

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой _____ А.С. Торопов
подпись, инициалы, фамилия
« _____ » _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код - наименование направления

Развитие распределительной сети объектов жилого района «Первомайский»
Томской области
тема

Руководитель _____ 20__ г. доцент каф. ЭМиАТ, к.т.н. Г.Н.Чистяков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ 20__ г. К.О. Саая
подпись дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ 20__ г. И.А.Кычакова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Абакан 2023

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт –
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
_____ А.С.Торопов

подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 2023г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме выпускной квалификационной работы

Студенту Саая Кан-Демиру Оюн-Ооловичу
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 18-01 (3-18)
(номер)

Специальность 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Развитие распределительной сети объектов жилого района «Первомайский» Томской области

Утверждена приказом по институту № ____ от ____ г.

Руководитель ВКР: Чистяков Г.Н., к.т.н. доцент кафедры «ЭМиАТ»
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР генеральный план территории жилого района «Первомайский» Томской области

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

- 1 Характеристика проектируемого объекта
- 2 Расчет электрических нагрузок в жилом районе
 - 2.1 Выбор напряжения и источников питания электрической сети
 - 2.2 Определение расчетных нагрузок для выбора мощности трансформаторов
 - 2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов
- 3 Расчет схем распределительной сети 10 кВ
 - 3.1 Расчет потокораспределения мощности вариантов распределительной сети 10кВ
 - 3.2 Выбор и проверка проводов в сети 10 кВ и определение потерь мощности и активной энергии в линиях
 - 3.3 Технико-экономическое сравнение двух схем распределительных сетей 10 кВ
 - 3.4 Расчет токов короткого замыкания
 - 3.5 Выбор и проверка оборудования в сети 0,4 кВ
 - 3.6 Оценка качества напряжения в сети
 - 3.7 Расчет уличного освещения в жилом районе

Перечень графического материала:

1. План трасс воздушных линий
2. Однолинейные схемы комплектных трансформаторных подстанций
3. Уличное освещение

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению

подпись

/Г.Н.Чистяков
инициалы, фамилия
/ Саая К.О.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Развитие распределительной сети объектов жилого района «Первомайский» Томской области» содержит 62 страницы текстового документа, 23 использованных источника, 3 листа графического материала.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ОБОРУДОВАНИЕ, КАЧЕСТВО, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, НАДЕЖНОСТЬ, ЭКОНОМИЧНОСТЬ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Объектом исследования является – распределительная сеть объектов жилого района «Первомайский» Томской области.

Актуальность темы состоит в том, что, выполняем проектирование перспективной и востребованной схемы электроснабжения жилого района «Первомайский» Томской области.

Предметом исследования является методы и способы проектирования наиболее экономичной СЭС.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является электроснабжение объектов жилого района «Первомайский» Томской области. В течение проработки выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

- определены расчётные электрические нагрузки;
- выбраны схемы распределения электроэнергии;
- выбрано основное оборудование
- установлено, что система электроснабжения удовлетворяет требованиям надежности и экономичности;
- предложены пути и мероприятия по строительству рациональной, экономически эффективной и актуальной системы электроснабжения.

ABSTRACT

The final qualifying work on the topic "Development of the distribution network of objects of the residential area "Pervomaisky" of the Tomsk region" contains 62 pages of a text document, 23 sources used, 3 sheets of graphic material.

POWER SUPPLY, EQUIPMENT, QUALITY, ELECTRICITY, RELIABILITY, EFFICIENCY, ENERGY SAVING, ENERGY EFFICIENCY.

The object of the study is the distribution network of objects of the residential area "Pervomaisky" of the Tomsk region.

The relevance of the topic lies in the fact that we are designing a promising and in-demand power supply scheme for the residential area "Pervomaisky" of the Tomsk region.

The subject of the study is the methods and methods of designing the most economical SES.

The purpose of the final qualification work is the power supply of objects of the residential area "Pervomaisky" of the Tomsk region. During the study of the final qualifying work, the following results were obtained:

- calculated electrical loads are determined;
- electricity distribution schemes have been selected;
- the main equipment has been selected
- it is established that the power supply system meets the requirements of reliability and efficiency;
- proposed ways and measures for the construction of a rational, cost-effective and relevant power supply system.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Характеристика проектируемого объекта	9
2 Расчет электрических нагрузок в жилом районе	11
2.1 Выбор напряжения и источников питания электрической сети.....	11
2.2 Определение расчетных нагрузок для выбора мощности трансформаторов.....	11
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов	14
3 Расчет схем распределительной сети 10 кВ.....	17
3.1 Расчет потокораспределения мощности вариантов распределительной сети 10 кВ.....	17
3.2 Выбор и проверка проводов в сети 10 кВ и определение потерь мощности и активной энергии в линиях.....	19
3.3 Техничко-экономическое сравнение двух схем распределительных сетей 10 кВ.....	21
3.4 Расчет токов короткого замыкания.....	27
3.4.1 Расчет токов короткого замыкания в устройствах напряжением 10 кВ.....	27
3.4.2 Проверка оборудования напряжением 10 кВ.....	32
3.5 Выбор и проверка оборудования в сети 0,4 кВ	34
3.5.1 Выбор и проверка проводов в сети 0,4 кВ.....	34
3.5.2 Выбор коммутационно-защитного оборудования в сети 0,4 кВ..	38
3.5.3 Расчет токов короткого замыкания в установках напряжением до 1 кВ.....	41
3.5.4 Проверка оборудования на напряжение ниже 1 кВ.....	44
3.5.5 Проверка условий срабатывания защитного аппарата при	

однофазном замыкании в сети напряжением до 1кВ.....	45
3.6 Оценка качества напряжения в сети	49
3.6.1 Максимальный режим.....	49
3.6.2 Минимальный режим.....	52
3.7 Расчет уличного освещения в жилом районе	54
.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей электрической сети является обеспечение устойчивого снабжения электрической энергией потребителей, подсоединенных к этой сети.

Одной из важнейших задач электрификации является обеспечение надежности электроснабжения потребителей жилого района.

Надёжная работа электрической сети, способная обеспечить непрерывное снабжение потребителей энергией требуемого качества и безопасность электроснабжения.

Актуальность выбранной темы состоит в том, что, востребованы расчеты для электрических сетей, питающих потребителей.

Объектом исследования является развитие распределительной сети объектов жилого района «Первомайский» Томской области.

Предметом исследования являются технологии и способы анализа и расчета системы электроснабжения.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является электроснабжение объектов жилого района «Первомайский» Томской области.

В течение работы над ВКР были получены следующие результаты:

- расчет электрических нагрузок в жилом районе;
- определение расчетных параметров, выбор мощности трансформаторов;
- выбор числа трансформаторов и расположения трансформаторных подстанций;
- выбор и проверка проводов в сети 0,4 кВ в жилом районе;
- выбор оборудования в сети 0,4 кВ в жилом районе;

- технико-экономическое сравнение двух схем распределительных сетей 10 кВ;

Практическая значимость исследования обусловлена тем, что теоретические и практические рекомендации могут быть использованы специалистами при строительстве СЭС жилого района.

1 Характеристика проектируемого объекта

Жилые районы являются крупными потребителями электрической энергии, возросло потребление электроэнергии на бытовые нужды за счет увеличения количества различных хозяйственных машин, набора бытовых приборов в домашнем хозяйстве, а так же в результате перехода на электрическое или смешанное отопление.

Система энергоснабжения - это совокупность электрических сетей и трансформаторных подстанций, расположенных на рассматриваемой территории и предназначенных для электроснабжения потребителей. Базовой структурной единицей селитебной зоны является район, на территории которого, кроме групп жилых домов размещаются учреждения повседневного обслуживания населения. Планировка и застройка жилых районов должны обеспечивать наиболее благоприятные условия для быта и отдыха населения, воспитания и образования детей. Но доминирующую часть района составляет жилая зона (коттеджи). Основной задачей проектирования является создание наиболее простой схемы энергоснабжения, наиболее полного использования энергии с наименьшими потерями.

В области энергоснабжения потребителей эти задачи предусматривают повышение уровня проектно-конструкторских разработок, внедрения высоконадежного электрооборудования, снижение непроизводительных расходов электроэнергии при ее передаче, распределении и потреблении.

Питание жилых зон потребителей осуществляется с помощью распределительных сетей напряжения 10кВ [22].

Рассматривается группа объектов жилого района «Первомайский» Томской области, расположенная на западе района.

Проектируемый объект включает в себя коттеджную застройку.

Общая площадь объекта составляет 7540м².

Электроснабжение района осуществляется от существующей ЛЭП-10кВ, запитанной от ПС 110 кВ. Одноцепная ВЛ, провод марки СИП-3.

По степени надежности электроснабжения, проектируемые объекты жилого района «Первомайский» Томской области относятся к III категории потребителей.

Важность качественного электроснабжения коттеджного поселка неопределима. Без этого длительный отдых или проживание в нем не представляется возможным. Строительство поселков такого типа сегодня стремительно наращивает темпы. В связи с этим –растет потребность в грамотной организации их электроснабжения.

2 Расчет электрических нагрузок в жилом районе

2.1 Выбор напряжения и источников питания электрической сети

Электроприемники бытовые, рассчитаны на однофазное напряжение 220 В частоты 50 Гц. Помимо бытовых приемников в коттеджах предусмотрено электроотопление с трехфазным напряжением 380 В, частотой 50 Гц переменного тока. Поэтому для коттеджей принимаем напряжение на вводе 380 В переменного тока с частотой 50 Гц. Потребляемая мощность коттеджа 15 кВт.

Жилой район запитывается от существующей воздушной линии 10 кВ.

2.2 Определение расчетных нагрузок для выбора мощности трансформаторов

Расчет выполним в соответствии с методическими указаниями [15].

Потребляемая мощность коттеджа 15 кВт, $\cos\varphi=0,98$, $\tan\varphi=0,2$.

Для расчета мощности ТП 10/0,4 кВ применяем коэффициент совмещения 0,29 таблица 5 [16].

Таблица 2.1 – Расчетные параметры ТП №1

Наименование	Количество	$P_{уд}$, кВт	$P_{уд\Sigma}$, кВт	K_c	$P_{расч}$, кВт
--------------	------------	----------------	----------------------	-------	------------------

1	2	3	4	5	6
Коттедж 15 кВт	69	15	1035	0,29	300,15
Уличное освещение	60	0,15	9	1	9
Итого с учетом 5% потерь					309,15

Необходимую мощность трансформатора рассчитаем по формуле:

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi, \quad (2.1)$$

где $P_{расч}$ – расчетная мощность, кВт.

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi = 309,15 / 0,98 = 315,5 \text{ кВА.}$$

Принимаем $S_{тр} = 400$ кВА.

Таблица 2.2 – Расчетные параметры ТП №2

Наименование	Количество	$P_{уд}$, кВт	$P_{уд\sum}$, кВт	K_c	$P_{расч}$, кВт
1	2	3	4	5	6
Коттедж 15 кВт	43	15	645	0,29	187,05
Уличное освещение	34	0,15	5,1	1	5,1
Итого с учетом 5% потерь					192,15

Необходимую мощность трансформатора рассчитаем по формуле (2.1):

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi = 192,15 / 0,98 = 196,1 \text{ кВА.}$$

Принимаем мощность трансформатора 250 кВА.

Таблица 2.3 – Расчетные параметры ТП №3

Наименование	Количество	$P_{уд}$, кВт	$P_{уд\Sigma}$, кВт	K_c	$P_{расч}$, кВт
1	2	3	4	5	6
Коттедж 15 кВт	53	15	795	0,29	230,55
Уличное освещение	44	0,15	6,6	1	6,6
Итого с учетом 5% потерь					237,2

Необходимую мощность трансформатора рассчитаем по формуле (2.1):

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi = 237,2 / 0,98 = 242 \text{ кВА.}$$

Принимаем мощность трансформатора 250 кВА.

