТКЗ $t_{откл} = 0,73с$.

$$t_{откл} \geq 3 \cdot T_a \Rightarrow 0,73 \geq 0,57$$

Для случая, когда $t_{откл} \geq 3T_a$, интеграл Джоуля и термически эквивалентный ТКЗ можно определить следующим образом:

$$B_k \approx I_{п.о}^2 (t_{откл} + T_a); \quad (26)$$

$$I_{тер.мт.}^2 \cdot t_{тер.} \geq B_k \quad (27)$$

где B_k – значение расчетного теплового импульса ТКЗ.

$$B_k \approx I_{п.о}^2 (t_{откл} + T_a) = 6,196^2 \cdot (0,73 + 0,19) = 44,56 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$I_{тер.ст.}^2 \cdot t_{откл.} = 12,5^2 \cdot 0,73 = 114,06 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$I_{тер.мт.}^2 \cdot t_{тер.} = 114,06 \text{кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 44,56 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$$

Исходя из условий проверки, выключатель может быть принят к установке на объекте.

7.3 Выбор и проверка разъединителей для ТП2-10/0,4 (РП)

Исходя из мощности трансформаторов установленных на ТП2 (РП), которая составляет 250кВА, к установке выбираем разъединитель марки РВЗ 10/400.

Каталожные данные для разъединителя, который применяется в ячейках КСО-285 представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Каталожные данные разъединителя

Марка выключателя	Напряжение кВ		Номинальный ток А	Устойчивость при сквозных токах к.з. А		
	Номинальное	Наибольшее		Наибольший пик	Ток термической стойкости	
					в течении 3с (гладкие ножи)	в течении 1 с (заземлённые ножи)
РВЗ 10/400	10	12	400	41	16	16

Выполним проверку представленного разъединителя по приведенным выше условиям:

Для рабочего продолжительного режима:

$$U_{НОМ} = 10кВ \geq U_{СЕТИ.НОМ} = 10кВ$$

$$I_{НОМ} = 400А \geq I_{ПРОД.РАСЧ} = 56,2А (I_{А.Р} = 112,5А)$$

Проверка на электродинамическую стойкость к ТКЗ:

$$i_{ПР.СКВ} = 41кА \geq i_{УД} = 16,903кА$$

Проверка на термическую стойкость к ТКЗ из условий (26) и (27):

$$B_k \approx I_{п.о}^2 (t_{откл} + T_a) = 6,196^2 \cdot (0,73 + 0,19) = 44,56кА^2 \cdot с$$

$$I_{тер.ст.}^2 \cdot t_{откл.} = 16^2 \cdot 0,73 = 186,88 кА^2 \cdot с$$

$$I_{тер.лт.}^2 \cdot t_{тер.} = 186,88кА^2 \cdot с \geq B_k = 44,56кА^2 \cdot с$$

По условиям выбора, представленный разъединитель может быть принят к установке.

7.4 Проверка плавких предохранителей ТП2-10/0,4 (РП)

Для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ мощностью до 630 кВА применяются плавкие предохранители на стороне высокого напряжения 10 кВ.

Выбор плавких предохранителей выполняют по следующим условиям:

$$U_{НОМ} \geq U_{СЕТИ.НОМ};$$

$$I_{НОМ} \geq I_{НОРМ.РАСЧ};$$

$$K_{пг} I_{НОМ} \geq I_{ПРОД.РАСЧ}.$$

Проверку проводят по следующим условиям:

$$I_{откл.НОМ} \geq I_{п.о.ж} \approx I_{п0}$$

ТП2 в аварийном режиме (на один трансформатор $S_{тр} = 250кВА$) потребляемая мощность составляет: $S = 272,08 кВА$, $I = 15,7 А$

Каталожные характеристики предохранителей, которые применяются в ячейках КСО-285.

Таблица 14 – Характеристики предохранителей

Тип предохранителя	$U_{НОМ}, кВ$	$U_{МАХ}, кВ$	$I_{НОМ}, А$	$I_{НОМ.ОТКЛ.}, кА$
ПКТ101-10-31,5-12,5УЗ	10	12	31,5	12,5

К установке принимаем предохранитель марки ПКТ101-10-31,5-12,5 УЗ
Выполним проверку:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети\ ном} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 31,5 \text{ А} \geq I_{норм.расч} = 15,7$$

$$I_{откл.ном} = 12,5 \text{ кА} \geq I_{п0} = 6,196 \text{ кА}$$

Выбранный тип предохранителя проходит для установки на объекте. Предохранители устанавливаемые на ТП представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Предохранители устанавливаемые на ТП

Подстанция	Тип предохранителя	U ном,кВ	U max,кВ	I ном.А	I ном.откл.кА
ТП-2	ПКТ101-10-31,5-12,5УЗ	10	12	31,5	12,5
ТП-3	ПКТ102-10-50-12.5УЗ	10	12	50	12,5
ТП-1	ПКТ103-10-100-12.5УЗ	10	12	100	12,5

7.5 Проверка выключателя нагрузки ТП1

Исходные данные для выбора выключателя нагрузки:

$$I_{по} = 6,076 \text{ кА}, U_{в.ном} = 10 \text{ кВ}, i_{уд} = 16,645 \text{ кА}$$

Полная мощность на шинах ТП $S = 1300,06 \text{ кВА}$.

Ток протекающий через выключатель в аварийном режиме:

$$I_{A.P.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1300,06}{1,732 \cdot 10} = 75,1 \text{ А}$$

Ток протекающий через выключатель в нормальном режиме

$$I_{H.P.} = \frac{I_{A.P.}}{2} = \frac{75,1}{2} = 37,55 \text{ А}$$

Характеристика выключателя нагрузки устанавливаемые на ТП представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики выключателей нагрузки

Тип	U ном, кВ	I ном, А	I ном.откл.,кА	Предельный сквозной ток КЗ, кА		Номинальный ток включения, кА		Ток термической стойкости, кА/допустимое время его действия, с (Итер.норм)
				Наибольший ток	Начальное действующее значение периодической составляющей	Наибольший пик	Начальное действующее значение периодической составляющей	
ВНА-П-10/630-20з(п)	10	630	20	51	20	51	20	20/1

Выполним проверку выключателя нагрузки по приведенным ранее условиям:

Для продолжительного режима имеем:

$$U_{НОМ} = 10кВ \geq U_{СЕТИ.НОМ} = 10кВ$$

$$I_{НОМ} = 630А \geq I_{ПРОД.РАСЧ} = 37,55А (I_{А.Р} = 75,1А)$$

По отключающей способности

$$I_{ВКЛ} = 20кА \geq I_{П0} = 6,076кА$$

$$i_{ВКЛ} = 51кА \geq i_{УД} = 16,645кА$$

По электродинамической стойкости

$$i_{ПР.СКВ} = 51кА \geq i_{УД} = 16,645кА$$

По термической стойкости к токам КЗ. Тепловой импульс ТКЗ выполним по условиям (26) и (27):

$$B_k \approx I_{п.о}^2 (t_{откл} + T_a) = 6,076^2 \cdot (0,73 + 0,19) = 33,96кА^2 \cdot с$$

$$I_{тер.ст.}^2 \cdot t_{откл.} = 20^2 \cdot 0,73 = 292 кА^2 \cdot с$$

$$I_{тер.мм.}^2 \cdot t_{тер.} = 292кА^2 \cdot с \geq B_k = 33,96кА^2 \cdot с$$

Представленный выключатель удовлетворяет всем условиям, поэтому выключатель может быть установлен на объекте.

7.6 Выбор трансформатора тока

Проверим трансформатор ТОЛ-10 для установки на ТП.

Для установке на вводе РП

Таблица 17 – Характеристики трансформатора тока

Серия	Напряжение кВ		Номинальный первичный/вторичный ток А	Тер.ст. Односекундный ток термической стойкости, кА,	Ток электродинамической стойкости, кА, Им.дин
	Номинальное	Наибольшее			
ТОЛ-10-3	10	12	150/5	20	51

Ток протекающий через трансформатор тока в аварийном режиме:

$$I_{А.Р.} = 112,48А$$

Ток протекающий через трансформатор тока в нормальном режиме:

$$I_{н.р.} = 56,24 А$$

Исходные данные для выбора трансформатора тока:

$$I_{п.о} = 6,196 кА, U_{в.ном} = 10 кВ, i_{уд} = 16,903 кА$$

Выполним проверку выбранного трансформатора тока по следующим условиям:

Для рабочего продолжительного режима:

$$U_{ном} = 10 кВ \geq U_{сети.ном} = 10 кВ$$

$$I_{ном} = 150 А \geq I_{прод.расч} = 53,8 А (I_{а.р} = 107,6 А)$$

На электродинамическую стойкость при токах КЗ:

$$I_{м.дин} = 51 кА \geq i_{уд} = 16,903 кА$$

На термическую стойкость токам КЗ из условий (26) и (27):

$$B_k \approx I_{п.о}^2 (t_{откл} + T_a) = 6,196^2 \cdot (0,73 + 0,19) = 44,56 кА^2 \cdot с$$

$$I_{тер.ст.}^2 \cdot t_{откл.} = 20^2 \cdot 0,73 = 292 кА^2 \cdot с$$

$$I_{тер.мт.}^2 \cdot t_{тер.} = 292 кА^2 \cdot с \geq B_k = 44,56 кА^2 \cdot с$$

Исходя из условий проверки выбранный трансформатор тока может быть установлен на объекте. Перечень устанавливаемых трансформаторов тока представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень трансформаторов тока

Устройство	ТТ	Напряжение кВ		Номинальный первичный/вторичный ток А	Односекундный ток термической стойкости, кА,	Ток электродинамической стойкости, кА,
		Номинальное	Наибольшее			
РП	ТОЛ-10-200-1	10	12	200/5	20	51
ТП2	ТОЛ-10-50-3	10	12	50/5	8	20
ТП3	ТОЛ-10-75-3	10	12	75/5	20	51
ТП1	ТОЛ-10-100-3	10	12	100/5	20	51

7.7 Выбор и проверка трансформатора напряжения

Выберем к установке на объекте трансформатор напряжения марки НТМИ-10. Данный ТН имеет следующие характеристики:

$$U_{ном.ВН} = 10 \text{ кВ}; \kappa = 0,5; S_{ном} = 150 \text{ ВА}; S_{max} = 1000 \text{ ВА};$$

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1000}{1,73 \cdot 10000} = 0,06 \text{ А}$$

Выполним проверку ТН по номинальному напряжению:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ}$$

Данный трансформатор напряжения удовлетворяет условию выбора и может быть принят к установке на объекте.

Для защиты выбранного ТН необходимо произвести выбор предохранителя.

Для защиты ТН выбираем предохранитель, характеристики которого представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристика предохранителя для защиты ТН

Тип предохранителя	U _{ном} ,кВ	U _{max} ,кВ	I _{ном} .А	I _{ном.откл.} кА
ПКТ101-10-2-12.5УЗ	10	12	2	12,5

Выполним проверку предохранителя по номинальному напряжению и току:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети ном} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} = 2 \text{ А} \geq I_{норм.расч} = 0,06 \text{ А}$$

Выбранный предохранитель проходит проверку и удовлетворяет условиям выбора, поэтому может быть принят к установке на объекте.

