

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение системы городского наружного освещения

Обучающийся

А.В. Блохин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена проектированию систем освещения. В данной работе проводилась разработка системы электроснабжения системы городского наружного освещения. Была доказана актуальность и экономичная составляющая при использовании в проектировании новых так называемых интеллектуальных систем освещения. Произведён расчёт осветительного и электротехнического оборудования для системы наружного освещения улицы. Также произведён выбор электрических проводников, коммутационной аппаратуры и силовых трансформаторов. Особое внимание уделено проверке выбранных элементов сети по параметрам токов короткого замыкания. Также в работе отдельно рассмотрены вопросы учета электроэнергии системы наружного освещения города, особенности режимов работы системы заземления и нейтрали на стороне 0,4 кВ.

Бакалаврская работа состоит из введения, девяти разделов, заключения, списка используемых источников и 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Виды систем освещения города.....	5
1.1 Вид применяемых систем освещения городов в настоящее время.....	5
1.2 Перспективные системы освещения городов	8
2 Проектирование системы наружного освещения города.....	9
3 Расчет перспективной системы освещения города	11
3.1 Нормы освещенности	11
3.2 Выбор системы освещения	15
3.3 Светотехнический расчёт.....	15
3.4 Технологические и конструктивные решения	18
4 Интеллектуальные системы управления наружным освещением	19
4.1 Преимущества интеллектуальных систем УНО.....	19
4.2 Особенности интеллектуальных систем УНО.....	19
4.3 Техническое оснащение интеллектуальных систем УНО.....	19
5 Выбор и обоснование схемы электроснабжения системы наружного освещения города	21
6 Расчет токов короткого замыкания	23
7 Расчет и выбор электрооборудования и проводников	37
7.1 Выбор и проверка выбранных кабельных линий.....	37
7.2 Выбор электрооборудования и коммутационно-защитной аппаратуры	41
8 Организация учета электроэнергии системы наружного освещения города	55
9 Расчет системы заземления, режим работы нейтрали на стороне 0,4 кВ	57
Заключение	59
Список используемых источников.....	60

Введение

Под модернизацию систем освещения в России существует значительная база правовых документов. Основное требование к этим документам – это энергоэффективность. Светодиодные источники энергии в современном освещении, этому очень сильно способствуют. Они позволяют в разы сократить расходы на электроэнергию и дать разгрузку на другие задачи и решения к ним. Если раньше стоимость светодиодных светильников была значительно выше устаревших видов источников света, то на текущий момент производители изготавливают современные светильники по вполне себе конкурирующим ценам, что положительным образом сказывается на модернизации в отрасли.

Ещё экономичней становится, если в совокупности со светодиодным освещением используется так называемая «умная» система управления. Такая технология уже вполне успешно используется в ряде стран. Особенно актуальна такая система в странах с большими мегаполисами и разнообразным климатом.

Также не стоит забывать и об эстетике, при проектировании освещения. Этот тренд набирает большую популярность. Городское пространство, благодаря подсветки зданий и высвечиванию отдельных зон, намного повышает уровень своей привлекательности, что в свою очередь в лучшую сторону сказывается на туризме.

Есть три основных фактора по экономичности системы:

- энергоэффективность (использование светодиодов);
- использование интеллектуальной системы освещения;
- объединение подсветки зданий и сооружений совместно с функциями освещения.

И если все эти три фактора объединить, то в такой системе освещения, экономичность в разы будет отличаться, от более устаревшей системы.

1 Виды систем освещения города

1.1 Вид применяемых систем освещения городов в настоящее время

Множество факторов в современном мире зависит от света. От наружного освещения зависит:

- уют,
- комфорт,
- безопасность,
- красота,
- привлекательность.

Вопросам освещения в России уделяется в настоящее время большое внимание. Но большая часть из всех новых, планируемых или уже введённых в работу проектов, не являются полностью автоматизированными.

Управление освещением можно разделить на:

а) групповое управление.

Это даёт возможность управлять целой линией световых приборов.

Групповое управление делится на:

- ручное (рубильник);
- с помощью устройств автоматики;
- дистанционный контроль.

б) индивидуальное управление.

Что подразумевает возможность управления каждым прибором.