Таблица 2.4 – Расчетные параметры ТП №4

Наименование	Количество	$P_{уд}$, кВт	$P_{уд\Sigma}$, кВт	K_c	$P_{расч}$, кВт
1	2	3	4	5	6
Коттедж 15 кВт	52	15	780	0,29	226,2
Уличное освещение	43	0,15	6,45	1	6,45
Итого с учетом 5% потерь					232,65

Необходимую мощность трансформатора рассчитаем по формуле (2.1):

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi = 232,65 / 0,98 = 237,4 \text{ кВА.}$$

Принимаем мощность трансформатора 250 кВА.

Таблица 2.5 – Расчетные параметры ТП №5

Наименование	Количество	$P_{уд}$, кВт	$P_{уд\Sigma}$, кВт	K_c	$P_{расч}$, кВт
1	2	3	4	5	6
Коттедж 15 кВт	81	15	1215	0,29	352,35
Уличное освещение	72	0,15	10,8	1	10,8
Итого с учетом 5% потерь					363,2

Необходимую мощность трансформаторов рассчитаем по формуле (2.1):

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi = 363,2 / 0,98 = 370,6 \text{ кВА.}$$

Принимаем мощность трансформаторов 400 кВА.

Таблица 2.6 – Расчетные параметры ТП №6

Наименование	Количество	$P_{уд}$, кВт	$P_{уд\Sigma}$, кВт	K_c	$P_{расч}$, кВт
1	2	3	4	5	6
Коттедж 15 кВт	79	15	1185	0,29	343,65

Окончание таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6
Уличное освещение	70	0,15	10,5	1	10,5
Итого с учетом 5% потерь					354,15

Необходимую мощность трансформаторов рассчитаем по формуле (2.1):

$$S_{тр} = P_{расч} / \cos\varphi = 354,15 / 0,98 = 361,4 \text{ кВА.}$$

Принимаем мощность трансформаторов 400 кВА.

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов

Застройка жилого района относится к III категории по надежности электроснабжения [15]. Основными требованиями при выборе числа трансформаторов являются: надежность электроснабжения, а также минимум приведенных затрат на трансформаторы. Следовательно, устанавливаем однотрансформаторные подстанции.

Коэффициент загрузки определяется по формуле:

$$K_3 = S_{тр} / (n \cdot S_{ном}), \quad (2.2)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$S_{тр}$ – расчетная мощность трансформатора, кВА;

n – количество трансформаторов.

Коэффициент загрузки лежит в пределах $K_3 = 1$.

Коэффициент перегрузки определяется по формуле:

$$K_{пер} = S_{тр} / S_{ном}, \quad (2.3)$$

где $S_{тр}$, $S_{ном}$ как в формуле (2.1).

Коэффициент перегрузки не должен превышать $K_{пер} \leq 1$.

Расчет сведем в таблицу 2.7

Таблица 2.7 – Выбор трансформаторов на подстанциях

№ ТП	$S_{тр}$, кВА	K_3	Марка трансформатора
1	2	3	4
1	315,5	0,79	ТМГ-400/10/0,4
2	196,1	0,78	ТМГ-250/10/0,4
3	242,0	0,97	ТМГ-250/10/0,4
4	237,4	0,95	ТМГ-250/10/0,4
5	370,6	0,93	ТМГ-400/10/0,4
6	361,4	0,90	ТМГ-400/10/0,4

Для всех трансформаторов коэффициенты загрузки соответствуют требованию.

Рассчитаем потери мощности и активной энергии в трансформаторах.

Потери мощности определим по следующим формулам:

$$\Delta P = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{тр}}{S_{ном}} \right)^2, \quad (2.4)$$

$$\Delta Q = n \cdot \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_{\text{НОМ}} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{k\%} \cdot S_{\text{ТР}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ}}}, \quad (2.5)$$

где ΔP_{xx} , ΔP_k , $U_{k\%}$, $I_{xx\%}$ - справочные данные;

n , $S_{\text{ТР}}$, $S_{\text{НОМ}}$ как в формуле (2.1).

Потери активной энергии определим по формуле:

$$\Delta A = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot \tau_{\text{ГОД}} + \tau \cdot \frac{1}{n} \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{\text{ТР}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2, \quad (2.6)$$

где $\tau_{\text{ГОД}}$ – фактическое время работы потребителей в год, $\tau_{\text{ГОД}}=8760$ ч;

τ – время отработанное, $\tau=2988$ ч [21].

Расчет сведем в таблицу 2.8

Таблица 2.8 – Потери мощности и активной энергии в трансформаторах

№ ТП	$n \times S_{\text{ТР-В}}$	ΔP_{xx} , кВт	ΔP_k , кВт	U_k , %	I_{xx} , %	$S_{\text{ТР}}$, кВА	$S_{\text{НОМ}}$, кВА	ΔP , кВт	ΔQ , кВАр	ΔA , МВт·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1x400	1,05	7,6	4,5	2,1	315,5	400	5,8	19,6	23,3
2	1x250	0,82	5,5	4,5	2,3	196,1	250	5,5	12,7	17,3
3	1x250	0,82	5,5	4,5	2,3	242,0	250	7,9	16,3	22,6
4	1x250	0,82	5,5	4,5	2,3	237,4	250	7,7	15,9	22,0
5	1x400	1,05	7,6	4,5	2,1	370,6	400	4,3	16,1	18,9
6	1x400	1,05	7,6	4,5	2,1	361,4	400	4,2	15,7	18,5

Подстанция является одним из самых основных звеньев системы электроснабжения. Поэтому оптимальное размещение подстанций – важнейший вопрос при построении рациональных систем электроснабжения.

При выборе расположения подстанции в застройке коттеджами электрическая нагрузка рассредоточена по отдельным объектам и выбор места

расположения подстанций должен быть связан с архитектурой. Местом установки подстанции будем считать площадки, примыкающие к проезжей части.

3 Расчет схем распределительной сети 10 кВ

3.1 Расчет потокораспределения мощности вариантов распределительной сети 10 кВ

Для электроснабжения жилого района, имеющего электроприемники 3 категории [15], на напряжение 10 кВ рассмотрим два варианта радиально-магистральных схем

а) Рассмотрим I радиально-магистральную схему.

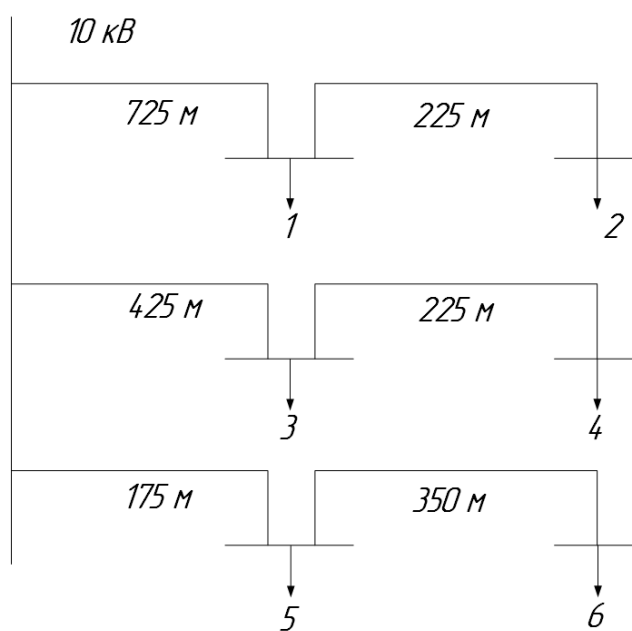


Рисунок 3.1 – I радиально-магистральная схема

Полная мощность на подстанциях.

$$S_1 = 315,5 \text{ кВА} = 309,2 + j62,8;$$

$$S_2 = 196,1 \text{ кВА} = 192,2 + j39;$$

$$S_3 = 242 \text{ кВА} = 237,2 + j48,2;$$

$$S_4 = 237,4 \text{ кВА} = 232,7 + j47,2;$$

$$S_5 = 370,6 \text{ кВА} = 363,2 + j73,7;$$

$$S_6 = 361,4 \text{ кВА} = 354,2 + j71,9;$$

Рассчитаем потоки мощности на участках схемы:

$$S_{5,6} = S_6 = 361,4 \text{ кВА} = 354,2 + j71,9;$$

$$S_{0,5} = S_5 + S_{5,6} = 363,2 + j73,7 + 354,2 + j71,9 = 717,4 + j145,6 = 731,9 \text{ кВА};$$

$$S_{3,4} = S_4 = 232,7 + j47,2 = 237,4 \text{ кВА};$$

$$S_{0,3} = S_{3,4} + S_3 = 232,7 + j47,2 + 237,2 + j48,2 = 469,9 + j95,4 = 479,4 \text{ кВА};$$

$$S_{1,2} = S_2 = 192,2 + j39 = 196,1 \text{ кВА};$$

$$S_{0,1} = S_{1,2} + S_1 = 192,2 + j39 + 309,2 + j62,8 = 501,4 + j101,8 = 511,5 \text{ кВА}.$$

б) Рассмотрим II радиально-магистральную схему.

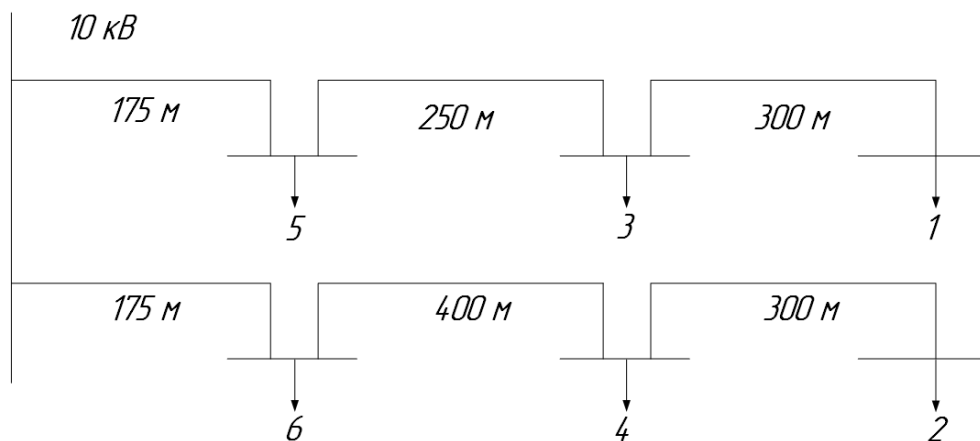


Рисунок 3.2 - II радиально-магистральная схема

Рассчитаем потоки мощности на участках схемы:

$$S_{3,1} = S_1 = 309,2 + j62,8 = 315,5 \text{ кВА};$$

$$S_{5,3} = S_{3,1} + S_3 = 309,2 + j62,8 + 237,2 + j48,2 = 546,4 + j111 = 557,4 \text{ кВА};$$

$$S_{0,5} = S_{3,1} + S_{5,3} + S_5 = 309,2 + j62,8 + 546,4 + j111 + 363,2 + j73,7 = 1218,8 + j222 = 1243,5 \text{ кВА};$$

$$S_{4,2} = S_2 = 192,2 + j39 = 196,1 \text{ кВА};$$

$$S_{6,4} = S_{4,2} + S_4 = 192,2 + j39 + 232,7 + j47,2 = 424,9 + j86,2 = 433,5 \text{ кВА};$$

$$S_{0,6} = S_{4,2} + S_{6,4} + S_6 = 192,2 + j39 + 424,9 + j86,2 + 354,2 + j71,9 = 971,3 + j197,1 = 990,9 \text{ кВА}.$$

3.2 Выбор и проверка проводов в сети 10 кВ и определение потерь мощности и активной энергии в линиях

а) Произведем расчет для I радиально-магистральной схемы.