7.8 Спецификация оборудования на ТП и РП 10кВ

Таблица 20 Оборудование установленное в ячейках КСО-285 на РП (ТП2)

Номер ячейки по плану/кол-во	1/2	6/1	8/2	9/2	13/2	24/1
Выключатель	ВБСК-10-12,5/630	ВБСК-10-12,5/630	ВБСК-10-12,5/630	-	-	-
Разъединитель	РВЗ 10/400 (2шт.)	РВЗ 10/400	РВЗ 10/400 (2шт.)	РВЗ 10/400	РВЗ 10/400	РВЗ 10/400
Выключатель нагрузки	-	-	-	-	-	-
Предохранители	-	-	-	ПКТ101-10-31,5-12,5 (3шт.)	ПКТ101-10-2-31 (3шт.)	-
Трансформаторы тока	ТОЛ-10-200-1 (2шт.)	ТОЛ-10-200-1 (2шт.)	ТОЛ-10-200-1 (2шт.)	ТОЛ-10-50-3 (2шт.)	-	-
Трансформаторы напряжения	-	-	-	-	НТМИ-10	-
Трансформаторы тока нулевой последовательности	XX	-	XX	-	-	-

Таблица 21 - Оборудование установленное в ячейках КСО-285 на ТП1

Номер ячейки по плану/кол-во	6/1	8/2	9/2	24/1
Выключатель	ВБСК-10-12,5/630	ВБСК-10-12,5/630	-	-
Разъединитель	РВЗ 10/400	РВЗ 10/400 (2шт.)	-	РВЗ 10/400
Выключатель нагрузки	-	-	ВНА-П-10/630-20з(п)	-
Предохранители	-	-	ПКТ103-10-100-12.5 (3шт.)	-
Трансформаторы тока	ТОЛ-10-100-3 (2шт.)	ТОЛ-10-100-3 (2шт.)	-	-
Трансформаторы напряжения	-	-	-	-
Трансформаторы тока нулевой последовательности	-	xx	-	-

Таблица 22 - Оборудование установленное в ячейках КСО-285 на ТП3

Номер ячейки по плану/кол-во	6/1	8/2	9/2	24/1
Выключатель	ВБСК-10-12,5/630	ВБСК-10-12,5/630	-	-
Разъединитель	РВЗ 10/400	РВЗ 10/400 (2шт.)	РВЗ 10/400	РВЗ 10/400
Выключатель нагрузки	-	-	-	-
Предохранители	-	-	ПКТ102-10-50-12 (3шт.)	-
Трансформаторы тока	ТОЛ-10-75-3 (2шт.)	ТОЛ-10-75-3 (2шт.)	-	-
Трансформаторы напряжения	-	-	-	-
Трансформаторы тока нулевой последовательности	-	XX	-	-

8 Расчёт и выполнение контура заземления

В соответствии с ПУЭ, величина сопротивления заземляющего устройства должна быть не более 4 Ом. Контур заземления предлагается выполнить установкой вертикальных электродов по контуру. В качестве вертикальных заземлителей принимаем электроды диаметром 18.00 мм и длиной 2.00 м.

Предварительно с учётом площади (10x5м), намечаем расположение заземлителей по периметру длиной 30 м.

Параметры двухслойного грунта в месте сооружения, климатические коэффициенты и другие исходные данные для расчета сведены в таблице 23.

Таблица 23– Данные для расчета заземления

Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Значение
R_f	нормируемое сопротивление растеканию тока в землю	Ом	4
ρ_1	удельное сопротивление верхнего слоя грунта	Ом·м	50
ρ_2	удельное сопротивление нижнего слоя грунта	Ом·м	60
d	Диаметр стержня	мм	18
L	длина вертикального заземлителя	м	2
H	толщина верхнего слоя грунта	м	0.5
$t_{\text{полосы}}$	глубина заложения горизонтального заземлителя	м	0.5
t	расстояние от поверхности земли до середины заземлителя	м	1.5
k_1	климатический коэффициент для вертикальных электродов	–	1.9
k_2	климатический коэффициент для горизонтальных электродов	–	5.75
b	ширина стальной полосы	мм	50
l_a	длина горизонтального заземлителя	м	30

Удельный коэффициент сопротивления для двухслойного грунта:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{\rho_1 \cdot L - H + t_{\text{полосы}} + \rho_2 \cdot H - t_{\text{полосы}}} \text{ Ом} \cdot \text{ м} \quad (28)$$

$$\rho = \frac{(50 \cdot 60 \cdot 2)}{(50 \cdot (2 - 0.5 + 0.5) + 60 \cdot (0.5 - 0.5))} = 60 \text{ Ом} \cdot \text{ м}.$$

Сопротивление растеканию:

$$r_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right) \quad (29)$$

$$r_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot 1,9 \cdot 60}{2} \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 2 \cdot 1000}{0,95 \cdot 18} \right) + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4 \cdot 1,5 + 2}{4 \cdot 1,5 - 2} \right) \right) = 52,56 \text{ Ом.}$$

Таблица 24 - Параметры заземлителей

Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Значение
η_B	коэффициент использования вертикальных заземлителей	–	0.69
η_z	коэффициент использования горизонтальных электродов	–	0.42
h	расстояние между заземлителями	м	1,66

Количество вертикальных заземлителей (ВЗ):

$$n_{np} = \frac{r_{\epsilon}}{R_n \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (30)$$

где η_{ϵ} – коэффициент использования для ВЗ.

$$n_{np} = \frac{52,56}{4 \cdot 0,69} = 22 \text{ шт.}$$

Сопротивление для горизонтального заземлителя:

$$r_z = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_z \cdot \eta_z} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t_{\text{полосы}}} \right) \quad (31)$$

$$r_z = \frac{0,366 \cdot 5,75 \cdot 60}{30 \cdot 0,42} \lg \left(\frac{2 \cdot 30^2 \cdot 1000}{50 \cdot 0,5} \right) = 48,6 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление вертикальных заземлителей:

$$R = \frac{R_n \cdot r_z}{r_z - R_n} \quad (32)$$

$$R = \frac{48,6 \cdot 4}{4 - 48,6} = 4,35 \text{ Ом.}$$

Уточнённое количество вертикальных заземлителей с учётом горизонтальной соединительной полосы:

$$n = \frac{r_{\epsilon}}{R \cdot \eta_{\epsilon}} \quad (33)$$

$$n = \frac{52.56}{4.35 \cdot 0.69} = 17,5 \text{ шт.}$$

По результатам расчета к установке принимаем 18 вертикальных заземлителей, при этом длина горизонтального заземлителя составляет 30м. Среднее расстояние между вертикальными заземлителями составляет 1,66 м.

Монтажные параметры одиночного заземлителя в двухслойном грунте и конструкция заземляющего устройства показаны на рисунке 7.

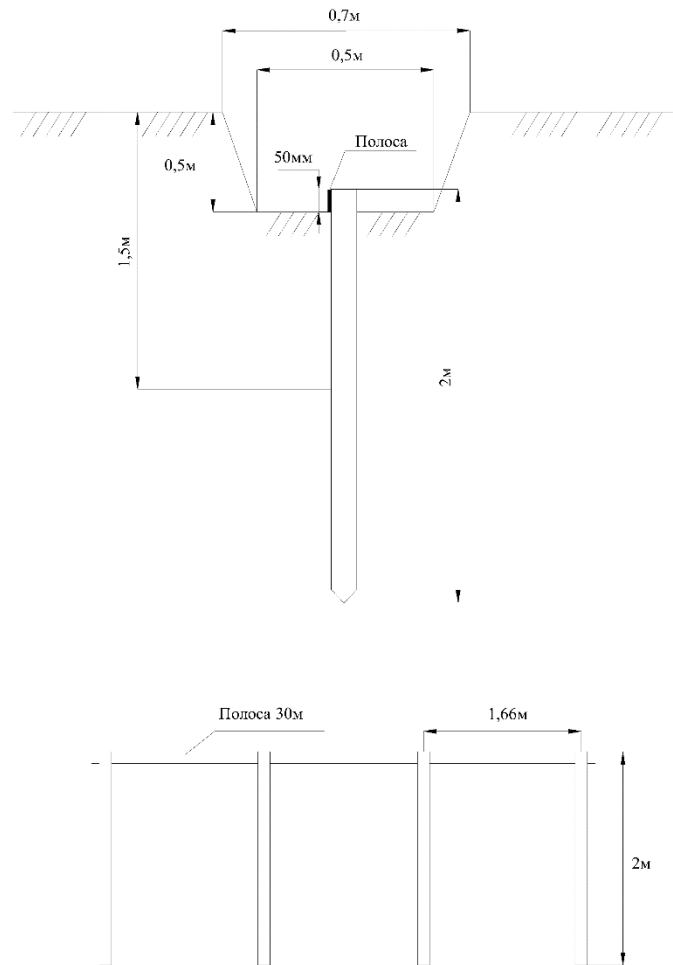


Рисунок 7 - Схема заземления

9 Релейная защита и противоаварийная автоматика

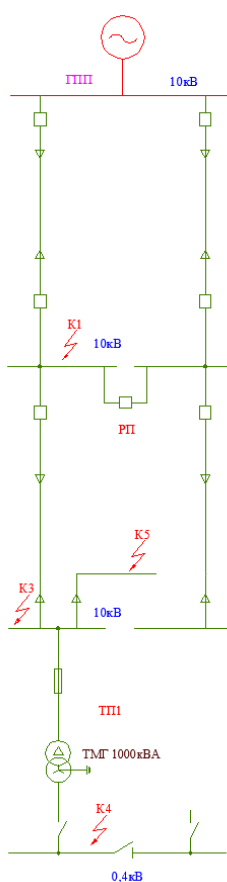


Рисунок 8 – Схема расчета ТКЗ

Максимальные нагрузки и токи:

$$10\text{кВ } S_{\text{max}} = 1903\text{кВА}$$

$$10\text{кВ } I_{\text{раб.мах.в}} = \frac{1903}{\sqrt{3} \cdot 10} 110\text{А}$$

$$10\text{кВ } I_{\text{раб.мах.св}} = \frac{110 \cdot 1,2}{2} 66\text{А}$$

$$10\text{кВ } I_{\text{раб.мах.кл}} = 110\text{А}$$

Токи К.З:

$$10\text{кВ } \text{К-1 } I_{\text{кз}}^{(3)} = 6119\text{А} \quad I_{\text{кз}}^{(2)} = 5324\text{А}$$

$$10\text{кВ } \text{К-3 } I_{\text{кз}}^{(3)} = 6,07\text{кА} \quad I_{\text{кз}}^{(2)} = 5,28\text{кА}$$

$$10\text{кВ } \text{К-5 } I_{\text{кз}}^{(3)} = 5,8\text{кА} \quad I_{\text{кз}}^{(2)} = 5,05\text{кА}$$

$$10\text{кВ } \text{К-4 } I_{\text{кз}}^{(3)} = 902\text{А} \quad I_{\text{кз}}^{(2)} = 785\text{А}$$

$$0,4\text{кВ } K-4 \quad I_{кз}^{(3)} = 22,54\text{кА} \quad I_{кз}^{(2)} = 19,61\text{кА}$$

Коэффициенты трансформации трансформаторов тока

$$\text{На вводе } 10\text{кВ} \quad I_{\text{раб.мах}} = 110\text{А} \quad K_{ТА} = \frac{150}{5} = 30$$

$$\text{На СВ } 10\text{кВ} \quad I_{\text{раб.мах}} = 66\text{А} \quad K_{ТА} = \frac{150}{5} = 30$$

$$\text{На КЛ } 10\text{кВ} \quad K_{ТА} = \frac{150}{5} = 30$$

9.1 Выбор оперативного тока на РП-10кВ

В соответствии с руководящими указаниями по выбору оперативного тока на энергообъектах и норм проектирования энергообъектов на РП-10кВ принимаем переменный оперативный ток и в качестве источника питания принимаем трансформаторы собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2 и трансформаторы тока на всех присоединениях где необходима релейная защита.