«Под индивидуальным управлением подразумевается возможность управления и контроля каждым осветительным прибором (технология индивидуального контроля и управления светильниками).

Индивидуальное управление – это возможность регулирования яркости, возможность контролировать каждый осветительный прибор, не

меня при этом положение других приборов» [25].

Наружное освещение освещает:

- улицы,
- дороги,
- жилой сектор,
- частные и промышленные зоны,
- торговые и бизнес-центры,
- школы, больницы и так далее.

Освещение городских территорий делится на несколько типов:

- освещение дорог и магистралей. Рефлекторный – это свет, который даёт сконцентрированный поток;
- освещение второстепенных дорог. Рефлекторный или рассеянный свет. Свет рассеивается с помощью специального плафона;
- подсветка архитектурного значения;
- освещение пешеходных, велосипедных и зон отдыха. Рассеянный тип освещения.

К критериям выбора фонарей относят:

- качество,
- эстетика,
- эксплуатационный срок.

Именно эти критерии и обеспечивают необходимый уровень в плане освещённости.

Фонари могут быть следующих типов:

- лампы газовые,
- лампы накаливания,
- светодиодные лампы,
- индукционные лампы.

Разновидность фонарей представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Разновидность фонарей

Неотъемлемой частью уличного освещения являются – блоки управления наружным освещением (рисунок 2). Блоки предназначены для контроля всего наружного освещения в определенной зоне.



Рисунок 2 - Блок управления наружным освещением

Функция шкафов – управление всем наружным освещением. Шкафы имеют наружный тип установки, что является большим плюсом.

Способы управления блоками:

- местное,

- ручное,
- дистанционное.

Обязательно наличие диспетчерского пункта в последнем способе.

1.2 Перспективные системы освещения городов

Функции автоматизированной системы освещения:

- отслеживание и измерение параметров сети;
- диагностика состояния оборудования.

Системы управления освещением (СУО) набирают популярность как в маленьких, так и крупных населенных пунктах. СУО помогают существенно сэкономить на затратах, на обслуживании, и облегчают процесс управления светом.

На российском рынке преимущественно преобладает групповое управление. Среди импортных – индивидуальный контроль.

Автоматизированные системы управления имеют преимущества:

- прозрачность в плане контроля,
- экономичность,
- эстетика.

Главное преимущество группового управления освещением – это низкая стоимость.

Также производители научились стабилизировать световой поток на время всего периода эксплуатации. Тем самым обеспечивают постоянный уровень освещенности во время всего срока службы.

Вывод по разделу 1: одними из главных критериев при выборе уличного электроосвещения являются энергоэффективность и качество. Также, следует обращать внимание на современные системы управления освещением (СУО), которые помимо основных функций, помогают в сборе информации об окружающей среде.

2 Проектирование системы наружного освещения города

Определение категории, к которой принадлежит дорога или улица, зависит от площадок, на которых проводится монтаж оборудования. Во внимание берутся следующие факторы:

- скорость и характеристика транспорта,
- специфики полос и так далее.

Площадки делятся на автомагистрали и городские улицы (маркировка А1-4), районные (Б1-2) и местные (В1-3). Для выбора категории используют таблицу №14 СП 42.13330.2011 [22].

Выбор системы освещения, источников света, типа световых приборов, схемы и координат их расположения производится на основании технико-экономического анализа.

Задачей проектирования является соответствие экологическим и светотехническим нормам. Нужно добиться удобства эксплуатации и безопасности всей системы.

Также имеет значение тип покрытия. Так как для разного покрытия существуют разные требования.

Правильность определения типа территории очень важна. Это необходимо для выбора соответствующих норм. Далее уже проводят светотехнический расчет, выбирают тип опор, а также тип светильников.

Первый этап работы над проектом уличного освещения – обследование объекта. Необходимо установить, к какой категории он принадлежит: отдельное здание, городская дорога, парк, жилой двор, микрорайон. Важны все особенности территории: переходы, линии движения электротранспорта, места посадки-высадки пассажиров, расположение других объектов инфраструктуры. От этого зависит режим работы освещения, поскольку в местах нахождения пешеходов светильники должны работать всю ночь.