Выбираем провода СИП марки СИП-3 на напряжение 10 кВ.

Токи рассчитаем по формулам:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n} \cdot K_{\text{п}}, \quad (3.1)$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (3.2)$$

где $K_{\text{п}}$ - поправочный коэффициент при расчетной температуре среды, $K_{\text{п}}=0,9$ [19],

$n=1$ – количество линий.

Расчеты сведем в таблицу 3.1

Таблицы 3.1 – Сечение провода марки СИП-3

Участок	Длина, км	$S_{\text{нагрВЛ}}$, кВА	$I_{\text{раб}}$, А	$I_{\text{ав}}$, А	$I_{\text{доп}}$, А	Сечение
---------	-----------	------------------------------	----------------------	---------------------	----------------------	---------

1	2	3	4	5	6	7
0-5	0,175	731,9	38,1	38,1	175	1x35
5-6.	0,35	361,4	18,8	18,8	175	1x35
0-3.	0,425	479,4	24,9	24,9	175	1x35
3-4.	0,225	237,4	12,4	12,4	175	1x35
0-1.	0,725	511,5	26,6	26,6	175	1x35
1-2.	0,225	196,1	10,2	10,2	175	1x35

Найдем потери напряжения, потери мощности в проводах по формулам, учитывая количество линий $n=1$, потери энергии по формуле:

$$\Delta A = \Delta P \cdot \tau, \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

Расчеты сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет потерь напряжения и мощности

Участок	L, км	I _{раб} , А	cosφ	r _{уд} , Ом /км	x _{уд} , Ом /км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔQ, кВАр	ΔA, МВт·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-5	0,175	38,1	0,98	0,84	0,064	0,0109	3,7	0,278	32,0
5-6.	0,35	18,8	0,98	0,84	0,064	0,0108	0,9	0,068	7,8
0-3.	0,425	24,9	0,98	0,84	0,064	0,0174	1,6	0,119	13,7
3-4.	0,225	12,4	0,98	0,84	0,064	0,0046	0,4	0,029	3,4
0-1.	0,725	26,6	0,98	0,84	0,064	0,0316	1,8	0,136	15,6
1-2.	0,225	10,2	0,98	0,84	0,064	0,0038	0,3	0,020	2,3
Итого									74,8

б) Произведем расчет для II радиально-магистральной схемы.

По формулам (3.1), (3.2) найдем токи. Занесем в таблицу 3.3.

Таблицы 3.3 – Сечение провода марки СИП-3

Участок	Длина, км	S _{нагрВЛ} , кВА	I _{раб} , А	I _{ав} , А	I _{доп} , А	Сечение
1	2	3	4	5	6	7

3-1.	0,3	315,5	16,4	16,4	175	1x35
5-3.	0,25	557,4	29,0	29,0	175	1x35
0-5.	0,175	1243,5	64,7	64,7	175	1x35
4-2.	0,3	196,1	10,2	10,2	175	1x35
6-4.	0,4	433,5	22,6	22,6	175	1x35
0-6.	0,175	990,9	51,6	51,6	175	1x35

Найдем потери напряжения, потери мощности в проводах по формулам учитывая количество линий $n=1$. Расчеты сведем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Расчет мощности и активной энергии

Участок	L, км	I _{раб} , А	cosφ	r _{уд} , Ом /км	x _{уд} , Ом /км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔQ, кВ Ар	ΔA, МВт·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3-1.	0,3	16,4	0,98	0,84	0,064	0,0081	0,7	0,052	5,9
5-3.	0,25	29,0	0,98	0,84	0,064	0,0119	2,1	0,161	18,6
0-5.	0,175	64,7	0,98	0,84	0,064	0,0186	10,5	0,803	92,4
4-2.	0,3	10,2	0,98	0,84	0,064	0,0050	0,3	0,020	2,3
6-4.	0,4	22,6	0,98	0,84	0,064	0,0148	1,3	0,098	11,2
0-6.	0,175	51,6	0,98	0,84	0,064	0,0148	6,7	0,510	58,7
Итого									189,1

$$t_{\text{вкл}}=0,03 \text{ с} , t_{\text{откл}}=0,05 \text{ с}.$$

3.3 Технико-экономическое сравнение двух схем распределительных сетей 10 кВ

Экономичность сопоставляемых вариантов определяется путем сравнения затрат двух вариантов по формуле:

$$Z = E \cdot K + I + \Delta A \cdot c, \quad (3.3)$$

где $E=0,12$ – нормативный коэффициент;

ΔA - годовая стоимость потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах;

I – издержки.

K - величина капитальных затрат;

c – тариф на электроэнергию.

Издержки находятся по формуле:

$$I = (I_a + I_p + I_o) \cdot K, \quad (3.4)$$

где I_a – издержки на амортизацию;

I_p – издержки на ремонт;

I_o – издержки на обслуживание.

Так как схемы электроснабжения отличаются лишь протяженностью ВЛ, то вести полное технико-экономическое сравнение вариантов нецелесообразно. Так как потери электроэнергии в трансформаторах одинаковы для двух схем, то их в расчет не будем включать. Проведем расчет только в отличающейся части схемы.

Расчет стоимости строительства ВЛ 10 кВ:

1. Технические показатели ВЛ:

1.1. Количество линий – одна.

1.2. Марка и сечение провода - СИП-3 1х35.

1.3. Тип опор – железобетонные.

2. Общая характеристика района прохождения ВЛ 10 кВ:

2.1. Месторасположение воздушной линии – Томская область.

I вариант схемы.

Характеристика и технико-экономические показатели ВЛ 10 кВ.

2.2. Протяженность ВЛ:

Участок 0-5 = 0,175 км;

Участок 5-6 = 0,35 км;

Участок 0-3 = 0,425 км;

Участок 3-4 = 0,225 км;

Участок 0-1 = 0,725 км;

Участок 1-2 = 0,225 км.

2.3. Сечение линий: 1х35. Стоимость ВЛ 385,1 тыс.руб./км. [23].

Таблица 3.5 – Расчет затрат на строительство ВЛ 10 кВ

Составляющие затрат	Расчет затрат	Величина затрат, тыс. руб.
1	2	3
Стоимость ВЛ 10 кВ по базисным показателям	67,4+134,8+163,7+86,6+279,2+86,6	818,3
Участок 0-5	385,1·0,175	67,4
Участок 5-6	385,1·0,35	134,8
Участок 0-3	385,1·0,425	163,7
Участок 3-4	385,1·0,225	86,6
Участок 0-1	385,1·0,725	279,2
Участок 1-2	385,1·0,225	86,6
Итого		
Стоимость строительства ВЛ (с учетом затрат сопутствующих строительству 19,1 %*)	818,3·1,191	974,6

Примечание: *19,1% - для напряжений 0,4-10 кВ [23].

Всего: 974,6·1,09 ([23] п. 67 приложения №2) = 1062,4 тыс. руб.

- строительно-монтажные работы

1062,4·0,19·5,85= 1180,8 тыс. руб.,

где 5,85 - индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства (без учета НДС).

- оборудование

$$1062,4 \cdot 0,6 \cdot 3,94 = 2511,4 \text{ тыс. руб.},$$

где 3,94 - индекс изменения сметной стоимости оборудования (без учета НДС).

- пусконаладочные работы

$$1062,4 \cdot 0,04 \cdot 12,64 = 537,1 \text{ тыс. руб.},$$

где 12,64- индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства (без учета НДС).

- прочие затраты

$$1062,4 \cdot 0,17 \cdot 7,74 = 1397,9 \text{ тыс. руб.},$$

$$\text{Всего: } 1180,8 + 2511,4 + 537,1 + 1397,9 = 5627,2 \cdot 1,09 = 6133,6 \text{ тыс. руб.}$$

$$K = 974,6 + 6133,6 = 7108,3 \text{ тыс. руб.}$$

$$I_{\text{ВЛ}} = (I_a + I_p + I_o) \cdot K = (0,01 + 0,025 + 0,02) \cdot 974,6 = 53,6 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\Sigma} = 1529,7 \text{ тыс.руб.}$$

$$\Delta A = 74,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч (табл.3.2).}$$

$$Z_I = E \cdot K + I + \Delta A \cdot c = 0,12 \cdot 7108,3 \cdot 1,18 + 1529,7 \cdot 1,18 + 74,8 \cdot 146 = 13732,4 \text{ тыс.руб.},$$

где НДС = 18%,

$c=1,46 \text{ руб/кВтч} = 146 \text{ руб/МВт}$ – тариф на электроэнергию для сельской местности Томской области [10.].

II вариант схемы.

2.2. Протяженность ВЛ:

Участок 3-1 = 0,3 км;

Участок 5-3 = 0,25 км;

Участок 0-5 = 0,175 км;

Участок 4-2 = 0,3 км;

Участок 6-4 = 0,4 км;

Участок 0-6 = 0,175 км.

2.3. Сечение линий: 1х35

Таблица 3.6 – Расчет затрат на строительство ВЛ 10 кВ

Составляющие затрат	Расчет затрат	Величина затрат, тыс. руб.
1	2	3
Стоимость ВЛ 10 кВ по базисным показателям	$115,5+96,3+67,4+115,5+154+67,4$	616,2
Участок 3-1	$385,1 \cdot 0,3$	115,5
Участок 5-3	$385,1 \cdot 0,25$	96,3
Участок 0-5	$385,1 \cdot 0,175$	67,4
Участок 4-2	$385,1 \cdot 0,3$	115,5
Участок 6-4	$385,1 \cdot 0,4$	154
Участок 0-6	$385,1 \cdot 0,175$	67,4
Итого		
Стоимость строительства ВЛ	$616,2 \cdot 1,191$	733,8

Всего: $733,8 \cdot 1,09$ ([23] п. 67 приложения №2) = 799,9 тыс. руб.

- строительно-монтажные работы

$$799,9 \cdot 0,19 \cdot 5,85 = 889,1 \text{ тыс. руб.},$$

где 5,85 - индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства (без учета НДС).

- оборудование

$$799,9 \cdot 0,6 \cdot 3,94 = 1890,9 \text{ тыс. руб.},$$

где 3,94 - индекс изменения сметной стоимости оборудования (без учета НДС).

- пусконаладочные работы

$$799,9 \cdot 0,04 \cdot 12,64 = 404,4 \text{ тыс. руб.},$$

где 12,64- индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства (без учета НДС).

- прочие затраты

$$799,9 \cdot 0,17 \cdot 7,74 = 1052,5 \text{ тыс. руб.},$$

где 7,74 - индекс изменения сметной стоимости прочих работ и затрат (без учета НДС).

$$\text{Всего: } 889,1 + 1890,9 + 404,4 + 1052,5 = 4237 \cdot 1,09 = 4618,3 \text{ тыс. руб.}$$

$$K = 733,8 + 4618,3 = 5352,1 \text{ тыс. руб.}$$

$$I_{\text{ВЛ}} = (I_a + I_p + I_o) \cdot K = (0,01 + 0,025 + 0,02) \cdot 5352,1 = 294,4 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\Sigma} = 2421,5 \text{ тыс.руб.}$$

$\Delta A = 189,1 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ (таблица 3.4).

$$Z_{II} = E \cdot K + I + \Delta A \cdot c = 0,12 \cdot 5352,1 \cdot 1,18 + 2421,5 \cdot 1,18 + 133,6 \cdot 146 = 23120,8 \text{ тыс.руб.}$$

$c = 1,46 \text{ руб/кВтч} = 146 \text{ руб/МВт}$ – тариф на электроэнергию для сельской местности Томской области [10].