Трансформаторы собственных нужд ТСН-1 и ТСН-2 питают шинки оперативного тока ШОТ в нормальных и ненормальных режимах без посадки напряжения на шинах 10кВ. При коротких замыканиях источниками оперативного тока будут трансформаторы тока. Для повышения надёжности, качества напряжения оперативного тока и безопасности обслуживания вторичных устройств цепи низкого напряжения от ТСН-1(2) подаются на ШОТ через разделительные трансформаторы и стабилизаторы С-1 и С-2 типа С-0,9. Напряжение оперативного тока принимаем $\sim U_{от} = 220\text{в}$.

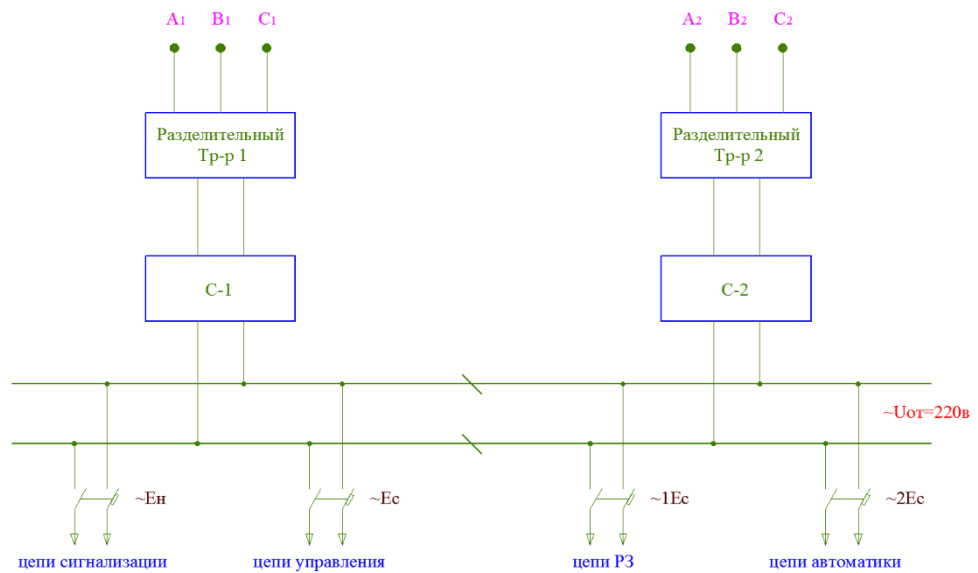


Рисунок 9 – Схема питания системы оперативного тока

9.2 Выбор и расчёт защит ввода 10кВ-1(2)

Для защит секций шин 10кВ и резервирования защит отходящих от шин линий и защит СВ-10 от междуфазных коротких замыканий, принимаем максимальную токовую защиту действующую с выдержкой времени на отключение выключателя ввода 10-1(2). По времени МТЗв – отстраивается от защиты секционного выключателя 10кВ. По ток МТЗв – отстраивается от максимального тока нагрузки при отключении одного из вводов 10кВ.

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{S_{\text{мах}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1903}{\sqrt{3} \cdot 10} = 110 \text{ A}$$

принимаем $K_{\text{ТТ}} = \frac{150}{5} = 30$

Расчёт уставок МТЗв ток срабатывания защиты

$$I_{\text{СЗв}} = \frac{I_{\text{раб.мах}} \cdot K_n \cdot K_{\text{сз}}}{K_{\text{в}}} = \frac{110 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{0,8} = 200 \text{ A}$$

где: K_n – коэффициент надёжности $K_n = 1,2 - 1,3$

$K_{\text{сз}}$ - коэффициент самозапуска $K_{\text{сз}} = 1,1$

$K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата для реле РТ-40 $K_{\text{в}} = 0,8 - 0,9$

Ток срабатывания реле тока

$$I_{cp.в} = \frac{I_{сз.в} \cdot K_{сх}}{K_{ТТ}} = \frac{200 \cdot 1}{30} = 6,67 A$$

Исходная схема включения трансформатора тока и реле $K_{сх} = 1$ неполной звезды. Применяем токовое реле РТ40/10

Коэффициент чувствительности защиты

$$K_{чз} = \frac{I_{кз.К1}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{5324}{200} = 26,1 > 1,5$$

$I_{кз.К1}^{(2)}$ - ток к.з. минимальный двухфазный в т.К1

Время срабатывания защиты

$$t_{сз.в} = t_{сз.св} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 сек$$

9.3 Выбор и расчёт защит секционного выключателя 10кВ

Для резервирования защит отходящих от шин 10кВ линий и для защиты шин 10кВ от междуфазных к.з. принимаем максимальную токовую защиту действующую с выдержкой времени на отключение СВ-10. По времени МТЗсв –отстраивается от максимального времени защит отходящих от секций шин линий 10кВ. По току МТЗсв – отстраивается от максимального перетока через СВ-10 в случае отключения одного из вводов 10кВ.

$$I_{раб.мах.св} = \frac{I_{раб.мах.в} \cdot 1,4}{2} = \frac{110 \cdot 1,4}{2} = 77 A$$

Принимаем трансформатор тока с коэффициентом трансформации

$$K_{ТТ.св} = \frac{100}{2} = 20$$

Расчёт уставок МТЗсв

Первичный ток срабатывания защиты

$$I_{сз.св} = \frac{I_{раб.мах} \cdot K_n \cdot K_{сз}}{K_g} = \frac{77 \cdot 1,25 \cdot 1,1}{0,8} = 133 A$$

Ток срабатывания реле

$$I_{cp.св} = \frac{I_{сз.св} \cdot K_{сх}}{K_{ТТ.св}} = \frac{133 \cdot 1}{20} = 6,6 A \quad K_{сх} = 1 \text{ (для неполной звезды)}$$

Принимаем токовое реле РТ40/10

Чувствительность защиты

$$K_{ч.сб} = \frac{I_{кз.К1}^{(2)}}{I_{сз.сб}} = \frac{5324}{133} = 40 > 1.5$$

Время срабатывания защиты

$$t_{сз.сб} = t_{сз.л} + \Delta t = 0.5 + 0.5 = 1сек$$

9.4 Защита секций шин 10кВ

Для защиты секций шин 10кВ (ячейки КСО-285) применяем логическую защиту шин ускоряющую действия максимальных токовых защит вводов 10кВ и секционного выключателя 10кВ. В случае к.з. на отходящих линиях 10кВ токовые реле на шинах блокируют ускорение МТЗв и МТЗсв и они работают с выдержкой времени. При к.з. секциях шин 10кВ –МТЗв и МТЗсв ускоряются и действуют без выдержки времени на отключение ввода 10кВ повреждённой секции шин 10кВ и СВ-10кВ.

Уставки срабатывания и чувствительность логической защиты шин:

На вводе 10кВ $I_{сз.в} = 200A$ $K_{ч} = 26,1 > 2$

На СВ-10кВ $I_{сз.сб} = 133A$ $K_{ч} = 40 > 2$

Блокирующиеся реле на линиях 10кВ

$$I_{сз} = \frac{I_{сз.мин.К5}^{(2)}}{K_n \cdot K_г} = \frac{5800 \cdot 0,87}{1,4 \cdot 1,25} = 285A$$

где $I_{сз.мин.К5}^{(2)}$ - минимальный двухфазный ток к.з. в конце линии точка К5;

$K_n = 1,5 - 1,4$ - коэффициент надёжности; $K_г$ - коэффициент возврата реле тока РТ-

40

Ток срабатывания блокирующих реле:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_{та.л}} = \frac{285 \cdot 1,73}{30} = 16,4A$$

Принимаем токовые реле РТ-40/20.

Отстройка от ложного срабатывания при максимальных нагрузках

$$K_{отс.в} = \frac{I_{сз}}{I_{н.мах.в} \cdot K_n} = \frac{285}{110 \cdot 1,3} = 2 > 1,5$$

$$K_{отс.св} = \frac{I_{сз}}{I_{н.мах.св} \cdot K_n} = \frac{285}{77 \cdot 1,3} = 2,85 > 1,5$$

Время срабатывания защиты $t_{сз} = 0 \text{сек}$

9.5 Защита секций шин от замыканий на землю

Для защиты от замыканий на землю принимаем неселективную защиту реагирующую на напряжение нулевой последовательности – $3U_0$ и выполненную на фильтрах напряжения нулевой последовательности ФННП (разомкнутый треугольник) трансформаторов напряжения на секциях шин 10кВ I и IIш 10кВ. Защита действует при замыкании на землю в любой точке сети 10кВ отданной СТ-10 и с выдержкой времени подаёт сигнал обслуживающему персоналу.

Напряжение срабатывания реле напряжения KV0

$$U_{ср} = (10 \div 15)в + U_{неб.ТН} = 15 + 2 = 17в$$

где $(10 \div 15)в$ - отстройка от несимметрии сети 10кВ; $U_{неб.ТН}$ - небаланс на ФННП.

$$U_{неб.ТН} = 1 - 3в .$$

Принимаем максимальное реле напряжения РН-53/60Д

Время срабатывания защиты $t_{сз} = 5 \text{сек}$

9.6 Автоматическое включение резерва на секционном выключателе 10кВ

В нормальном режиме работы РП-10 секционный выключатель находится в отключенном состоянии и стоит на АВР , оба ввода 10кВ включены в работу на свои секции шин.

При таком режиме работы РП-10 принимаю схему АВР-СВ однократного, двухстороннего действия, без самовзврата.

Пуск АВР-СВ осуществляется от минимальных реле напряжения подключенных к вторичным цепям трансформаторов напряжения на секциях шин I и II_{сш} 10кВ TV-1 и TV-2.

После пуска схемы с выдержкой времени отключается ввод 10кВ поврежденной секции шин 10кВ, а по состоянию отключенного положения ввода поврежденной секции шин схема АВР действует на включение секционного выключателя 10кВ

Уставки срабатывания реле напряжений

Пусковых реле (1KV, 2KV и 4KV,5KV)

$$U_{cp.П} = \frac{U_{раб.мин}}{K_g \cdot K_n \cdot K_{TV}} = \frac{0.9 \cdot 10000}{1.25 \cdot 1.25 \cdot 100} = 54V$$

где $U_{раб.мин} = 0,9 \cdot U_{ном}$ - минимальное рабочее напряжение

K_g - коэффициент возврата реле РН-54 $K_g = 1,2 - 1,3$

K_{TV} - коэффициент трансформации трансформаторов напряжения

Принимаем минимальное реле напряжения РН54/100

Контролирующее реле (3KV и 5KV)

$$U_{cp.К} = \frac{U_{раб.мин}}{K_n \cdot K_{TV}} = \frac{0.9 \cdot 10000}{1.25 \cdot 100} = 74в$$

Принимаем максимальное реле напряжения РН-53/100

Время срабатывания пуска АВР-СВ-10кВ

$$t_{cp.АВР} = t_{сз.мах} - 2\Delta t = 1,5 + 2 \cdot 0,5 = 2,5сек$$

9.7 Выбор и расчёт защит кабельных линий 10кВ

Для защиты кабельных линий 10кВ от междуфазных коротких замыканий и резервирования предохранителей на трансформаторных подстанциях, принимаем максимальную токовую защиту действующую с выдержкой времени на отключение выключателя линии 10кВ. По току $MTЗ_{кл}$ отстраиваем от максимального рабочего тока при отключении второй линии (т.е. когда вся нагрузка будет протекать по одной линии 10кВ).