Основным регламентирующим документом здесь выступает ГОСТ Р 55706-2013 «Освещение наружное утилитарное». В нем представлены классы

объектов по освещению и соответствующие им нормативы освещенности [7].

Дополнительно можно пользоваться СП 52.13330.2016, где тоже содержатся нормы для этой отрасли. К примеру, согласно 7.5.7.1 освещенность витрин магазинов определяется на высоте 1,5 м от тротуара. В зависимости от категории улицы (А, Б, В) значение будет составлять 300, 200 или 100 лк. Дополнением к основному освещению витрины используется акцентное, составляющее от него не более 20%.

После обследования территории и установления нормативов приступают к разработке проекта наружного освещения улицы. Основные этапы здесь следующие:

- выбор опор освещения и светильников. Подбор схемы их размещения на объекте. К примеру, для организации не только освещения, но и контактной сети электротранспорта потребуются специальные силовые опоры: СП и ОС. А чтобы дополнительно установить на столбе светофор, нужно выбирать СОД-Г или СОД-П;
- выполнение светотехнического расчета с определением светового потока и яркости ламп. Если при расчете установлено, что необходимое значение не достигнуто, проект корректируют, заменяя те или иные конструкции или меняя место их расположения;
- выбор способов подключения и управления оборудованием;
- составление схемы прокладки кабельных линий.

По окончании проектирования наружного освещения улиц формируется пакет проектной документации, состоящий из текстовой и графической частей. Все это необходимо согласовать с надзорными органами.

Вывод по разделу 2: основной задачей проектирования осветительной системы – обеспечение условий, чтобы освещение соответствовало экологическим и светотехническим нормам.

3 Расчет перспективной системы освещения города

3.1 Нормы освещенности

Освещение улиц, дорог и площадей с регулярным транспортным движением в городских поселениях следует проектировать исходя из нормы средней яркости усовершенствованных покрытий согласно таблице 1.

Освещение улиц, дорог и площадей городских поселений, расположенных в северной строительно-климатической зоне азиатской части России и севернее 66° северной широты в европейской части России, следует проектировать исходя из средней горизонтальной освещенности покрытий проезжей части согласно таблице 1. Уровень освещения проезжей части улиц, дорог и площадей с переходными и низшими типами покрытий в городских поселениях регламентируется величиной средней горизонтальной освещенности, которая для улиц, дорог и площадей категории Б должна быть 6 лк, для улиц и дорог категории В при переходном типе покрытий - 4 лк и при покрытии низшего типа - 2 лк. Категории улиц и дорог городов по функциональному назначению принимаются в соответствии с классификацией В. Дорожные покрытия относятся к усовершенствованным, переходным или низшим типам в соответствии с классификацией.

Средняя яркость покрытий тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц, дорог и площадей, должна быть не менее половины средней яркости покрытия проезжей части этих улиц, дорог и площадей, приведенной в таблице 1.

Отношение минимальной яркости покрытий к среднему значению должно быть не менее 0,35 при норме средней яркости более $0,6 \text{ кд/м}^2$ и не менее 0,25 при норме средней яркости $0,6 \text{ кд/м}^2$ и ниже. Отношение минимальной яркости покрытия к максимальной по полосе движения должно быть не менее 0,6 при норме средней яркости более $0,6 \text{ кд/м}^2$ и не менее 0,4 при норме средней яркости $0,6 \text{ кд/м}^2$ и ниже [5].

Таблица 1 - Таблица освещенности СП 52.13330.2011

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед/ч	Средняя Яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	Свыше 3000	1,6	20
		От 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15
Б	Магистральные улицы районного значения	Свыше 2000	1,0	15
		От 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
		Менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения	Свыше 500	0,4	6
		Менее 500	0,3	4
		Одиночные автомобили	0,2	4

Требования, предъявляемые к уличному освещению автомобильных дорог как за пределами, так и в населенных пунктах, отличаются в зависимости от интенсивности движения.

Средняя яркость покрытия скоростных дорог независимо от интенсивности движения транспорта принимается 1,6 кд/м² в черте города и 0,8 кд/м² вне города на подъездных к аэропортам, речным и морским портам крупнейших городов.