Сравним затраты:

$$(Z_{II} - Z_I) / Z_{II} \cdot 100\% = (23120,8 - 13732,4) / 23120,8 \cdot 100 = 40\%.$$

Выбираем I радиально-магистральную схему по минимуму затрат.

3.4 Расчет токов короткого замыкания

3.4.1 Расчет токов короткого замыкания в устройствах напряжением 10 кВ

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение короткого замыкания (КЗ) в сети или элементах электрооборудования [11].

При возникновении КЗ имеет место увеличения токов в фазах системы электроснабжения или электроустановок по сравнению с их значением в нормальном режиме работы.

Для расчетов тока КЗ составляем расчетную схему системы электроснабжения и на ее основе схему замещения. Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указываем все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Здесь же указываем точки, в которых необходимо определить ток КЗ [11]. Расчет токов КЗ выполняем в относительных единицах. При этом все величины сравниваем с базисными, в качестве которых принимаем базисную мощность S_6 и базисное напряжение U_6 .

Сопротивление элементов системы электроснабжения приводим к базисным условиям. Исходные данные:

Таблица 3.6- Основные данные по ВЛ

Участок	l, км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	F, мм ²
1	2	3	4	5
0-5	0,175	0,84	0,064	35
5-6.	0,35	0,84	0,064	35
0-3.	0,425	0,84	0,064	35
3-4.	0,225	0,84	0,064	35
0-1.	0,725	0,84	0,064	35
1-2.	0,225	0,84	0,064	35

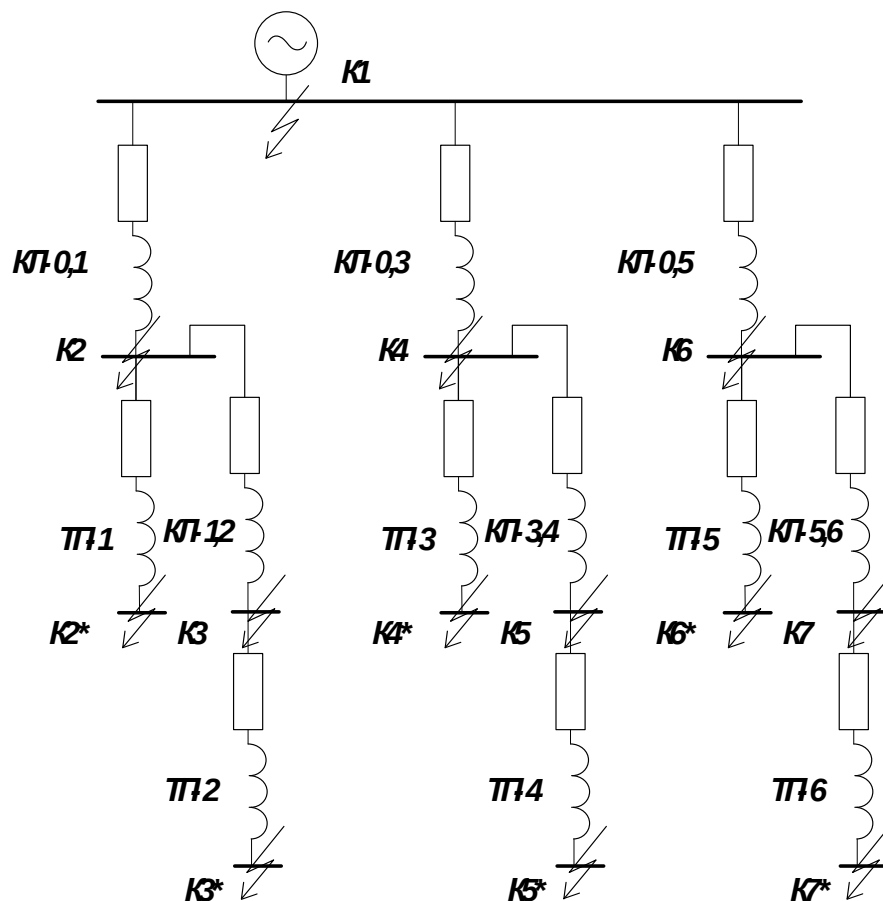


Рисунок 3.1 -Схема точек КЗ

Расчет ведется в о.е.

Ток в точке K1:

$$I_{\kappa 1} = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{x}, \kappa A, \quad (3.5)$$

где $I_{\bar{\sigma}}$ - базисый ток

X - сопротивление системы

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}}, \kappa A \quad (3.6)$$

где $S_{\bar{\sigma}}$ - базисная мощность

$U_{\bar{\sigma}}$ - базисное напряжение

Базисные условия могут выбираться либо по параметрам головного коммутационного аппарата либо по мощности системы.

$$U_{\bar{\sigma}} = 10,5 \text{ кВ}$$

$$S_{\bar{\sigma}} = 31,5 \cdot 10 = 315 \text{ МВА}$$

$$X_{\text{сист}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном}} \cdot U_{\bar{\sigma}}} = \frac{315}{1,73 \cdot 31,5 \cdot 10,5} = 0,55 \text{ о. е.}$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{315}{1,73 \cdot 10,5} = 17 \text{ кА}$$

$$I_{\kappa 1} = \frac{17}{0,55} = 31, \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1} \quad (3.7)$$

$$i_{\text{уд}} = 1,4 \cdot 1,41 \cdot 31 = 61 \text{ кА}$$

$$x_{\text{вл}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \text{ о.е.} \quad (3.8)$$

$$r_{\text{вл}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \text{ о.е.} \quad (3.9)$$

По данным формулам вычисляем активное и индуктивное сопротивление линий и полученные значения заносим в таблицу 3.7

Таблица 3.7- Активное и индуктивное сопротивление ВЛ

№ участка	$r_{\text{вл}}$ о.е.	$x_{\text{вл}}$ о.е.
1	2	3
Участок 0-5	0,420	0,032
Участок 5-6	0,840	0,064
Участок 0-3	1,020	0,078
Участок 3-4	0,540	0,041
Участок 0-1	1,740	0,133
Участок 1-2	0,540	0,041

K2:

$$r_{\Sigma} = r_{01}; \quad x_{\Sigma} = x_c + x_{01}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{1,74^2 + j(0,55 + 0,133)^2} = 1,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{к2}} = \frac{1}{1,87} \cdot 17 = 9,1 \text{ кА}$$

$$I_{\text{уд}} = 17,9 \text{ кА}$$

K3:

$$r_{\Sigma}=r_{01}+r_{12} ; x_{\Sigma}=x_c+x_{01}+x_{12}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(1,74 + 0,54)^2 + j(0,55 + 0,133 + 0,041)^2} = 5,7 \text{ o.e.}$$

$$I_{k3} = \frac{1}{5,7} \cdot 17 = 3,0 \text{ кA}$$

$$I_{yd}=5,9\text{кA}$$

K4:

$$r_{\Sigma}=r_{03}; x_{\Sigma}=x_c+x_{03}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(1,02)^2 + j(0,55 + 0,078)^2} = 1,2 \text{ o.e.}$$

$$I_{k4} = \frac{1}{1,2} \cdot 17 = 14,2 \text{ кA}$$

$$I_{yd}=28\text{кA}$$

K5:

$$r_{\Sigma}=r_{03}+r_{34}; x_{\Sigma}=x_c+x_{03}+x_{34}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(1,02 + 0,54)^2 + j(0,55 + 0,078 + 0,041)^2} = 1,7 \text{ o.e.}$$

$$I_{k5} = \frac{1}{1,7} \cdot 17 = 10 \text{ кA}$$

$$I_{yd}=19,7\text{кA}$$

K6:

$$r_{\Sigma}=r_{05} ; x_{\Sigma}=x_c+x_{05}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(0,42)^2 + j(0,55 + 0,032)^2} = 0,7 \text{ о.е.}$$

$$I_{к6} = \frac{1}{0,7} \cdot 17 = 24 \text{ кА}$$

$$I_{уд}=47,4\text{кА}$$

K7:

$$r_{\Sigma}=r_{05}+r_{56} ; x_{\Sigma}=x_c+x_{05}+x_{56}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{(0,42 + 0,84)^2 + j(0,55 + 0,032 + 0,064)^2} = 2,0 \text{ о.е.}$$

$$I_{к6} = \frac{1}{2,0} \cdot 17 = 8,5 \text{ кА}$$

$$I_{уд}=16,8\text{кА}$$

3.4.2 Проверка оборудования напряжением 10 кВ

Проверим головной выключатель на совместимость:

1. По номинальному напряжению $U_{ном} \leq U_{уст}$

$$U_{ном}=10\text{кВ}$$

$$U_{уст}=10\text{кВ}$$

$$U_{ном} = U_{уст} \text{ выполняется.}$$

2. По номинальному длительному току $I_{ном} \geq I_{раб}$

$$\begin{aligned}
I_{\text{ном}} &= 630 \text{ А} & I_{\text{раб0-5}} &= 38,1 \text{ А} \\
& & I_{\text{раб5-6}} &= 18,8 \text{ А} \\
& & I_{\text{раб0-3}} &= 24,9 \text{ А} \\
& & I_{\text{раб3-4}} &= 12,4 \text{ А} \\
& & I_{\text{раб0-1}} &= 26,6 \text{ А} \\
& & I_{\text{раб1-2}} &= 10,2 \text{ А}
\end{aligned}$$

3. Проверка на электродинамическую стойкость. $I_{\text{пред}} \geq I_{\text{к.з.}}$ (3-х фазному)

$$i_{\text{пред}} \geq i_{\text{удар}}$$

$I_{\text{пред}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{к.з. 2}} = 9,1 \text{ кА}$	$i_{\text{удар2}} = 17,9 \text{ кА}$
	$I_{\text{к.з. 3}} = 3,0 \text{ кА}$	$i_{\text{удар3}} = 5,9 \text{ кА}$
$i_{\text{пред}} = 80 \text{ кА}$	$I_{\text{к.з. 4}} = 14,2 \text{ кА}$	$i_{\text{удар4}} = 28 \text{ кА}$
	$I_{\text{к.з. 5}} = 10 \text{ кА}$	$i_{\text{удар5}} = 19,7 \text{ кА}$
	$I_{\text{к.з. 6}} = 8,5 \text{ кА}$	$i_{\text{удар6}} = 16,8 \text{ кА}$
	$I_{\text{к.з. 7}} = 24 \text{ кА}$	$i_{\text{удар7}} = 47,4 \text{ кА}$

Выполняется во всех случаях.

4. На термическую стойкость по тепловому импульсу КЗ $I_{\text{терм}} \cdot t_{\text{терм}} \geq B_k$

$$t_{\text{терм}} = 3 \text{ сек}$$

$$I_{\text{терм}} = I_{\text{пред}} = 31,5 \text{ кА}$$

$$31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

$$B_k = I_{\text{откл}} \cdot t_{\text{откл}} = 31,5^2 \cdot 0,055 = 545,74 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

$2976,8 \geq 545,7$ Условие выполняется.

$$F_1 = \frac{\sqrt{B_k}}{95} = \frac{\sqrt{54574000}}{95} = 33 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = \frac{\sqrt{B_k}}{95} = \frac{\sqrt{8731800}}{95} = 31 \text{ мм}^2$$

$$F_3 = \frac{\sqrt{B_k}}{95} = \frac{\sqrt{1545000}}{95} = 13 \text{ мм}^2$$

$$F_4 = \frac{\sqrt{B_k}}{95} = \frac{\sqrt{332838}}{95} = 6 \text{ мм}^2$$

$$F_5 = \frac{\sqrt{B_k}}{95} = \frac{\sqrt{15579000}}{95} = 31 \text{ мм}^2$$

$$F_6 = \frac{\sqrt{B_k}}{95} = \frac{\sqrt{2695000}}{95} = 17 \text{ мм}^2$$

5. По отключающей способности (3х фазный) $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{кз}}$

$$I_{\text{откл}} = 31,5 \text{ кА}$$

$$31,5 \geq 9,1 \text{ кА}$$

$$31,5 \geq 3 \text{ кА}$$

$$31,5 \geq 14,2 \text{ кА}$$

$$31,5 \geq 10 \text{ кА}$$

$$31,5 \geq 8,5 \text{ кА}$$

$$31,5 \geq 24 \text{ кА}$$

Условие выполняется.