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{S_{\text{раб.мах}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1903}{\sqrt{3} \cdot 10} = 110 \text{ A}$$

Принимаем коэффициент трансформации трансформаторов тока

$$K_{\text{ТА.КЛ}} = \frac{150}{5}$$

Расчёт МТЗ_{КЛ} :

Первичный ток срабатывания защиты

$$I_{\text{сз.КЛ}} = \frac{I_{\text{раб.мах}} \cdot K_n \cdot K_{\text{сз}}}{K_{\text{г}}} = \frac{110 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{0,8} = 182 \text{ A}$$

Ток срабатывания реле тока

$$I_{\text{сп.КЛ}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{ТА.КЛ}}} = \frac{182 \cdot 1,73}{30} = 182 \text{ A}$$

где $K_{\text{сх}}$ - коэффициент схемы включения трансформаторов тока и реле $K_{\text{сх}} = 1,73$ для включения трансформаторов тока на разность токов

Принимаем реле тока РТ-85/1

Чувствительность защиты конце защищаемой линии:

$$K_{\text{ч1}} = \frac{I_{\text{к.з.К5}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{5050}{182} = 27,1 > 1,5$$

За трансформаторами 10/04 ТП-1 -1000кВА

$$K_{\text{ч2}} = \frac{I_{\text{к.з.К4}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{785}{182} = 4,3 > 1,2$$

За трансформатором ТП-2 – 400кВА

$$K_{\text{ч3}} = \frac{I_{\text{к.з.К6}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{476}{182} = 2,6 > 1,2$$

Время срабатывания МТЗ_{КЛ}

$$t_{\text{сз}} = t_{\text{нр}} + \Delta t = 0,1 + 0,4 = 0,5 \text{ сек}$$

где $t_{\text{нр}}$ - время перегорания предохранителя на тр-ре 10/0,4 при 2х фазном к.з. на шинах 0,4кВ; Δt - ступень селективности.

Токовая отсечка на кабельной линии не принимается, так как она будет не чувствительна, из за её малой протяжённости.

Защитой от замыкания на землю на кабельной линии и ТП-1(2) будет принята несимметричная защита от замыкания на землю по $3U_0$ на ФННП (разомкнутый треугольник) трансформаторов напряжения на I и II секциях шин 10кВ TV-1-10 и TV-2-10. Защита при срабатывании действует с выдержкой времени на сигнал (расчёт см.выше «Защита шин»).

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирована система электроснабжения административно-торгового комплекса, которая входит в электрохозяйство объекта.

Объект получает питание от расположенной на расстоянии 1 км подстанции «Кировская», напряжением 110/10 кВ. Питание осуществляется по двум кабельным линиям марки АПвЭП-10 сечением $3 \times 120 \text{ мм}^2$. Кабельные линии проложены в земле, длина кабельной трассы составляет 1,78 км. Здания административно-торгового комплекса получают питание от трансформаторных подстанций на которых установлены распределительные трансформаторы различной мощности. Для защиты распределительных трансформаторов и питающих линий были выбраны вакуумные выключатели марки ВБСК-10, а так же предохранители марки ПКТ101-10. При проектировании системы внешнего электроснабжения в проекте были применены кабели из сшитого полиэтилена, что повышает надежность работы системы электроснабжения. Возможное повреждение кабеля допускает его работу в течении 8 часов в сутки.

В работе выполнен расчет и выбор релейной защиты питающих кабельных линий, а так же распределительных трансформаторов установленных на ТП. Защита сети ниже 1000 В осуществляется автоматическими выключателями. В работе так же выполнен расчет заземления.

В приложении к выпускной квалификационной работе выполнен расчет освещения, который включает в себя светотехнический и электротехнический расчеты.

В результате выполнения ВКР спроектирована система электроснабжения торгово-административного комплекса, которая удовлетворяет условиям надёжности и качества электроснабжения представленных на объекте потребителей.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 104 с.
2. Ополева, Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие/ Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. - 416 с.
3. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования /ред. Б.Н. Неклепаев. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 144 с.
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2012.— 108 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22738.html>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита. Учебное пособие / В.В. Титков, Ф.Х Халилов. - Лань, 2016. – 224 с.
6. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции. Учебное пособие / Ю.Д Сибикин. – РадиоСофт, 2014. – 416 с.
7. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 296 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/42262.html>.— ЭБС «IPRbooks»
8. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев. – Энергия, 2013. – 304 с.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. / Б.И. Кудрин. - М. : Academia, 2012. - 352 с.
10. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный

технический университет, 2013.— 92 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45148.html>.— ЭБС «IPRbooks»

11. Кузнецов С.М. Электронная защита от токов короткого замыкания и автоматика в распределительных устройствах 6-10 кВ тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45456.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Коломиец Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 72 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Короткие замыкания и выбор электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ И.П. Крючков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2012.— 568 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33170.html>.— ЭБС «IPRbooks»

14. Электрические станции и сети [Электронный ресурс]: сборник нормативных документов/ — Электрон. текстовые данные.— М.: ЭНАС, 2013.— 720 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17820.html>.— ЭБС «IPRbooks».

15. Электроснабжение. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс]: методические указания к практическим и курсовой работам/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014.— 47 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55184.html>.— ЭБС «IPRbooks»

16. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник/ Филиппова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский

государственный технический университет, 2014.— 294 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45211.html>.— ЭБС «IPRbooks»

17. Коннов А.А. Электрооборудование жилых зданий [Электронный ресурс]/ Коннов А.А.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2017.— 254 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63811.html>.— ЭБС «IPRbooks»

18. Wadhva, C. L. Electrical power systems (7th ed.)/ C. L. Wadhva – 7th ed - New Age International Publishers, 2016. – 970 p.

19. Rajput, Er. R.K. A Textbook of Power System Engineering / Er. R.K. Rajput – 2 ed - Laxmi Publications, 2015. – 1174 p.

20. Gowda, H.N.S. Power Transformers Technology and Practice / H.N.S. Gowda, P. Ramachandran - HNS Gowda, 2014. – 826 p.

21. Padilla, E. Substation Automation Systems: Design and Implementation / E. Padilla - Wiley-Blackwell, 2015. – 304 p.

22. Koch, H. J. Gas Insulated Substations / H. J. Koch - Wiley-Blackwell, 2014. – 490 p.

Приложение А

Расчет освещения

Расчёт проведём для одного этажа здания расположенного на отм. 4.200.

Исходные данные для расчета освещения

Выбор нормируемых значений освещенности.

Условия окружающей среды – нормальные.

1. Торговые залы магазинов:

1.Поскость освещения - пол высота=0,8м.

2.Разряд зрительной работы --.

3.Освещённость = 400 лк.

4.Используются люминисцентные лампы.

Выбираем светильники ARS/R.Тип лампы OS L18W/20-640 тип КСС-Г

$\cos \varphi = 0.92$

2. Санитарно бытовые помещения:

1.Горизонтальная плоскость высота от уровня пола = 0,0м.

2.Разряд зрительной работы --.

3.Освещённость = 75 лк.

4. Используются люминисцентные лампы.

Выбираем светильники ARS/R.Тип лампы OS L18W/20-640 тип КСС-Г

3. Лифтовые холлы, коридоры и проходы:

1.Вертикальная плоскость высота от уровня пола = 0,0м.

2.Разряд зрительной работы --.

3.Освещённость = 75 лк.

4.Используются светильники OPL/R(грильято) лампа люм. OS L18W/20-640, LINE 428 люминесцентная лампа Т4 мощностью 28 Вт, TERRA51 лампа накаливания галогенная зеркальная HR51 35вт.

См. экспликация помещений - таблица 8.3

Светотехнический расчёт

Расчет количества светильников методом коэффициента использования.

Торговые залы магазинов:

Расчёт произведём на примере бутика № 224

$E=400\text{лк}$

Длина $A = 8,15 \text{ м};$

Ширина $B = 3,8 \text{ м};$

Высота $H = 3 \text{ м}.$

Определяем площадь помещения $S, \text{ м}^2$

$$S = A \cdot B,$$

$$S = 8,15 \text{ м} \cdot 3,8 \text{ м} = 30,97 \text{ м}^2$$

Площадь помещения – $30,97 \text{ м}^2.$

Определяем индекс помещения.

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (A + B)}$$

Определяем расчетную высоту установки светильника над освещаемой поверхностью $h_p, \text{ м}$

$$h_p = h_1 - h_2 - h_c,$$

где: h_1 – высота помещения, м, h_2 – высота рабочей поверхности = $0,8\text{м}$, h_c – высота свеса светильника = 0м .

$$h_p = 3 - 0,8 - 0 = 2,2 \text{ м}$$

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (A + B)} = \frac{30,97}{2,2 \cdot (8,15 + 3,8)} = 1,178 \approx 1.2$$

Значения коэффициентов отражения:

потолка: $\rho_{\text{п}} = 50 \text{ %};$

стен: $\rho_{\text{с}} = 30 \text{ %};$

расчетной поверхности: $\rho_{\text{р}} = 10 \text{ %};$

Коэффициент использования $U \approx 48\% = 0,48$

Расчёт количества светильников N .

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (\text{A.1})$$

где E – требуемая горизонтальная освещенность лк; S – площадь помещения, м²;

K₃ – коэффициент запаса; U – коэффициент использования; Φ_л – световой поток одной лампы, лм; n – количество ламп в светильнике.

Светильники – ARS/R 418

В одном светильнике 4 ЛЛ мощностью по 18 Вт. Световой поток лампы – 1150 лм.

Определение коэффициента запаса.

Коэффициент запаса зависит от степени загрязнения помещения, частоты технического обслуживания светильника, интенсивности эксплуатации светильников и принимает значения от 1,2 до 2

Принимаем K₃ для торговых залов = 1,4.

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{400 \cdot 30,97 \cdot 1,4}{0,48 \cdot 4 \cdot 1150} = 7,85 \approx 8$$

Для бутика № 224 Потребуется 8 светильников ARS/R 418

Светильник имеет кривую силы света КСС типа Г. Отношение L/ h_p наивыгоднейшее рекомендуемое значение (0,8-1,1).

Зная h_p=2,2м найдём L=(1.76 м. -2.42 м.) расстояние между светильниками.

Так как потолок армстронг берём расстояние между центрами светильников равное 1,8м.

Остальные расчёты сводим в таблицу А1

Таблица А1 - Расчёт количества светильников

Обозначение на плане	Наименование помещения	Длина	Ширина	Площадь	Освещённость ЛК	Кол-во светильников расчётное ARS/R 4x18	Кол-во светильников установл ARS/R 4x18	Кол-во светиль Line 428	Кол-во светиль.Накал. 35 вт
л.4	Лестнично-лифтовой холл	7,9	2,5	19,9	75	1			
л.5	Лестнично-лифтовой холл	7,9	2,5	19,9	75	1			
л.6	Лестнично-лифтовой холл			0,0					
с.6	Женский санузел	3,4	3,0	10,1	75	1	2		
с.7	Мужской санузел	3,4	3,1	10,5	75	1	2		
с.8	Рекреация	3,4	1,6	5,4	75	1	1		
с.9	Помещение уборочного инвентаря	1,8	1,2	2,1	75	1	1		
с.10	Помещение уборочного инвентаря	1,8	1,2	2,1	75	1	1		
б.1	Балкон			0,0					
г.7	Гамбур	4,7	2,3	11,0	75	1	2		
к.4	Коридор	31,5	2,5	78,7	75	5	16	57	8
к.5	Коридор	31,5	2,5	78,7	75	5	16	57	8
к.6	Коридор	11,2	2,5	28,0	75	1	7	12	24
к.7	Коридор	31,6	2,5	79,0	75	5	11	37	3
к.8	Коридор	24,0	2,0	48,0	75	4	13	11	21
к.9	Коридор	31,6	2,5	79,0	75	5	11	30	6
х.2	Холл	30,7	8,0	245,6	75	10	12	20	129
.201	Бутик	7,8	3,7	28,9	400	8	8		
.202	Бутик	7,8	4,0	30,8	400	8	8		
.203	Бутик	7,8	7,8	60,8	400	14	16		
.204	Бутик	7,8	3,9	30,4	400	8	8		
.205	Бутик	7,8	3,9	30,0	400	8	8		
.206	Бутик	5,6	3,9	21,4	400	6	6		
.207	Бутик	5,6	4,0	21,9	400	6	6		
.208	Бутик	5,6	3,8	21,2	400	6	6		
.209	Бутик Н.П.	5,6	4,1	22,8	400	7	6		
.210	Бутик Н.П.	5,6	5,1	28,3	400	8	6		
.211	Бутик	5,6	3,9	21,6	400	6	6		
.212	Бутик	5,6	3,8	20,8	400	6	6		
.213	Бутик	5,6	4,4	24,1	400	6	6		
.214	Бутик Н.П.	5,6	3,3	18,1	400	5	6		
.215	Бутик Н.П.	5,6	3,3	18,1	400	5	6		

Продолжение таблицы А1

Обозначение на плане	Наименование помещения	Длина	Ширина	Площадь	Освещён-ность ЛК	Кол-во светильников расчётное ARS/R 4x18	Кол-во светильников установл ARS/R 4x18	Кол-во светиль Line 428	Кол-во светиль.Накал. 35 вт
.216	Бутик	5,6	4,3	24,1	400	7	7		
.217	Бутик	5,6	3,8	20,8	400	6	6		
.218	Бутик	5,6	3,9	21,6	400	6	6		
.219	Бутик Н.П.	5,6	5,1	28,3	400	7	6		
.220	Бутик Н.П.	5,6	4,1	22,8	400	7	6		
.221	Бутик	5,6	3,8	21,2	400	6	6		
.222	Бутик	5,6	4,0	22,1	400	6	6		
.223	Бутик	5,6	3,9	21,4	400	6	6		
.224	Бутик	8,2	3,7	30,3	400	8	8		
.225	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.226	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.227	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.228	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.229	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.230	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.231	Бутик	8,2	3,8	31,1	400	8	8		
.232	Бутик	8,2	3,8	30,6	400	8	8		
.233	Бутик Н.П.	8,2	3,9	31,4	400	8	8		
.234	Бутик Н.П.	8,2	3,8	30,6	400	8	8		
.235	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.236	Бутик	8,2	3,9	31,8	400	8	8		
.237	Бутик Н.П.	8,2	1,9	15,1	400	5	5		
.238	Бутик Н.П.	20,8	6,8	142,3	400	30	23		
.239	Бутик Н.П.	5,7	5,6	31,6	400	8	10		
.240	Бутик	5,6	2,9	15,9	400	5	6		
.241	Бутик Н.П.	5,6	4,9	27,1	400	7	6		
.242	Бутик Н.П.	5,6	4,9	27,1	400	7	6		
.243	Бутик	5,6	2,9	15,9	400	5	6		
.244	Бутик Н.П.	5,7	5,6	31,6	400	8	10		
.245	Бутик Н.П.	7,8	5,7	44,5	400	11	11		
.246	Бутик	7,8	3,8	29,6	400	8	8		
.247	Бутик	7,8	3,8	29,6	400	8	8		
						408	451	224	199

Электрический расчёт освещения

Выбор напряжения

Для питания светильников общего освещения принято напряжение 220В трехфазной сети напряжением 380/220В с заземлённой нейтралью.

Питающие линии – трехфазные, групповые – трехфазные и однофазные. Питание осветительной установки от двух трансформаторной пристроенной подстанции (2 x 1000 кВА)

Выбор марки проводов и способы прокладки

Проводка питающих линий с помощью кабеля марки ВВГнг в металлических лотках и на кабельтростах. Групповые линии кабелем марки ВВГнг на тросах и по стенам с помощью лоскутовой полосы, а также в перегородках из гипсокартона и ГВЛ в поливинилхлоридных трубах . Кабеля марки ВВГнг с медными жилами .

Расчёт потерь напряжения

Потери напряжения в трансформаторах с достаточной для практических расчётов точностью можно рассчитать:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot \cos\varphi \cdot (U_a\% + U_p\% \cdot \operatorname{tg}\varphi) \quad (\text{A.2})$$

где: $\beta_T = \frac{S}{S_{\text{НОМ.Т}}}$ - коэффициент загрузки трансформатора

$$U_a\% \approx \frac{10 \cdot \Delta P_{\text{К.НОМ}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \quad (\text{A.3})$$

где $\Delta P_{\text{К.НОМ}}$ - номинальные потери мощности КЗ трансформатора кВт;

$U_p\% = \sqrt{u_K^2\% - U_a^2\%}$ - реактивная составляющая напряжения КЗ; $u_K\%$ - напряжение КЗ трансформатора

1) Рассчитаем потери в трансформаторе ТП1

Таблица А2 – Параметры трансформатора

Трансформатор	Потери Вт. XX	Потери Вт. КЗ	Ток XX%	Напряжение КЗ%
ТМГ 1000 кВА	1550	10200	2	5,5

$$u_K = 5,5\% ; \quad \Delta P_{K.HOM} = 10,2 \text{ кВт} ; \quad \beta_T = 0,56 ;$$

$$\cos \varphi = 0,93 ; \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,38$$

$$U_a \% \approx \frac{100 \cdot \Delta P_{K.HOM}}{S_{HOM.T}} = \frac{100 \cdot 10,2}{1000} = 1,02\%$$

$$U_p \% = \sqrt{u_K^2 \% - U_a^2 \%} = \sqrt{5,5^2 - 0,102^2} = 5,49\%$$

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot \cos \varphi \cdot (U_a \% + U_p \% \cdot \operatorname{tg} \varphi) = 0,56 \cdot 0,93 \cdot (1,02 + 5,49 \cdot 0,38) = 1,73\%$$

Потери напряжения в трансформаторе составляют 1,73%

2) Допустимая потеря напряжения определяется по формуле :

$$\Delta U_D = 105 - U_{min} - \Delta U_T, \text{ где}$$

105 – напряжение холостого хода, % ;

U_{min} – наименьшее напряжение, допускаемое у наиболее удалённого источника света = 95%

Тогда допустимая потеря напряжения будет равна:

$$\Delta U_D = 105 - U_{min} - \Delta U_T = 105 - 95 - 1,73 = 8,27\%$$

ΔU_D - допустимые потери напряжения которые \geq сумме всех остальных потерь напряжения при последовательном расчёте питающих линий.

3) Составим таблицу для расчёта линии L1 рисунок А1

Таблица А3

Оборудование	Линия	Длина м.	РкВт	Момент линии М	cosφ	SkBA
ЩО-1	L1.1	10	7,2	72	0,93	7,74
ЩО-2	L1.2	19	17,1	324,9	0,93	18,39
ЩО-3	L1.3	20	32,7	654	0,93	35,16
ЩО-4	L1.4	24	25,16	603,8	0,93	27,05
ЩО-5	L1.5	25	27,14	678,7	0,93	28,18
ЩО-6	L1.6	28	23	644	0,93	24,73
ЩО-7	L1.7	29	34,1	988,9	0,93	36,67
ШРС-1	L1	56	166,4	9318,4	0,93	178,92

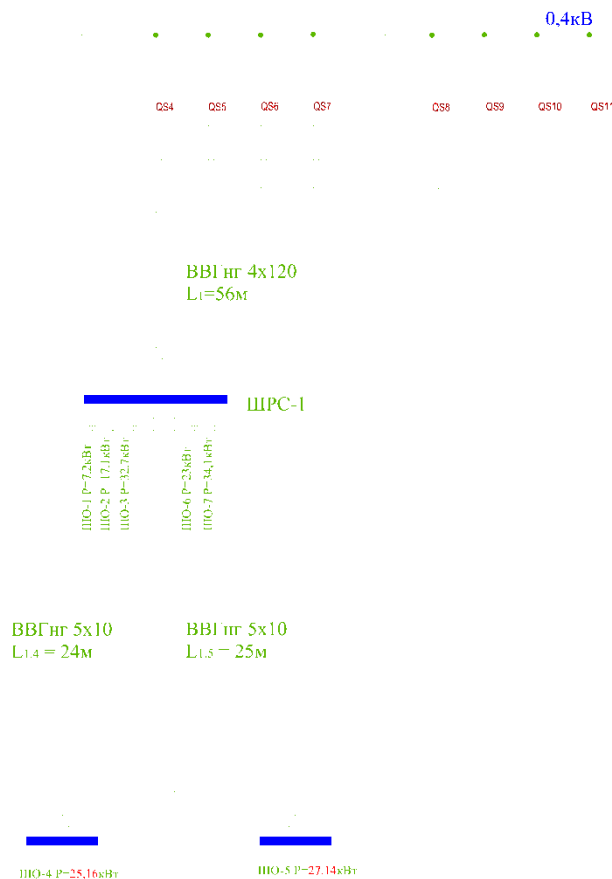


Рисунок А1 – Фрагмент распределительной сети

Сечение кабеля L1 по допустимой потери напряжения:

$$\Delta U_{OCT} = \Delta U_D = 8,27\% ; \quad S = \frac{M_{L1}}{C \cdot \Delta U_{OCT}} \quad (A4)$$

$$S = \frac{M_{L1}}{C \cdot \Delta U_{OCT}} = \frac{9318.4}{72 \cdot 8.27} = 15.64 \text{ мм}^2$$

Коэффициент С в зависимости от материала проводника берётся по таблице [23]

Коэффициент использования осветительной установки $K_{и}=0,9$

Найдём ток в линии :

$$I_{L1} = K_{и} \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0,9 \cdot \frac{178.92}{1,73 \cdot 0,38} = 272.16 \text{ А}$$

Кабель проложен в металлическом лотке , количество проложенных кабелей – 10.

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, должны приниматься: для кабелей - по [24] как для кабелей, проложенных в воздухе.

Сечение кабеля выбираем по таблице [25] $F=120\text{мм}^2$

Кабель ВВГнг 4х120

Потери напряжения в L1 : $\Delta U_{L1} = \frac{M_{L1}}{C \cdot S_{L1}} = \frac{9318,4}{72 \cdot 120} = 1,08\%$

Остаточные потери для дальнейших расчётов

$$\Delta U_{ост} = \Delta U - \Delta U_{L1} = 8,27 - 1,08 = 7,19\%$$

Расчёт моментов и выбор сечения кабеля ЩО-4

Сечение проводов (S, мм²) сети рассчитывается по формуле :

$$S = \frac{\Sigma M + \alpha \Sigma m}{C \cdot \Delta U} \quad (A5)$$

где ΣM – сумма моментов рассчитываемого участка и последующих с одинаковым числом проводов, кВт*м; Σm – сумма моментов ответвлений, кВт*м; α – коэффициент приведения моментов; C – коэффициент, зависящий от характеристики сети; ΔU – допустимые потери напряжения сети, %.