3.5 Выбор и проверка оборудования в сети 0,4 кВ

3.5.1 Выбор и проверка проводов в сети 0,4 кВ

Допустимую величину потерь напряжения принимаем 5% (от источника питания ВЛ 10 кВ до вводов в коттеджи) [21].

Схемы построения сети, в основном, магистрали, то есть от одной ВЛ запитываем несколько коттеджей с равномерно распределенной нагрузкой.

Рассмотрим ТП №1, ветвь 1.

$P_{\text{расч}} = 11 \text{ шт} \cdot 15 \text{ кВт} \cdot 0,29 = 47,9 \text{ кВт}$, длина ветви $L = 0,325 \text{ км}$. Выбираем провода марки СИП-2.

Найдем расчетный ток по формуле:

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} \cdot K_{\text{п}}, \quad (3.10)$$

где $K_{\text{п}} = 0,92$ – поправочный коэффициент при температуре окружающего воздуха 35°C , температура жилы 90°C .

$$I_{\text{расч}} = \frac{47,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,98} \cdot 0,92 = 64,9 \text{ A}.$$

Выбираем провод марки СИП-2 4х25 с допустимым номинальным током $I_{\text{доп}} = 82 \text{ A}$.

Найдем потери напряжения в проводе:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{расч}} \cdot L \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos\varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin\varphi)}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

где $r_{\text{уд}}$, $x_{\text{уд}}$ – удельное активное и реактивное сопротивление, Ом/км.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 64,9 \cdot 0,325 \cdot (0,822 \cdot 0,98 + 0,085 \cdot 0,199)}{400} \cdot 100\% = 3,5\%.$$

Найдем потери мощности по формулам:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{\text{расч}}^2 \cdot r_{\text{уд}} \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (3.12)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_{\text{расч}}^2 \cdot x_{\text{уд}} \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (3.13)$$

$$\Delta P = 3 \cdot 64,9^2 \cdot 0,822 \cdot 0,325 \cdot 10^{-3} = 1,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = 3 \cdot 64,9 \cdot 0,085 \cdot 0,325 \cdot 10^{-3} = 0,35 \text{ кВАр}.$$

Дальнейший расчет сведем в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Выбор и проверка проводов 0,4 кВ

№ ветви	$P_{расч},$ кВт	$L, км$	$\cos\varphi$	$I_{расч},$ А	$I_{доп},$ А	Марка, сечение	$r_{уд},$ Ом /км	$x_{уд},$ Ом /км	$\Delta U,$ %	$\Delta P,$ кВт	$\Delta Q,$ кВА р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП №1											
1	73,5	0,125	0,98	99,59	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	3,7	2,57	0,27
2	95,6	0,225	0,98	129,54	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	4,6	4,14	0,43
3	160,4	0,425	0,98	217,34	240	СИП-2 4х25	0,568	0,085	4,9	7,24	1,08
4	300,45	0,625	0,98	407,11	436	СИП-2 4х25	0,211	0,082	2,3	6,08	2,36

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	90,98	0,125	0,98	123,28	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	3,1	2,62	0,27
6	82,95	0,125	0,98	112,40	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	3,4	2,65	0,27
7	110,95	0,300	0,98	150,34	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	4,8	5,02	0,52
8	279,1	0,285	0,98	378,18	380	СИП-2 4х25	0,265	0,082	2,9	7,28	2,25
9	90,65	0,125	0,98	122,83	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	2,6	2,23	0,23
10	95,64	0,90	0,98	129,59	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	0,9	0,83	0,09
11	140,6	0,2	0,98	190,51	240	СИП-2 4х25	0,568	0,085	2,4	3,09	0,46
ТП №2											
1	95,8	0,125	0,98	129,81	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	2,3	2,08	0,27
2	105,62	0,125	0,98	143,12	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	4,6	4,55	0,27
3	270,6	0,300	0,98	366,66	380	СИП-2 4х25	0,265	0,082	1,3	3,21	0,99
4	95,8	0,12	0,98	129,81	195	СИП-2 4х25	0,822	0,085	2,3	2,08	0,21

						4x25					
5	105,62	0,225	0,98	143,12	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	4,6	4,55	0,47
6	270,6	0,300	0,98	366,66	380	СИП-2 4x25	0,265	0,082	1,3	3,21	0,99
7	95,8	0,12	0,98	129,81	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,3	2,08	0,21
ТПН№3											
1	100,5	0,175	0,98	136,18	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,9	3,66	0,38
2	90,7	0,175	0,98	122,90	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,1	2,61	0,27
3	150,7	0,300	0,98	204,20	240	СИП-2 4x25	0,568	0,085	4,6	6,39	0,96
4	200,5	0,260	0,98	271,68	436	СИП-2 4x25	0,211	0,082	1,0	1,87	0,73
5	98,73	0,150	0,98	133,78	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,4	2,21	0,23

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	100,4	0,12	0,98	136,04	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	1,9	1,83	0,19
7	105,62	0,170	0,98	143,12	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,1	3,03	0,31
8	265,3	0,685	0,98	359,48	380	СИП-2 4x25	0,265	0,082	3,4	8,22	2,54
ТПН№4											
1	110,6	0,175	0,98	149,86	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,2	3,32	0,34
2	109,6	0,175	0,98	148,51	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,1	2,18	0,22
3	145,3	0,225	0,98	196,88	240	СИП-2 4x25	0,568	0,085	4,4	5,94	0,89
4	205,6	0,300	0,98	278,59	436	СИП-2 4x25	0,211	0,082	1,3	2,46	0,95
5	95,4	0,205	0,98	129,27	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	0,5	0,41	0,04
6	98,6	0,150	0,98	133,60	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,9	2,64	0,27

7	110,4	0,230	0,98	149,59	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	4,8	4,97	0,51
8	250,7	0,630	0,98	339,70	380	СИП-2 4x25	0,265	0,082	3,2	7,34	2,27
9	90,65	0,180	0,98	122,83	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,6	2,23	0,23
10	95,64	0,225	0,98	129,59	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	0,9	0,83	0,09
ТПН№5											
1	115,6	0,200	0,98	156,64	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	5,0	5,45	0,56
2	113,5	0,225	0,98	153,79	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,7	2,92	0,30
3	156,4	0,305	0,98	211,92	240	СИП-2 4x25	0,568	0,085	4,7	6,89	1,03
4	250,3	0,305	0,98	339,16	436	СИП-2 4x25	0,211	0,082	1,6	3,64	1,41
5	110,6	0,465	0,98	149,86	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,2	3,32	0,34

Окончание таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	109,6	0,480	0,98	148,51	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,1	2,18	0,22
7	145,3	0,485	0,98	196,88	240	СИП-2 4x25	0,568	0,085	4,4	5,94	0,89
8	205,6	0,650	0,98	278,59	436	СИП-2 4x25	0,211	0,082	1,3	2,46	0,95
ТПН№6											
1	100,5	0,200	0,98	136,18	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,9	3,66	0,38
2	90,7	0,200	0,98	122,90	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,1	2,61	0,27
3	150,7	0,250	0,98	204,20	240	СИП-2 4x25	0,568	0,085	4,6	6,39	0,96
4	200,5	0,350	0,98	271,68	436	СИП-2 4x25	0,211	0,082	1,0	1,87	0,73
5	98,73	0,350	0,98	133,78	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	2,4	2,21	0,23
6	100,4	0,300	0,98	136,04	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	1,9	1,83	0,19

7	105,62	0,500	0,98	143,12	195	СИП-2 4x25	0,822	0,085	3,1	3,03	0,31
8	265,3	0,685	0,98	359,48	380	СИП-2 4x25	0,265	0,082	3,4	8,22	2,54

3.5.2 Выбор коммутационно-защитного оборудования в сети 0,4 кВ

Для защиты линий 0,4 кВ будем использовать выключатели ВА 88-37.

Выключатели выбираем по условиям:

$$I_{\text{ном,а}} \geq I_{\text{раб}};$$

$$I_{\text{ном,расц,т}} \geq I_{\text{раб}};$$

$$I_{\text{ном,расц,э}} \geq I_{\text{раб}}.$$

Выбор выключателей представим в таблице 3.9

Таблица 3.9 - Выбор выключателей на 0,4 кВ

№ ТП		$I_{\text{раб}}, \text{А}$	Тип выключателя	$I_{\text{ном,а}}, \text{А}$	$I_{\text{ном,расц,т}}, \text{А}$	$I_{\text{ном,расц,э}}, \text{А}$	$I_{\text{откл}}, \text{кА}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ветвь 1	99,59	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 2	129,54	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 3	217,34	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 4	407,11	ВА88-37	800	500	8000	35
	Ветвь 5	123,28	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 6	112,40	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 7	150,34	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 8	378,18	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 9	122,83	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 10	129,59	ВА88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 11	190,51	ВА88-37	400	400	4000	35

2	Ветвь 1	129,81	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 2	143,12	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 3	366,66	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 4	129,81	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 5	143,12	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 6	366,66	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 7	129,81	BA88-37	400	400	4000	35
3	Ветвь 1	136,18	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 2	122,90	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 3	204,20	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 4	271,68	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 5	133,78	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 6	136,04	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 7	143,12	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 8	359,48	BA88-37	400	400	4000	35

Окончание таблицы 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Ветвь 1	149,86	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 2	148,51	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 3	196,88	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 4	278,59	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 5	129,27	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 6	133,60	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 7	149,59	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 8	339,70	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 9	122,83	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 10	129,59	BA88-37	400	400	4000	35
5	Ветвь 1	156,64	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 2	153,79	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 3	211,92	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 4	339,16	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 5	149,86	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 6	148,51	BA88-37	400	400	4000	35

6	Ветвь 7	196,88	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 8	278,59	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 1	136,18	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 2	122,90	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 3	204,20	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 4	271,68	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 5	133,78	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 6	136,04	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 7	143,12	BA88-37	400	400	4000	35
	Ветвь 8	359,48	BA88-37	400	400	4000	35

3.5.3 Расчет токов короткого замыкания в установках напряжением до 1 кВ

Для установок напряжением до 1 кВ при расчётах токов КЗ считают, что мощность питающей линии бесконечна и напряжение на стороне высшего напряжения трансформатора является неизменным [11]. Расчет выполняем в именованных единицах. Сопротивление элементов системы электроснабжения высшего напряжения приводим к низшему напряжению по формуле:

$$x_n = x_{\text{в}} \cdot \left(\frac{U_{\text{ном н}}}{U_{\text{ном в}}} \right)^2, \quad (3.14)$$

где $x_{\text{в}}$ — сопротивление элемента системы электроснабжения высшего напряжения, x_n — сопротивление элемента системы электроснабжения высшего напряжения, приведенное к низшему напряжению, $U_{\text{ном н}}$ — $U_{\text{ном в}}$ — соответственно, напряжение высшей и низшей ступеней.

Трансформаторная подстанция №5:

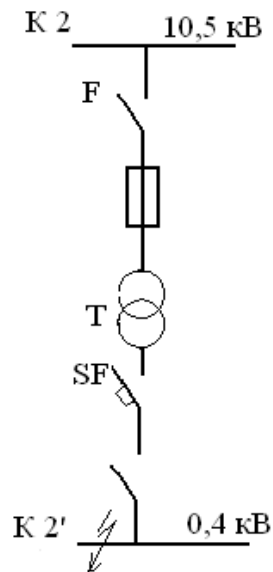


Рисунок 3.2- Короткое замыкание на шине 0,4 кВ ТП №5

Приведем сопротивления системы электроснабжения высшего напряжения к напряжению 0,4 кВ[11].

$$x_{\Sigma 10/0.4} = x_{\Sigma 10} \cdot K_T^2 \quad (3.15)$$

$$r_{\Sigma 10/0.4} = r_{\Sigma 10} \cdot K_T^2 \quad (3.16)$$

$$Z_{\Sigma \frac{10}{0.4}} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} I_{K3}} \cdot K_T^2 = \frac{10,5}{1,73 \cdot 14,2} \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 6,3 \text{ МОм}$$

Определяем сопротивление трансформатора:

$$S_{ном} = 400 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_{K3} = 5,5 \text{ кВт}$$

$$U_K = 4,5\%$$

$$r_T = \frac{\Delta P_K}{S_{\text{НОМ Т}}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot 10^6}{S_{\text{НОМ Т}}} = \frac{5,5}{400} \cdot \frac{0,4^2}{400} 10^6 = 5,5 \text{ мОм} \quad (3.17)$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{U_K \%}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ т}}} \cdot 10^6 = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{5,5}{400}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{400} \cdot 10^6 = 17,1 \text{ мОм}$$

Суммарное активное сопротивление кроме сопротивлений элементов системы электроснабжения высокого напряжения и трансформатора, должно учитываться переходное сопротивление контактов. Для этой цели в расчет вводим добавочное сопротивление, которое на шинах ТП составляем 15 мОм.

$$r = r_{\text{тр}} + r_{\text{доб}} = 5,5 + 15 = 20,5 \text{ мОм}$$

$$z_{0,4} = \sqrt{20,5^2 + 17,1^2} = 26,7 \text{ мОм}$$

$$z_{\Sigma} = 6,3 + 26,7 = 33 \text{ мОм}$$

Ток КЗ в точке К 2' равен:

$$I_{K3'} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} = \frac{400}{1,73 \cdot 33} = 7,0 \text{ кА}$$

Ударный ток в точке К 3:

$$I_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \sqrt{2} I_{K3'}, \text{ значение } k_{\text{уд}} \text{ определяется по кривой } k_{\text{уд}} = f(x/r)$$

$$k_{\text{уд}} = 1,03$$

$$i_{\text{уд}} = 1,03 \cdot 1,41 \cdot 7,0 = 10,2 \text{ кА.}$$

Таблица 3.10- Расчетные данные по токам КЗ на шинах 0,4 кВ

Точка	$x_{\Sigma 10/0.4}$, МОм	$z_{0.4}$, МОм	z_{Σ} , МОм	I_k , кА	$i_{уд}$, кА
1	2	3	4	5	6
K2'	6.98	22.6	29.58	7.8	11.3
K3'	16.6	22.6	39.2	5.89	8.38
K4'	35.7	22.6	58.3	4	5.7
K5'	5.2	22.6	27.8	8.3	12.05
K6'	12.55	22.6	35.15	6.5	9.4
K7'	28.7	22.6	51.3	4.5	6.4

3.5.4 Проверка оборудования на напряжение ниже 1 кВ

Предохранитель предназначен для защиты электрических установок от токов КЗ и перегрузок. Выбор предохранителей производится по условиям:

$$U_{ном пр} \leq U_{сети}$$

$$I_{откл ном} \geq I_{к макс}$$

$$I_{ном пр} \geq I_{р макс}$$

$$I_{вст ном} \geq I_{р макс}$$

$U_{сети}$ - номинальное напряжение сети;

$I_{к макс}$ - максимальный ток КЗ сети;

$I_{р макс}$ - максимальный рабочий ток сети.

Трансформаторная подстанция №1.

Коттедж

ВРУ-1

$$I_p = 213.8 \text{ А}$$

$$I_k = 7,8 \text{ кА}$$

Выбираем предохранитель типа ПН-2-250(насыпной разборный). Технические данные:

$$U_{\text{ном}} = 380, \text{ В}$$

$$I_{\text{ном пр}} = 250 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном. пл. вст.}} = 80, 100, 120, 150, 200, 250 \text{ А.}$$

$$I_{\text{отк ном}} = 40 \text{ кА}$$

1. $U_{\text{ном пр}} \leq U_{\text{сети}} \quad 380 \text{ В} = 380 \text{ В}$
2. $I_{\text{откл ном}} \geq I_{\text{к мах}} \quad 40 \text{ кА} > 7,8 \text{ кА}$
3. $I_{\text{ном пр}} \geq I_{\text{р мах}} \quad 250 \text{ А} > 213,8 \text{ А}$
4. $I_{\text{вст ном}} \geq I_{\text{р мах}} \quad 250 \text{ А} > 213,8 \text{ А}$

Таблица 3.11 - Условия проверки выключателей ВА08-0403 и А3724 Б

Условие проверки	ВА08-0403	А3724 Б
1	2	3
1. По номинальному напряжению: $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{ном}} = U_{\text{уст}}$ $380 = 380$	$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ $380 = 380$
2. По номинальному длительному току $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб}}$	$I_{\text{ном}} = 600 \text{ А}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб}}$, выполняется	$I_{\text{ном}} = 800 \text{ А}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб}}$, выполняется
3. Проверка на электродинамическую стойкость $I_{\text{пред}} \geq I_{\text{к.з.}}$	$I_{\text{пред.}} = 25 \text{ кА}$ $I_{\text{пред}} \geq I_{\text{к.}}$ выполняется	$I_{\text{пред.}} = 25 \text{ кА}$ $I_{\text{пред}} \geq I_{\text{к.з.}}$ выполняется
4. По отключающей способности $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{к.з.}}$	$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{к.з.}}$ выполняется	$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{к.з.}}$ выполняется

Условия проверки для автоматических выключателей ВА08-0403 и А3724Б выполняются.

3.5.5 Проверка условий срабатывания защитного аппарата при однофазном замыкании в сети напряжением до 1кВ

В электрических сетях до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали при коротком однофазном замыкании защитные аппараты должны надёжно обеспечивать отключение[11].

Для наиболее удаленных электроприёмников (мощность 15 кВт) рекомендуется осуществлять выборочную проверку расчетом сопротивления цепи фаза-нуль.

В сетях напряжением до 1000В с глухозаземленной нейтралью, для проверки обеспечения отключения замыкания между фазным и нулевым проводами ток однофазного короткого замыкания определяем по формуле [11]:

$$I_k = \frac{U_\phi}{z_n + \frac{z_T}{3}}, \quad (3.18)$$

где U_ϕ - фазное напряжение сети,В

z_T –полное сопротивление понижающего трансформатора в режиме однофазного КЗ на корпус, Ом

z_n –полное сопротивление петли фаза-нуль линии до наиболее удаленной точки сети ,Ом

$$z_n = \sqrt{R_n^2 + x_n^2}, \quad (3.19)$$

где R_n -активное сопротивление фазного и нулевого проводов ,Ом

$$R_n = R_\phi + R_0;$$

x_n -индуктивное сопротивление петли жил провода.

Надежное отключение защитным аппаратом однофазного КЗ будет обеспечено при условии:

$$k_3 \cdot I_3 \leq I_k, \quad (3.20)$$

где k_3 - допустимая кратность минимального тока КЗ по отношению к номинальному току плавкой вставки предохранителя;

I_3 -уставка защитного аппарата ,А

I_k -ток однофазного замыкания на землю ,А

ТП№1 1×400 кВА

Номинальное фазное напряжение $U_n=220$, В

По формуле (3.18) рассчитаем ток однофазного короткого замыкания:

$$I_k = \frac{220}{1,08 + \frac{0,129}{3}} = 377,4 \text{ ,А}$$

$$k_3=3$$

$$I_{\text{пл.встав}}=350, \text{ А} \quad \text{Предохранитель ПН-2-100}$$

$$3 \cdot 50=150$$

$150 < 196$,что свидетельствует об обеспечении надежного действия защищаемого линию аппарата.

Вводно-распределительные устройства серии ВРУ8М

Устройства серии ВРУ8М предназначены для приема, распределения и учета электрической энергии напряжением 380/220В и ток до 400А переменного тока частотой 50Гц. Они обеспечивают учет электроэнергии в однофазных и трехфазных сетях, распределение и защиту от перегрузок и коротких замыканий каждого фидера, защиту от токов утечки на землю в случае использования УЗО, что позволяет предотвратить возникновение пожаров в связи с неисправностью в электропроводке и защиту людей от поражения электрическим током. Устройства серии ВРУ8М предназначены для установки в производственных, общественных и жилых зданиях. Конструкция предотвращает несанкционированный доступ к расчетным приборам и цепям учета электрической энергии. Для этой цели предусмотрена разделительная перегородка между вводной/учетной частью и распределительной, а также отдельные оперативные панели с элементами для опломбирования вводной/учетной части, что также позволяет обслуживать распределительный блок без вскрытия пломб с вводного/учетного блока.

Характеристики:

Класс (тип оболочки)- металлический шкаф.

Тип вводного аппарата- автоматический выключатель.

Функциональное назначение- вводно-распределительное устройство с учетом электрической энергии.

Исполнение- встроенное.

Номинальное напряжение: 380/ 220В

Номинальный ток: До 400А

Максимальное сечение жил провода: 240мм²

3.6 Оценка качества напряжения в сети

Согласно [21] отклонение напряжения на зажимах электроприемников должно быть не более $\pm 5\%$, а в отдельных случаях допускается до $\pm 10\%$. Снижение напряжения у наиболее удаленных ламп должно быть, как правило, не более $2,5\%$ номинального напряжения ламп, а у наиболее удаленных светильников в жилых зданиях, в сети аварийного и наружного освещения допускается большая потеря напряжения, но не более 5% . Наибольшее напряжение на лампах не должно превышать 5% от номинального напряжения ламп.

В связи с этим каждый участок электрической сети должен быть проверен на потерю напряжения, причем в случае больших расстояний от энергоприемника до источника этот расчет является определяющим.

Определим отклонение напряжения от РП до ТП№1 самой удаленной подстанции. Проанализируем отклонение напряжение в максимальном, минимальном.