Таблица А4 - Коэффициент приведения моментов α .

Линия	Ответвление	Значение коэффициента α
Трёхфазная с нулем	однофазное	1,85
Трёхфазная с нулем	Однофазное с нулем	1,39
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трёхфазная	двухфазное	1,15
Примечание: Если линия и ответвление имеют одинаковые исполнения, то $\alpha = 1$		

Группа (1.2.3) (3Ф)

К Гр. (1.2.3) подключено 40 светильников ARS/R с люминесцентными лампами $P_{св}=0,072$ кВт

$$P_{Гр(1.2.3)}=48 \cdot P_{св} \cdot K_{пра}=40 \cdot 0,072 \cdot 1,2=3,456 \text{ кВт}$$

Длина пятипроводной линии до трёхпроводных ответвлений Гр.1,Гр.2,Гр.3 $L=13,2\text{м}$.

$$\text{Момент до ответвления } M = P_{Гр(1.2.3)} \cdot L = 3,456 \cdot 13,2 = 45,62 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.1 $l_1=1,96$ м. $P_1=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт

$$m_1 = l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 5,26 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.2 $l_1=3,98$ м. $P_1=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт

$$m_2 = l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 6,04 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.3 $l_1=9,5$ м. $P_1=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт

$$m_3 = l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 11,76 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Находим приведённый момент по формуле:

$$M_{\text{пр}} = \sum M + \sum \alpha \cdot m$$

для однофазного ответвления $\alpha=1,39$

$$M_{\text{пр}(1,2,3)} = 45,62 + 1,39(5,26 + 6,04 + 11,76) = 77,67 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

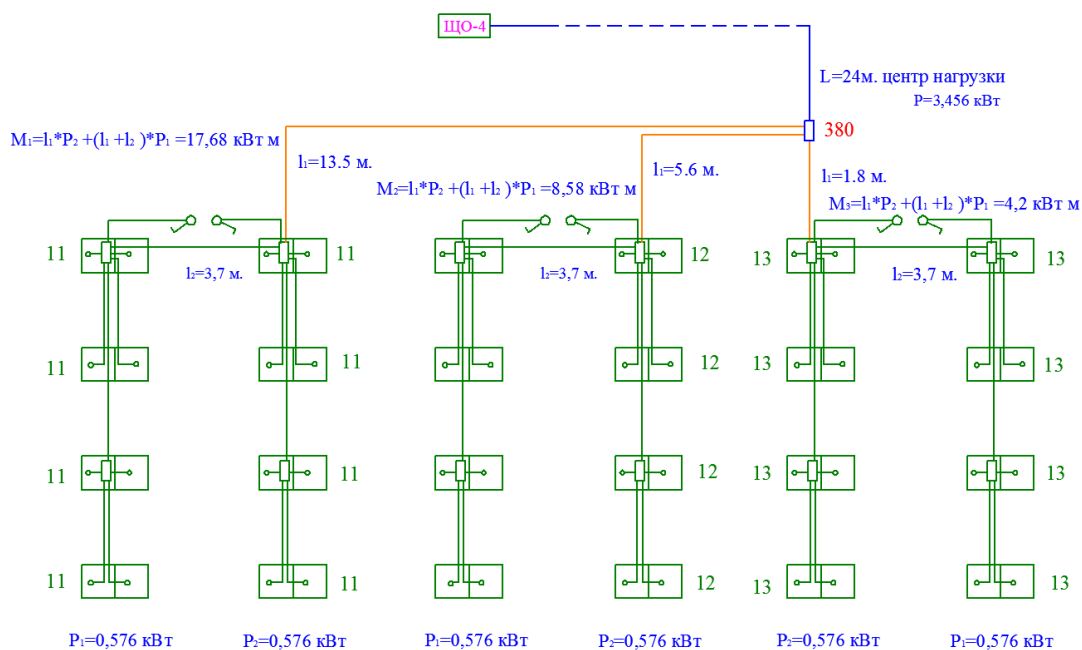


Рисунок А2 – Пример расчета моментов групповых линий

Группа 4 (1Ф)

К Гр. 4 подключено 12 светильников ARS/R с люминесцентными лампами $P_{\text{св}}=0,072$ кВт

$$P_{\text{Гр}4} = 12 \cdot P_{\text{св}} \cdot K_{\text{пра}} = 12 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 1,036 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=13,7\text{м}$.

$$M_4 = P_{\text{Гр}4} \cdot l = 1,036 \cdot 13,7 = 14,2 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Группа 5 (1Ф)

К Гр. 5 подключено 12 светильников ARS/R с люминесцентными лампами $P_{\text{св}} = 0,072 \text{ кВт}$

$$P_{\text{Гр}5} = 12 \cdot P_{\text{св}} \cdot K_{\text{пра}} = 12 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 1,036 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=9,53\text{м}$.

$$M_5 = P_{\text{Гр}5} \cdot l = 1,036 \cdot 9,53 = 9,87 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Группа 6 (1Ф)

К Гр. 6 подключено 12 светильников ARS/R с люминесцентными лампами $P_{\text{св}} = 0,072 \text{ кВт}$

$$P_{\text{Гр}6} = 12 \cdot P_{\text{св}} \cdot K_{\text{пра}} = 12 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 1,036 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=15,6\text{м}$.

$$M_6 = P_{\text{Гр}6} \cdot l = 1,036 \cdot 15,6 = 16,16 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Группа 7 (1Ф)

К Гр. 7 подключено 16 светильников ARS/R с люминесцентными лампами $P_{\text{св}} = 0,072 \text{ кВт}$

$$P_{\text{Гр}7} = 16 \cdot P_{\text{св}} \cdot K_{\text{пра}} = 16 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 1,382 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=8,1\text{м}$.

$$M_7 = P_{\text{Гр}7} \cdot l = 1,382 \cdot 8,1 = 11,19 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Группа (8.9.10) (3Ф)

К Гр. (8.9.10) подключено 37 светильников ARS/R с люминесцентными лампами $P_{\text{св}} = 0,072 \text{ кВт}$

$$P_{\text{Гр}(8.9.10)} = 37 \cdot P_{\text{св}} \cdot K_{\text{пра}} = 38 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 3,19 \text{ кВт}$$

Длина пяти проводной линии до трёхпроводных ответвлений Гр.8, Гр.9, Гр.10 $L=20,6\text{м}$.

$$\text{Момент до ответвления } M = P_{\text{Гр}(8.9.10)} \cdot L = 3,19 \cdot 20,6 = 65,8 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.8 $l_1=1,7 \text{ м}$. $P_1=0,504 \cdot 1,2 = 0,638 \text{ кВт}$ $l_2=3,7 \text{ м}$. $P_2=0,432 \cdot 1,2 = 0,518 \text{ кВт}$

$$m_1 = l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 4,33 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.9 $l_1=4,1$ м. $P_1=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт

$$m_2=l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 6,16 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.10 $l_1=9,8$ м. $P_1=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,432 \cdot 1,2 = 0,518$ кВт

$$m_3=l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 12,07 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Находим приведённый момент по формуле:

$$M_{\text{пр}} = \sum M + \sum \alpha \cdot m \quad (\text{А6})$$

для однофазного ответвления $\alpha=1,39$

$$M_{\text{пр}(8.9.10)} = 65,8 + 1,39(4,33 + 6,16 + 12,07) = 97,15 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Группа (11.12.13) (3Ф)

К Гр. (11.12.13) подключено 48 светильников ARS/R с люминисцентными лампами $P_{\text{св}} = 0,072$ кВт

$$P_{\text{Гр}(11.12.13)} = 48 \cdot P_{\text{св}} \cdot K_{\text{пра}} = 48 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 4,15 \text{ кВт}$$

Длина пятипроводной линии до трёхпроводных ответвлений Гр.11, Гр.12, Гр.13 $L=24$ м.

$$\text{Момент до ответвления } M = P_{\text{Гр}(11.12.13)} \cdot L = 4,15 \cdot 24 = 99,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.11 $l_1=13,5$ м. $P_1=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт

$$m_1=l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 21,21 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.12 $l_1=5,6$ м. $P_1=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт

$$m_2=l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 10,29 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Для Гр.13 $l_1=1,8$ м. $P_1=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт $l_2=3,7$ м. $P_2=0,576 \cdot 1,2 = 0,691$ кВт

$$m_3=l_1 \cdot P_2 + (l_1 + l_2) \cdot P_1 = 5,04 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Находим приведённый момент по формуле (А6):

для однофазного ответвления $\alpha=1,39$

$$M_{\text{пр}(11,12,13)} = 99,6 + 1,39(21,21 + 10,29 + 5,04) = 150,39 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Группа 14 (1Ф)

К Гр. 14 подключено 16 светильников ARS/R с люминисцентными лампами $P_{св}=0,072$ кВт

$$P_{Гр14}=16 \cdot P_{св} \cdot K_{пра}=16 \cdot 0,072 \cdot 1,2=1,382 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=21,8$ м.

$$M_{14}=P_{Гр14} \cdot l = 1,382 \cdot 21,8=30,13 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Группа 15 (1Ф)

К Гр. 15 подключено 63 светильника LINE 428 с люминисцентной лампой $P_{св}=0,028$ кВт

$$P_{Гр15}=63 \cdot P_{св} \cdot K_{пра}=63 \cdot 0,028 \cdot 1,2=2,11 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=10,4$ м.

$$M_{15}=P_{Гр15} \cdot l = 2,11 \cdot 10,4=22,01 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Группа 16 (1Ф)

К Гр. 16 подключено 63 светильника LINE 428 с люминисцентной лампой $P_{св}=0,028$ кВт

$$P_{Гр16}=63 \cdot P_{св} \cdot K_{пра}=63 \cdot 0,028 \cdot 1,2=2,11 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=23,5$ м.

$$M_{16}=P_{Гр16} \cdot l = 2,11 \cdot 23,5=49,58 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Группа 17 (1Ф)

К Гр. 17 подключено 40 точечных светильников с лампой накаливания $P_{св}=0,035$ кВт

$$P_{Гр17}=40 \cdot P_{св} =40 \cdot 0,035=1,4 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=16,8$ м.

$$M_{17}=P_{Гр17} \cdot l = 1,4 \cdot 16,8=23,52 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Группа 18 (1Ф)

К Гр. 18 подключено 10 светильников ARS/R с люминисцентными лампами $P_{св}=0,072$ кВт

$$P_{Гр18}=10 \cdot P_{св} \cdot K_{пра}=10 \cdot 0,072 \cdot 1,2=0,864 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l=13,5$ м.

$$M_{18}=P_{Гр18} \cdot l = 0,864 \cdot 13,5=11,66 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Группа 19 (1Ф)

К Гр. 19 подключено 13 светильников ARS/R с люминисцентными лампами $P_{св} = 0,072$ кВт

$$P_{Гр19} = 13 \cdot P_{св} \cdot K_{пра} = 13 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 1,123 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l = 16,3$ м.

$$M_{19} = P_{Гр19} \cdot l = 1,123 \cdot 16,3 = 18,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Группа 20 (1Ф)

К Гр. 20 подключено 10 светильников ARS/R с люминисцентными лампами $P_{св} = 0,072$ кВт

$$P_{Гр20} = 10 \cdot P_{св} \cdot K_{пра} = 10 \cdot 0,072 \cdot 1,2 = 0,864 \text{ кВт}$$

Длина трёхпроводной линии до центра нагрузки $l = 23,4$ м.

$$M_{20} = P_{Гр20} \cdot l = 0,864 \cdot 23,4 = 20,21 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Расчёт сведём в таблицу 8.7

Ввод до щитка рабочего освещения ЩО-4 :

$P_p = 25,16$ кВт. P_p - расчётная нагрузка

Длина линии от ШРС-1 до ЩО-4 $l_0 = 24$ м.

Тогда $M_0 = P_p \cdot l_0 = 25,16 \cdot 24 = 603,8 \text{ кВт}\cdot\text{м}$

Таблица А5 - Расчётная таблица моментов линий для ЩО-4

ЩО-4 (24 гр.)
2 Этаж
(ЩРН-24з-2 36 УХЛЗ)

Длина L
5ти пров.
линии до
3х проводн.

№ Гр.	Длина кабеля 3x1,5	кол-во свет.	Рсвет. кВт	COS ф	Рр кВт с учётом ПРА=1,2	или 3х проводн. до центра нагрузки	Коэф. ПРА	Длина L и R участка линии				Момент линии	Ток А	S кВА
								L1	P1	L2	P2			
1	59,56	16	0,072	0,92	1,3824		1,2	1,96	0,576	3,7	0,576		6,83	1,503
2	54,58	12	0,072	0,92	1,0368	13,2	1,2	3,98	0,432	3,7	0,432	77,70	5,12	1,127
3	69,08	12	0,072	0,92	1,0368		1,2	9,5	0,432	3,7	0,432		5,12	1,127
4	44,31	12	0,072	0,92	1,0368	13,7	1,2					14,20	5,12	1,127
5	36,58	12	0,072	0,92	1,0368	9,53	1,2					9,88	5,12	1,127
6	49,54	12	0,072	0,92	1,0368	15,6	1,2					16,17	5,12	1,127
7	40,45	16	0,072	0,92	1,3824	8,1	1,2					11,20	6,83	1,503
8	71,35	13	0,072	0,92	1,1232		1,2	1,7	0,504	3,7	0,432		5,55	1,221
9	73,39	12	0,072	0,92	1,0368	20,6	1,2	4,1	0,432	3,7	0,432	96,54	5,12	1,127
10	87,26	12	0,072	0,92	1,0368		1,2	9,8	0,432	3,7	0,432		5,12	1,127
11	109,07	16	0,072	0,92	1,3824		1,2	13,5	0,576	3,7	0,576		6,83	1,503
12	90,89	16	0,072	0,92	1,3824	24	1,2	5,6	0,576	3,7	0,576	150,36	6,83	1,503
13	83,17	16	0,072	0,92	1,3824		1,2	1,8	0,576	3,7	0,576		6,83	1,503
14	71,12	16	0,072	0,92	1,3824	21,8	1,2					30,14	6,83	1,503
15	46,81	63	0,028	0,95	2,1168	10,4	1,2					22,01	10,13	2,228
16	81,05	63	0,028	0,95	2,1168	23,5	1,2					49,74	10,13	2,228
17	60,22	40	0,035	1	1,4	16,8	1					23,52	6,36	1,400
18	56,58	10	0,072	0,92	0,864	13,5	1,2					11,66	4,27	0,939
19	73,62	13	0,072	0,92	1,1232	16,3	1,2					18,31	5,55	1,221
20	94,98	10	0,072	0,92	0,864	23,4	1,2					20,22	4,27	0,939
21														
Вводной кабель (ввод от ШРС-1 до ЩС-4)					25,16	24						603,84		
Сумма моментов 3ф линии + сумма моментов 1ф линии*1,39									1244					

Находим сечение вводного проводника по потерям напряжения

$$\Delta U = 7,19\%$$

$$S = \frac{M_1 + \alpha \cdot m_2}{C \cdot \Delta U} \quad (A7)$$

$$\Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m = 1244 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$S = \frac{\Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m}{C \cdot \Delta U} = \frac{\Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m}{72 \cdot 7,19} = 2,4 \text{ мм}^2$$

Выбор сечения вводного проводника по нагреву для ЩО-4

$P_p = P_{гр1,2,3} + P_{гр8,9,10} + P_{гр11,12,13} = 3,456 + 3,196 + 4,147 = 10,8$ кВт (трёхфазная нагрузка) для трёхфазной сети

$$I = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} \quad (A8)$$

$$I_1 = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{10,8}{1,732 \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 17,83 \text{ А}$$

$P_{гр4} = 1,0386$ кВт (однофазная нагрузка) $\cos \varphi = 0,92$

для однофазной сети

$$I = \frac{P_p}{U_{номф} \cdot \cos \varphi} \quad (A9)$$

Для гр.17 $\cos \varphi = 1$ (лампы накаливания)

Проведём расчёт для остальных групповых линий

$I_{гр4} = 5,12 \text{ А}$ фаза А $I_{гр5} = 5,12 \text{ А}$ фаза В $I_{гр6} = 5,12 \text{ А}$ фаза С

$I_{гр7} = 6,83 \text{ А}$ фаза А $I_{гр14} = 6,83 \text{ А}$ фаза В $I_{гр15} = 10,13 \text{ А}$ фаза С

$I_{гр16} = 10,13 \text{ А}$ фаза А $I_{гр17} = 6,36 \text{ А}$ фаза В $I_{гр18} = 4,27 \text{ А}$ фаза С

$I_{гр19} = 5,55 \text{ А}$ фаза А $I_{гр20} = 4,27 \text{ А}$ фаза В

Ток наиболее загруженной фазы будет равен

$$I_1 + I_{гр4} + I_{гр7} + I_{гр16} + I_{гр19} = 17,83 + 5,12 + 6,83 + 10,13 + 5,55 = 45,46 \text{ А}$$

Выбираем кабель ВВГ 5х10мм² по [25] .

Потери напряжения

Используемые формулы:

$$S = \frac{M_{гр}}{C \cdot \Delta U_{ост}} ; \Delta U_{ост} = \Delta U - \Delta U_{л} ; \Delta U_{л} = \frac{M_{л}}{C \cdot S_{л}} \quad (A10)$$

Линия Л1.4 от ШРС-1 до ЩО-4 рис.8.1

$M_{Л1.4} = 603,84 \text{ кВт}\cdot\text{м}$; $\Delta U = 7,19\%$ $C = 72$ для 3х фазной линии.

$S_{Л1.4} = 10 \text{ мм}^2$

Потери напряжения $\Delta U_{Л1.4} = \frac{M_{Л1.4}}{C \cdot S_{Л1.4}} = \frac{603,8}{72 \cdot 10} = 0,961\%$

$\Delta U_{Л1.4} = 0,961\%$

$\Delta U_{\text{ост}} = 7,19 - 0,961 = 6,229\%$

Расчёт моментов и выбор сечения кабеля ЩО-5

Расчёты моментов групп для ЩО-5 сводим в таблицу 8.8

Ввод до щитка рабочего освещения ЩО-5 :

$P_p = 27,15 \text{ кВт}$. P_p - расчётная нагрузка

Длина линии от ШРС-1 до ЩО-5 $l_0 = 25 \text{ м}$.

Тогда $M_0 = P_p \cdot l_0 = 27,15 \cdot 25 = 678,67 \text{ кВт}\cdot\text{м}$

Находим сечение вводного проводника по потерям напряжения

$\Delta U = 7,19\%$

$\Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m = 1579 \text{ кВт}\cdot\text{м}$

$S = \frac{\Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m}{C \cdot \Delta U} = \frac{1579}{72 \cdot 7,19} = 3,05 \text{ мм}^2$

Выбор сечения вводного проводника по нагреву для ЩО-5

$P_p = P_{\text{Гр}1,2,3} + P_{\text{Гр}4,5,6} + P_{\text{Гр}7,8,9} + P_{\text{Гр}11,12,13} + P_{\text{Гр}15,16,17} =$

$= 3,757 + 3,757 + 2,911 + 3,85 = 14,275 \text{ кВт}$

Для трёхфазной сети

$I = 23,32 \text{ А}$

Проведём расчёт для остальных групповых линий

$I_{\text{Гр}10} = 4,7 \text{ А}$ фаза А $I_{\text{Гр}14} = 2,99 \text{ А}$ фаза В $I_{\text{Гр}15} = 7,88 \text{ А}$ фаза С

$I_{\text{Гр}16} = 5,09 \text{ А}$ фаза А $I_{\text{Гр}17} = 5,09 \text{ А}$ фаза В $I_{\text{Гр}18} = 7,8 \text{ А}$ фаза С

$I_{\text{Гр}19} = 4,77 \text{ А}$ фаза А $I_{\text{Гр}20} = 8,16 \text{ А}$ фаза В $I_{\text{Гр}21} = 2,55 \text{ А}$ фаза С

$I_{\text{Гр}22} = 4,27 \text{ А}$ фаза А $I_{\text{Гр}23} = 4,27 \text{ А}$ фаза В $I_{\text{Гр}24} = 4,7 \text{ А}$ фаза С

$I_{\text{Гр}25} = 4,27 \text{ А}$ фаза А

Ток наиболее загруженной фазы будет равен

$$I_{гр10} + I_{гр16} + I_{гр19} + I_{гр22} + I_{гр25} = 23,32 + 4,7 + 5,09 + 4,77 + 4,27 = 46,42 \text{ А}$$

Выбираем кабель ВВГ 5x10мм² .

Потери напряжения

Используемые формулы:

$$S = \frac{M_{гр}}{C \cdot \Delta U_{ост}} ; \Delta U_{ост} = \Delta U - \Delta U_{л} ; \Delta U_{л} = \frac{M_{л}}{C \cdot S_{л}}$$

Линия Л1.5 от ШРС-1 до ЩО-4 рисунок А1.

$M_{л1.5} = 678,67 \text{ кВт}\cdot\text{м}$; $\Delta U = 7,19\%$ $C = 72$ для 3х фазной линии.

$S_{л1.5} = 10 \text{ мм}^2$

$$\text{Потери напряжения } \Delta U_{л1.5} = \frac{M_{л1.5}}{C \cdot S_{л1.5}} = \frac{678,67}{72 \cdot 10} = 0,942\%$$