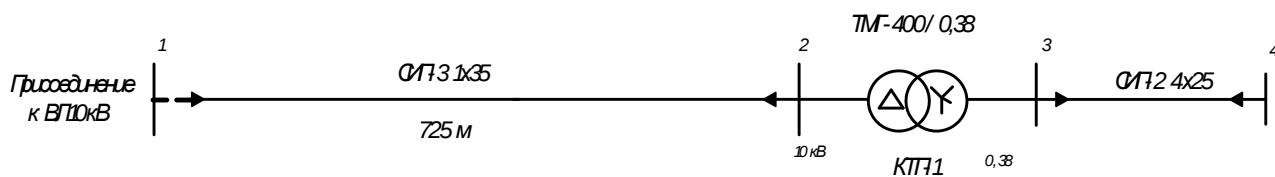


Рисунок 3.6- Участок место присоединения - ТП№1

3.6.1 Максимальный режим

$$U_{\text{НОМ}}=10,5 \text{ кВ}$$

$$U_b = U_{\text{НОМ}} - \Delta U_{\text{вл а-б}} \quad (3.21)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение

$U_{\text{вл а-б}}$ –падение напряжения на участке

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}$$

$$\Delta U_{12} = 19 \text{ В}$$

$$U_2 = 10468 - 19 = 10449, \text{ В}$$

$$\Delta V_{12} = \left(\frac{10449 - 10000}{10000} \right) \cdot 100\% = 4,49\%$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \delta(U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) \quad ; \quad (3.22)$$

$$\delta = \frac{S_{расч}}{n \cdot S_H} = \frac{315,5}{1 \cdot 400} = 0,789$$

(3.23)

$$U_a = \frac{P_K}{10 S_H} = \frac{5500}{10 \cdot 400} = 1,375;$$

(3.24)

$$U_p = \sqrt{U_{K3}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,375^2} = 5,33 \text{ В}$$

(3.25)

$$\Delta U_{тр} = 0,789 \cdot (1,375 \cdot 0,98 + 5,33 \cdot 0,2) = 1,9\% \Rightarrow 11,1 \text{ В}$$

$$U'_3 = U_3 \cdot k_T = 10449 \cdot 0,4 / 10 = 417,9$$

В

(3.26)

$$U_4 = U'_3 - \Delta U_{тр} = 417,9 - 11,1 = 406,8 \text{ В}$$

$$\Delta V_{34} = \left(\frac{406,8 - 400}{400} \right) \cdot 100\% = 1,71\%$$

Потери ΔU_{56} уже известна из предыдущих расчетов

$$\Delta U_{34} = 6,2 \text{ В}$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 406,5 - 6,2 = 400,6 \text{ В}$$

$$\Delta V_4 = \left(\frac{400,6 - 400}{400} \right) \cdot 100\% = 0,15\%$$

Строим эпюру отклонения напряжения:

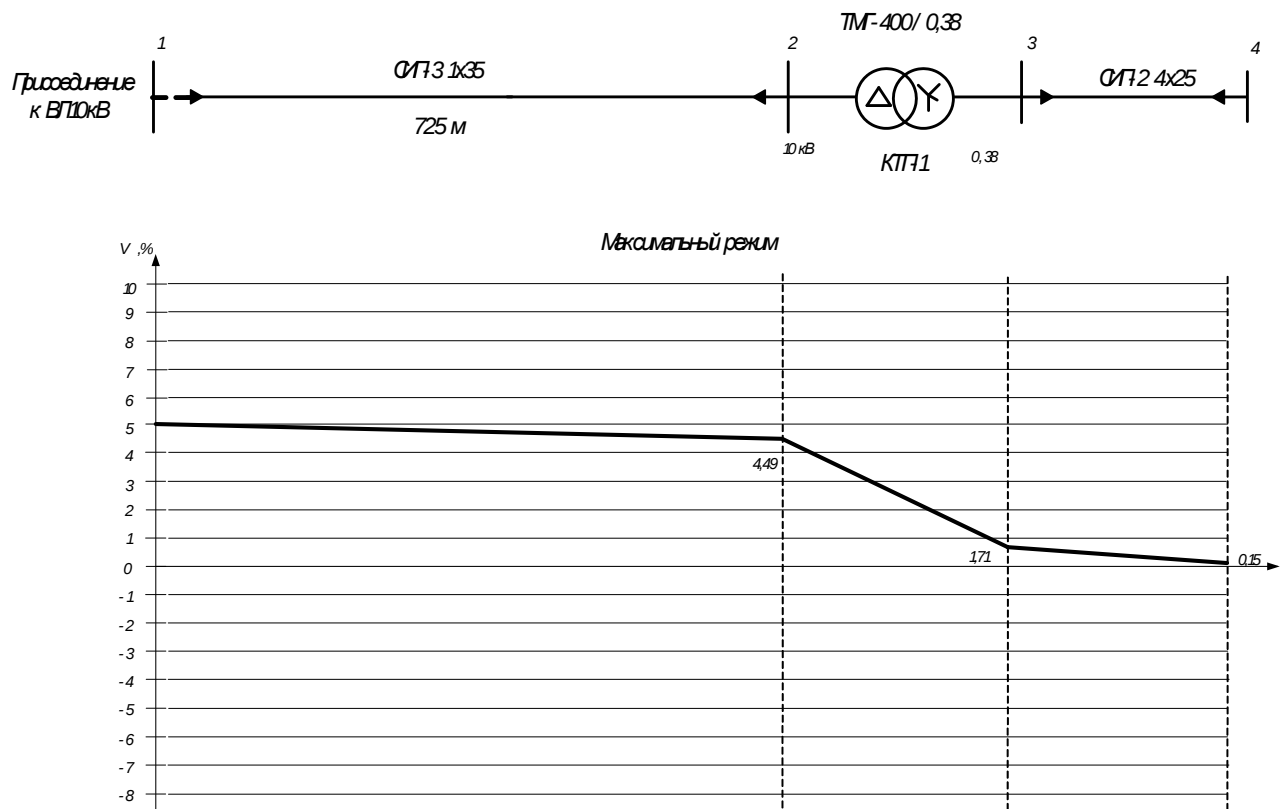


Рисунок 3.7 - Эпюра отклонения напряжения в максимальном режиме.

По допустимому отклонению напряжения - 5% в максимальном режим система проходит.

3.6.2 Минимальный режим

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \quad \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} = 0.6$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}$$

$$\Delta U_{12} = 19 \cdot 0,6 = 11,4 \text{ В}$$

$$U_2=9980,8-11,4=9969,4, \text{ B}$$

$$\Delta V_{12} = \left(\frac{9969,4 - 10000}{10000} \right) \cdot 100\% = -0,3\%$$

$$\Delta U_{\text{тп}} = \delta(U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) ;$$

$$\delta = \frac{S_{\text{пасч}}}{n \cdot S_H} = 0,799$$

$$U_a = \frac{P_{\kappa}}{10 S_H} = \frac{5500}{10 \cdot 400} = 1,375;$$

$$U_p = \sqrt{U_{\kappa 3}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,375^2} = 5,33 \text{ B}$$

$$\Delta U_{\text{тп}} = 0,799 \cdot (1,375 \cdot 0,98 + 5,33 \cdot 0,2) = 1,9\% \Rightarrow 11,1 \text{ B}$$

$$U'_3 = U_3 \cdot k_T = 9969,4 \cdot 0,4/10 = 398,8 \text{ B}$$

$$U_3 = U'_3 - \Delta U_{\text{тп}} = 398,8 - 11,1 = 387,7 \text{ B}$$

$$\Delta V_{23} = \left(\frac{392,3 - 400}{400} \right) \cdot 100\% = -1,93\%$$

$$\Delta U_{34} = 6,2 \cdot 0,6 = 3,72, \text{ B}$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 392,3 - 3,72 = 388,6 \text{ B}$$

$$\Delta V_4 = \left(\frac{388,6 - 400}{400} \right) \cdot 100\% = -2,8\%$$

Строим эпюру отклонения напряжения:

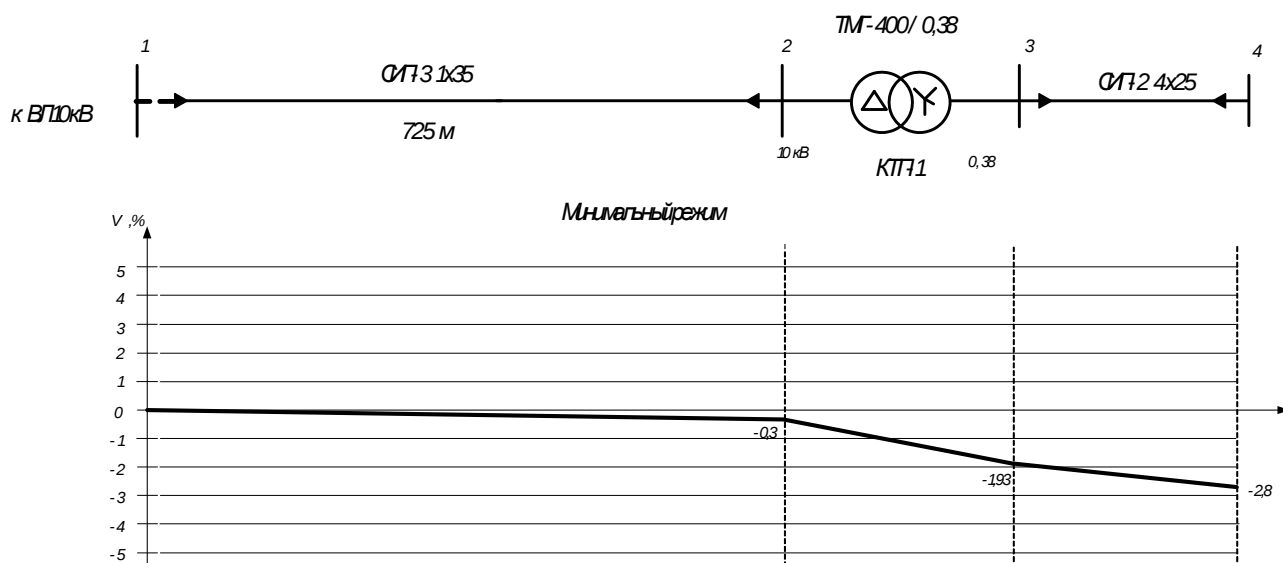


Рисунок 3.8 - Эпюра отклонения напряжения в минимальном режиме.

Отклонение в минимальном режиме не превышает -5%, следовательно, подходит.

3.7 Расчет уличного освещения в жилом районе

Проведем светотехнический расчет по периметру района. Внутри района, кроме проведенных выше расчетов освещения жилых домов (п. 2.2 данной выпускной квалификационной работы), спроектируем декоративное освещение аллей.

Проектом предусматривается освещение улиц района светильниками на железобетонных опорах, и аллей на декоративных металлических опорах.

Освещение ул.Владимирская:

$$L_y=700\text{м}$$

$$B_y=7\text{м}$$

$$H=10\text{м}$$

Для освещения выбираем тип ламп – светодиодные LED[4]

Согласно ПУЭ принимаем установку железобетонных опор через расстояние $l=25$ метров, тогда получаем необходимое число ламп из[4]
 $N=700/25=28$

$$\Phi' = \frac{L \cdot k \cdot \pi}{\eta}, \quad (3.27)$$

где L - нормированная яркость, $\text{kg}/\text{м}^2$;

k - коэффициент запаса, $k=1,5$;

η - коэффициент использования по яркости.

Находится коэффициент использования по яркости $\eta = 0,035$

$$\Phi' = \frac{0,6 \cdot 1,5 \cdot 3,14}{0,035} \cdot 25 = 2019 \frac{\text{Лм}}{\text{м}}$$

Светодиодный светильник для улицы представляет собой целый комплекс приборов, состоящий из: нескольких светодиодов, которые расположены друг от друга на некотором расстоянии; фокусирующих линз, направляющих световой поток в нужную сторону; именно от этой характеристики зависит, каким может быть луч: узким и ярким с дальностью действия до нескольких десятков метров или рассеянным и широким с дальностью действия до 3 метров; прочного корпуса из алюминия, покрытого защитной краской. Каждый элемент отвечает за определенные характеристики и функции. Выбирая светильник светодиодный уличного освещения, необходимо обращать внимание в первую очередь на интенсивность излучения,

сферу использования, цвет потока света, температурный диапазон, способность противостоять физическому воздействию и атмосферным явлениям.