$$\Delta U_{ост} = 7,19 - 0,942 = 6,248\%$$

Таблица А9 - Расчётная таблица моментов групповых линий ЩО-5

№ Гр.	Длина кабеля	кол-во свет.	Рсвет. кВт	COS φ	Pp кВт с учётом ПРА=1,2	Длина L	Коэф. ПРА	Длина L и P участка линии				Момент линии	Ток А	S кВА	
								L1	P1	L2	P2				
1	42,04	12	0,072	0,92	1,0368	17,4	1,2	5,5	0,432	3,7	0,432	89,20	5,12	1,127	
2	54,53	12	0,072	0,92	1,0368		1,2	0,5	0,432	3,7	0,432		5,12	1,127	
3	82,26	16	0,072	0,92	1,3824		1,2	6	0,576	3,7	0,576		6,83	1,503	
4	72,71	16	0,072	0,92	1,3824	14,3	1,2	5,4	0,576	3,7	0,576	87,36	6,83	1,503	
5	54,99	12	0,072	0,92	1,0368		1,2	3,46	0,432	3,8	0,432		5,12	1,127	
6	68,17	12	0,072	0,92	1,0368		1,2	9,4	0,432	3,8	0,432		5,12	1,127	
7	83,17	11	0,072	0,92	0,9504	22	1,2	7	0,792			86,09	4,70	1,033	
8	71,35	10	0,072	0,92	0,864		1,2	3,2	0,432	2,6	0,288		4,27	0,939	
9	84,76	10	0,072	0,92	0,864		1,2	8,6	0,432	2,6	0,288		4,27	0,939	
10	102,25	11	0,072	0,92	0,9504	36,2	1,2					34,40	4,70	1,033	
11	126,57	12	0,072	0,92	1,0368	37	1,2	10	0,288	2,2	0,576	165,38	5,12	1,127	
12	98,39	13	0,072	0,92	1,1232		1,2	0,5	0,576	6,2	0,36		5,55	1,221	
13	84,07	16	0,072	0,92	1,3824		1,2	3,9	0,576	3,7	0,576		6,83	1,503	
14	54,99	7	0,072	0,92	0,6048	10,5	1,2					6,35	2,99	0,657	
15	110,89	49	0,028	0,95	1,6464	30,2	1,2					49,72	7,88	1,733	
16	69,76	32	0,035	1	1,12	26,2	1					29,34	5,09	1,120	
17	54,99	32	0,035	1	1,12	19,8	1					22,18	5,09	1,120	
18	82,71	49	0,035	1	1,715	16,2	1					27,78	7,80	1,715	
19	102,93	30	0,035	1	1,05	33,7	1					35,39	4,77	1,050	
20	79,53	49	0,029	0,95	1,7052	14,8	1,2					25,24	8,16	1,795	
21	37,27	16	0,035	1	0,56	8,3	1					4,65	2,55	0,560	
22	92,71	10	0,072	0,92	0,864	24,2	1,2					20,91	4,27	0,939	
23	84,98	10	0,072	0,92	0,864	9	1,2					7,78	4,27	0,939	
24	108,39	11	0,072	0,92	0,9504	36,3	1,2					34,50	4,70	1,033	
25	62,26	10	0,072	0,92	0,864	12,6	1,2					10,89	4,27	0,939	
Вводной кабель (ввод от ШРС-1 до ЩС-5)					27,147	25						678,675			
								Сумма моментов 3ф линии +							
								сумма моментов 1ф линии*1,39		1536					

Выбор сечения проводников групповых линий

Выбор сечения проводника для ЩО-4

Группа 1.2.3 (3Ф)

$$P_{гр1.2.3}=3,456 \text{ кВт}$$

$$M_{1.2.3} = 77,7 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$S = \frac{M_{гр}}{C \cdot \Delta U_{ост}} = \frac{77,7}{72 \cdot 6,229} = 0,173 \text{ мм}^2$$

Выбор сечения проводника по нагреву

$$P_p = P_{гр1.2.3} \text{ (трёхфазная нагрузка) } \cos\varphi = 0,92$$

Для трёхфазной сети по формуле находим ток $I = 5,7 \text{ А}$

Выбираем кабель ВВГ 5x1,5 мм² .

$$\Delta U_{(1.2.3)} = \Delta U_{л} = \frac{M_{л}}{C \cdot S_{л}} = \frac{77,7}{72 \cdot 1,5} = 0,719\%$$

Группа 4 (1Ф)

$$P_{гр4} = 1,036$$

$$M_4 = 14,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Коэффициент С для однофазной сети = 12

$$S = \frac{M_{гр}}{C \cdot \Delta U_{ост}} = \frac{14,2}{12 \cdot 6,229} = 0,189 \text{ мм}^2$$

Выбор сечения проводника по нагреву

$$P_{гр3} = 1,038 \text{ кВт (однофазная нагрузка) } \cos\varphi = 0,92$$

Для однофазной сети $I = 5,12 \text{ А}$

Выбираем кабель ВВГ 3x1,5 мм² .

$$\Delta U_{(4)} = 0,789\%$$

Выбор сечения для остальных групп сводим в таблицу 8.9

Выбор сечения проводника для ЩО-5

Сечения проводников групповых линий для ЩО-5 рассчитываем так же как и для ЩО-4 и сводим их в таблицу А7 и А8

Таблица А7 - Расчёт сечения кабеля и выбор АВ ЩО-4

№ Гр.	Ввод	Груп.Автомат		Кабель	Потребитель	Рр кВт с учётом ПРА=1,2	COS ф	Момент линии	Ток А	Коэф. С	Sмм² по потерям	ΔU% потери в линии	Г-Кз Кз=1,25	Фаза
	50А	3Р		ВВГ 5x10	L=24м.									
1		10А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(203)	1,3824	0,92	77,70	6,83	72	0,173	0,719	8,538	А
2		8А	1Р		Осв.Бутик(208,209)	1,0368	0,92		5,12				В	
3		8А	1Р		Осв.Бутик(220,221)	1,0368	0,92		5,12				С	
4		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Бутик(212,217)	1,0368	0,92	14,20	5,12	12	0,190	0,789	6,403	А
5		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Бутик(210,211)	1,0368	0,92	9,88	5,12	12	0,132	0,549	6,403	В
6		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Бутик(218,219)	1,0368	0,92	16,17	5,12	12	0,216	0,899	6,403	С
7		10А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Бутик(201,202)	1,3824	0,92	11,20	6,83	12	0,150	0,622	8,538	А
8		8А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(204,205)	1,1232	0,92	96,54	5,55	72	0,215	0,894	6,937	В
9		8А	1Р		Осв.Бутик(206,207)	1,0368	0,92		5,12				С	
10		8А	1Р		Осв.Бутик(222,223)	1,0368	0,92		5,12				А	
11		10А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(224,225)	1,3824	0,92	150,36	6,83	72	0,335	1,392	8,538	В
12		10А	1Р		Осв.Бутик(226,227)	1,3824	0,92		6,83				С	
13		10А	1Р		Осв.Бутик(228,229)	1,3824	0,92		6,83				А	
14		10А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Бутик(230,231)	1,3824	0,92	30,14	6,83	12	0,403	1,674	8,538	В
15		13А	1Р	ВВГ 3x1,5	Встр.Свет.Кор	2,1168	0,95	22,01	10,13	12	0,295	1,223	12,660	С
16		13А	1Р	ВВГ 3x1,5	Встр.Свет.Кор	2,1168	0,95	49,74	10,13	12	0,666	2,764	12,660	А
17		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Точки (Холл)	1,4	1	23,52	6,36	12	0,315	1,307	7,955	В
18		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Коридор	0,864	0,92	11,66	4,27	12	0,156	0,648	5,336	С
19		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Коридор	1,1232	0,92	18,31	5,55	12	0,245	1,017	6,937	А
20		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Коридор	0,864	0,92	20,22	4,27	12	0,270	1,123	5,336	В
21		10А	1Р		Резерв									С
Вводной кабель (ввод от ШРС-1 до ШС-4)						25,16		603,84		72				

Таблица А8 - Расчёт сечения кабеля и выбор АВ ЩО-5

№ Гр.	Ввод	Груп.Автомат		Кабель	Потребитель	Рр кВт с учётом ПРА=1,2	COS ф	Момент линии	Ток А	Коэф. С	Sмм² по потерям	ΔU% потери в линии	Г-Кз Кз=1,25	Фаза
	50А	3Р		ВВГ 5x10	L=25м.									
1		8А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(213,214)	1,0368	0,92	89,20	5,12	72	0,20	0,826	6,403	А
2		8А	1Р		Осв.Бутик(215,216)	1,0368	0,92		5,12					В
3		10А	1Р		Осв.Бутик(232,233)	1,3824	0,92		6,83					С
4		10А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(246,247)	1,3824	0,92	87,36	6,83	72	0,19	0,809	8,538	А
5		8А	1Р		Осв.Бутик(242,243)	1,0368	0,92		5,12					В
6		8А	1Р		Осв.Бутик(240,241)	1,0368	0,92		5,12					С
7		6А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(245)	0,9504	0,92	86,09	4,70	72	0,19	0,797	5,870	А
8		6А	1Р		Осв.Бутик(244)	0,864	0,92		4,27					В
9		6А	1Р		Осв.Бутик(239)	0,864	0,92		4,27					С
10		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Бутик(238)	0,9504	0,92	34,40	4,70	12	0,46	1,911	5,870	А
11		8А	1Р	ВВГ 5x1,5	Осв.Бутик(238)	1,0368	0,92	165,38	5,12	72	0,37	1,531	6,403	В
12		8А	1Р		Осв.Бутик(236,237)	1,1232	0,92		5,55					С
13		10А	1Р		Осв.Бутик(234,235)	1,3824	0,92		6,83					А
14		4А	1Р	ВВГ 3x1,5	Подсобки.Туалет	0,6048	0,92	6,35	2,99	12	0,08	0,353	3,735	В
15		10А	1Р	ВВГ 3x1,5	Встр.Свет.Кор	1,6464	0,95	49,72	7,88	12	0,66	2,762	9,847	С
16		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Точки (Холл)	1,12	1	29,34	5,09	12	0,39	1,630	6,364	А
17		8А	1Р	ВВГ 3x1,5	Точки (Холл)	1,12	1	22,18	5,09	12	0,30	1,232	6,364	В
18		10А	1Р	ВВГ 3x1,5	Подсв. (Эскалатор)	1,715	1	27,78	7,80	12	0,37	1,544	9,744	С
19		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Точки (Коридор)	1,05	1	35,39	4,77	12	0,47	1,966	5,966	А
20		13А	1Р	ВВГ 3x1,5	Встр.Свет.Кор	1,7052	0,95	25,24	8,16	12	0,34	1,402	10,199	В
21		4А	1Р	ВВГ 3x1,5	Точки (Холл)	0,56	1	4,65	2,55	12	0,06	0,258	3,182	С
22		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Коридор	0,864	0,92	20,91	4,27	12	0,28	1,162	5,336	А
23		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Холл	0,864	0,92	7,78	4,27	12	0,10	0,432	5,336	В
24		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Коридор	0,9504	0,92	34,50	4,70	12	0,46	1,917	5,870	С
25		6А	1Р	ВВГ 3x1,5	Осв.Коридор	0,864	0,92	10,89	4,27	12	0,15	0,605	5,336	А
26		10А	1Р		Резерв									В
27		10А	1Р		Резерв									С
Вводной кабель (ввод от ШРС-1 до ЩС-5)						27,17		678,68		72				

Выбор аппаратуры защиты

Автоматический выключатель для вводного кабеля щитка рабочего освещения ЩО-4. Аппараты защиты должны обеспечить отключение сети в случае возникновения КЗ.

Ток установки автоматов определяется по соотношению

$$I_{ном} = k_3 \cdot I_p \quad (A11)$$

где $I_{ном}$ – ток аппарата защиты, А;

I_p – расчетный ток защищаемой группы, А;

k_3 – отношение номинального тока установки теплового расцепителя автомата к рабочему току линии.

Рабочий ток на вводном кабеле ЩО-4 рабочего освещения равен $I=45,46$ А

Принимаем $k_3 = 1$ по [26]

$$I_p = 45,46 \text{ А}$$

$$I_{ном} = 1 \cdot 45,46 = 45,46 \text{ А}$$

Принимаем по табл.8.11 [27] автомат типа ВА-47 с номинальным током расщепления 50А

Проверяем условие соответствия номинальному току автомата по условию

$$I_{доп} \geq \frac{I_{з.а} \cdot k_3}{k_n}, \quad (A12)$$

где $I_{доп}$ – допустимый ток, А; $I_{з.а}$ – ток аппарата защиты, А; k_3 - кратность допустимого тока проводника по отношению к соответствующему току автомата; k_n – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды; $k_n = 1$ (при температуре 25°С)

$$I_{доп} \geq \frac{50 \cdot 1}{1} = 50 \text{ А} \quad (50 \geq 50 \text{ соблюдается.})$$