Преимущества

Как и у других типов источников света, у светодиодов имеются свои достоинства и недостатки. Рассмотрим положительные качества этих осветительных приборов: прежде всего – это экономия электричества. Осветительные приборы с таким типом ламп потребляют в 1,5-2 раза меньше электроэнергии, чем обычные. Причем по мощности их световой поток можно сравнить с люминесцентными лампами.

Долговечность.

При условии правильной эксплуатации их срок службы составляет: при непрерывном использовании до 15 лет, при работе только в ночное время суток — до 25 лет. Прочность и надежность конструкции. Светильник светодиодный уличный влагозащищенный имеет ударопрочный корпус и не подвержен механическим повреждениям. Приборы могут устанавливаться практически во всех климатических условиях при рабочей температуре от -60 до +45 °C. Уличные светодиодные светильники на столбы взрыво- и пожаробезопасны, имеют высокую контрастность света, быстро включаются и бесшумно работают, не мерцают. Лампы являются экологически безопасными, поскольку не содержат ртути и прочих химических примесей. Удобно монтируются.

Недостатки

Высокая стоимость таких осветительных приборов. Требуется качественный отвод тепла. Из-за дисфункции электродов светильник может быстро потерять работоспособность. Приборы чувствительны к перепадам напряжения.

Светодиоды

Уличные светодиодные светильники благодаря надежности конструкции зарекомендовали себя очень хорошо. Имея влагонепроницаемость, прочность корпуса и отсутствие риска воспламенения такие осветительные приборы способны прослужить более десяти лет, а при использовании только в темное

время суток — гораздо больше. Исходящий от уличного светодиодного фонаря пучок света может иметь форму эллипса или круга. Круглая диаграмма создает эффект довольно яркого светового пятна. Для получения более равномерного освещения необходимо устанавливать светильник светодиодный уличного освещения со световым лучом в форме эллипса. В зависимости от области применения такие осветительные приборы могут быть наделены различной мощностью. Уличный светильник 60 Вт используется для освещения промышленных территорий, автозаправочных станций, складских терминалов, пешеходных тротуаров, автомобильных стоянок, городских улиц, парков, скверов. Светильник светодиодный уличный 100 Вт подойдет для освещения дорог, улиц и крупных промышленных объектов. Ландшафтные осветительные приборы имеют мощность от 3 до 10 Вт и устанавливаются для подсветки газонов, фонтанов, водоемов, скульптур и нижней части фасадов домов. Световой поток светодиода, как правило, белого цвета с холодным или теплым оттенком. Но выпускаются также и цветные светильники. Применяются они в основном для создания декоративной подсветки.

Особенности блока питания.

Это основной элемент конструкции. Выбирать подходящий вариант стоит с учетом температурного режима, на котором способен функционировать прожектор. Светильник светодиодный уличного освещения должен переносить большие перепады температур, сильный мороз и жару. Данная характеристика указана в техническом паспорте изделия. Также должна быть защита от скачков напряжения.

Алюминиевый корпус.

Уличные осветительные приборы постоянно подвергаются воздействиям окружающей среды. Алюминиевый корпус светильников способен противостоять коррозии, оседанию пыли и грязи, а также таким атмосферным явлениям, как перепады температур, снег, дождь, град, ветер. Выпускаются модели, имеющие специальный антивандальный корпус, который

изготавливается из прочного и невосприимчивого к механическим ударам материала.

Разновидности.

Уличные светодиодные светильники могут быть в виде фонарей, прожекторов, а также в качестве приборов декоративного освещения улиц (дюралайт, дюрафлекс, линейка и сетка).

Прожектор.

Светодиодные светильники уличные промышленные устанавливаются, как правило, на крупных объектах. Ими освещают территорию возле спорткомплексов, подсвечивают открытые площади, фасады зданий, автостоянки и иные наружные объекты, имеющие большую территорию. Небольшие прожекторы устанавливают на приусадебных участках. Фонари. Большие магистрали и автодороги, как правило, освещают фонарями с рефлекторами, которые позволяют направлять поток света в разные стороны, а также приборами мощностью до 400 Вт. Тротуары, садовые и парковые зоны, скверы, дворы и территории приусадебных участков освещаются уличными светильниками до 150 Ватт.

Светильники дюралайт.

Выглядят они в виде прозрачной пластиковой трубки или ленты с множеством светодиодов внутри. Располагаются они на расстоянии 1,5-27 мм друг от друга. Такие устройства используются для рекламной и архитектурной контурной подсветки, в ландшафтном дизайне для украшения столбов, деревьев и т. д. Соединяются светильники при помощи муфты.

Дюрафлекс.

От других аналогичных устройств такие осветительные приборы отличаются повышенной гибкостью, водонепроницаемостью и легкостью, что значительно упрощает их монтаж и эксплуатацию. Фиксировать можно эти уличные светодиодные светильники на столбы и на любые поверхности. Часто используются как декоративная ландшафтная подсветка.

Линейка.

Такой вид светильника выполнен в виде тонкой гибкой пластиковой ленты, имеющей силиконовую оплетку, на которую крепятся в вертикальном положении мощные светодиоды. Среди привлекательных технических характеристик линейки можно выделить ее безопасное низковольтное напряжение (12 В) и продолжительный срок службы. Часто устанавливается в качестве рекламной декоративной подсветки.

Сетка.

Устройство выполнено в виде световой сети, у которой в узлах светодиоды. Осветительный прибор очень яркий, удароустойчивый, отличается экономичностью, прост в монтаже. Сетка натягивается между опорами на жесткий каркас для украшения стен сооружения или территории парка. Выпускается множество различных модификаций. Особенности уличных светильников с датчиком движения Фонари, имеющие сенсор движения, позволяют существенно снизить энергозатраты: осветительный прибор загорается только при появлении человека в зоне его действия. Приобретают такие уличные светодиодные светильники для дачи, частных или многоквартирных жилых домов, парковых зон, дворов, для освещения социальных и коммерческих объектов. Основным компонентом датчика движения является линза, от которой во многом зависит качество работы всей конструкции. В одном датчике количество линз может быть до 60 штук, причем чем их больше, тем чувствительность сенсора выше и зона действия шире. Выбирая светильник светодиодный уличного освещения с датчиком движения, нужно принимать во внимание его место установки. Например, это может быть парк, сквер, дорожка и т. д. Также важно учитывать степень защищенности осветительного прибора, размер, мощность и способ крепления. Датчик движения может быть встроенным или располагаться снаружи, быть частью светильника либо отдельным объектом.

$$\Delta\Phi = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot F \cdot Z}{N \cdot E_{\text{сп}}}; \quad (3.28)$$

где E_n -10 Лк-норма освещения

K-коэффициент запаса $K_{зап}=1.5$

F-площадь освещаемой поверхности

N=28 - число светильников на улице

$Z=E_{сп}/E_n$ - коэффициент минимальной освещенности

$E_{сп}$ - средняя освещенность

$Z=1,15$ для ламп LED

$$\Delta\Phi = \frac{10 \cdot 1,5 \cdot 380 \cdot 4,2 \cdot 1,15}{28 \cdot 0,34} = 2892 \text{ Лм}$$

Выбираем лампу LED -150 мощностью 150Вт с $\Phi_n=3000\text{лм}$

$$P_{уст} = N \cdot P_{све} \quad (3.29)$$

где N-число светильников;

$P_{све}$.-мощность одной лампы.

$$P_{уст.}=28 \cdot 150=4200 \text{ Вт}$$

СНиП 23-05-95 выбранные лампы соответствуют предложенному месту установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты.

Выполнен обзор литературных источников, на основе изучения которых, построен алгоритм выполнения расчетов.

Спроектирована система электроснабжения жилого района «Первомайский» Томской области.

Система электроснабжения проектировалась с учетом современным требованиям к системам, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды.

Рассчитаны электрические нагрузки. Из двух схем электроснабжения на основании технико-экономического сравнения выбрана наиболее экономичная схема.

Результатом выполнения работы является разработка схемы электроснабжения потребителей, выполнение анализа электрической сети с учетом привязок к существующей сети, а так же разработка мероприятий по повышению и обеспечению энергоэффективности электроснабжения.

Таким образом, в результате выполнения работы решены все задачи, поставленные перед началом работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барыбин, Ю. Г. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2012. – 576 с.

2. Веников, В.А. Расчёт токов короткого замыкания в сети внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий: Москва. - Энергоатомиздат, 2014.- 434 с.
3. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ под ред. Г.М. Кнорринга. - С.Петербург: Энергия, 2003. – 348с.
4. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: Справочник. // В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск.: Техноперспектива, 2007. – 253 с.
5. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261 – ФЗ.
6. Официальный сайт ПАО «МРСК Сибири»[Электронный ресурс] – Режим доступа: www.mrsk-sib.ru.
7. Платежная дисциплина на розничном рынке электроэнергии / Журнал НП «Совет рынка»// [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ais.np-sr.ru/ratings/R410/>.
8. Постановление Правительства РФ от 03.03.2016 N 161 "О внесении изменений в приложения N 1 и 2 к постановлению Правительства Российской Федерации от 3 июня 2011 г. N 442", 2016.- 164с.
9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-ое издание. Главы 1.1-1.2, 1.7-1.9, 2.4-2.5, 4.1-4.2, 7.1-7.2, 7.5-7.6, 7.10, раздел 6. – М.: Ростехнадзор, 2010. – 411 с.
10. Приказ ФСТ России от 10.10.2014 N 225-э/1 "О предельных уровнях тарифов на электрическую энергию (мощность) на 2018 год" (Зарегистрировано в Минюсте России 28.10.2017 N 34488) [Электронный ресурс]. Приложение N 4 к приказу Федеральной службы по тарифам от 10 октября 2014 г. N 225-э/1// Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

11. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 131 с.

12. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.

13. Руководящий технический материал. Проектирование электроустановок. О расчете электрических нагрузок. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92 - Москва 1992 – Режим доступа : <http://tehnorma.ru/normativbase/9/9624/index.htm>.

14. Свод правил по проектированию и строительству СП 31-110 2003 "Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий" (одобрен постановлением Госстроя РФ от 26 ноября 2003 г. N 194).

15. Солдаткина, Л.А. Электрические системы и сети. М.: Энергия, 2012. - 216 с.

16. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий; дата введ. 01.01.2004. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2004. – 65 с.

17. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 12. СНиП II-12-77. – Москва, 2002г. – режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/1/1897/>

18. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. – Москва: Изд-во НЦЭНАС, 2006. - 320с.

19. Фёдоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2т./ под общ. ред. А. А. Фёдорова.– Москва : Энергоатомиздат, 2002. – Т.2. – 592 с.

20. Фёдоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2т./ под общ. ред. А. А. Фёдорова.– Москва : Энергоатомиздат, 2003. – Т.1. – 568 с.

21. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учеб.

пособие для вузов/ А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – Москва: Энергоатомиздат, 2003. – 368 с.

22. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования. / В. П. Шеховцов. – М.:ФОРУМ: - ИНФРА – М, 2010 – 214 с.: ил.

23. Шубина, Т.Н. Методические указания по выполнению организационно-экономического раздела дипломного проректа для студентов энергетического факультета / Т.Н. Шубина.- Ульяновск: УлГТУ,2011.-23с.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С.Торопов

подпись инициалы, фамилия

«06» 07 2023г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код - наименование направления

Развитие распределительной сети объектов жилого района «Первомайский»
Томской области

тема

Руководитель Г.Н.Чистяков «06» 07 2023г. доцент каф. ЭМиАТ, к.т.н. Г.Н.Чистяков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник К.О.Саая «05» 07 2023г. К.О.Саая
подпись дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А.Кычакова «05» 07 2023г. И.А.Кычакова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Абакан 2023