Средняя яркость или средняя освещенность покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух и более уровнях на всех пересекающихся магистралях должна быть как на основной из них, так и на съездах и ответвлениях в черте города - не менее 0,8 кд/м², или 10 лк [6].

Среднюю горизонтальную освещенность на уровне покрытия непроезжих частей улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов в городских поселениях следует принимать согласно таблице 2.

Таблица 2 - Средняя горизонтальная освещенность на уровне покрытия

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Главные пешеходные улицы, непроезжие части площадей категорий А и Б и предзаводские площади	10
Пешеходные улицы: - в пределах общественных центров - на других территориях	6 4
Тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категорий: - А и Б - В	4 2
Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий	10
Пешеходные мостики Пешеходные тоннели: - днем - вечером и ночью	100 50 20
Лестницы пешеходных тоннелей вечером и ночью Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категорий: - А - Б - В	10 6 4 2
Территории микрорайонов, проезды: - основные - второстепенные, в том числе тротуары-подъезды	4 2

Норма распространяется также на освещенность тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц категорий Б и В с переходными и низшими типами покрытий.

На главных пешеходных улицах исторических городов средняя полуцилиндрическая освещенность должна быть не менее 6 лк.

Среднюю горизонтальную освещенность на уровне покрытия улиц, дорог, проездов и площадей следует принимать по таблице 3.

Освещенность участков автомобильных дорог общей сети в пределах сельских поселений следует принимать как для улиц категории Б в зависимости от типа дорожного покрытия по таблице 1.

Таблица 3 – Средняя горизонтальная освещенность на уровне покрытия улиц, дорог и проездов

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Главная улица, площади общественных и торговых центров	4
Улицы в жилой застройке:	
- основная	4
- второстепенная (переулок)	2
- проезд	2
Поселковая дорога	2

В проектах наружного освещения улиц и дорог категорий А и Б следует предусматривать освещение участков неосвещенных примыкающих улиц и дорог (по нормам освещения этих улиц и дорог) длиной 100 м.

В ночное время допускается предусматривать снижение уровня наружного освещения улиц, дорог и площадей при нормируемой средней освещенности 4 лк, или средней яркости $0,4 \text{ кд/м}^2$ и более путем включения не более половины светильников, исключая при этом выключения двух подряд расположенных, или с помощью регулятора светового потока разрядных ламп высокого давления до уровня не ниже 50 % номинального без отключения светильников.

На улицах и дорогах при нормируемых величинах средней яркости $0,3 \text{ кд/м}^2$, или средней освещенности 4 лк и менее, на пешеходных мостиках, автостоянках, пешеходных аллеях и дорогах, внутренних, служебно-хозяйственных и пожарных проездах, а также на улицах и дорогах сельских поселений частичное или полное отключение освещения в ночное время не допускается [23].

На улицах, дорогах и транспортных зонах категорий А и Б показатель ослепленности для осветительных установок не должен превышать 150.

Светильники наружного освещения, установленные на стенах зданий, не должны засвечивать окна жилых зданий.

В установках наружного освещения следует использовать светильники с разрядными источниками света высокого давления, в том числе для установок освещения улиц и дорог с транспортным движением — преимущественно с натриевыми лампами высокого давления.

Параметры для уличных приборов определяют по методике, расписанной в регламенте 55708-2013. При нестандартной геометрии, необходимо чтобы яркость соответствовала всем нормам.

3.2 Выбор системы освещения

Самым простым способом при проектировании уличного освещения является выполнение всех расчетов с использованием программ, по типу DIALux. Коэффициент безопасности в диапазоне 1,5...1,7 (Таблица 3, СП 52.13330.2011). При использовании уже установленных контактных столбов с напряжением 0,4 кВ. необходимо подойти более ответственно к выбору ламп.

Если есть требования к более высокому уровню освещения, следует выбрать более мощные или установить дополнительные лампы.

Более высоким уровнем освещенности следует обеспечить:

- улицы вблизи автомагистралей,
- пешеходные переходы,
- выезды,
- перекрестки,
- ж/д переезды.

3.3 Светотехнический расчёт

«Выбор светодиодного светильника осуществляем методом коэффициента использования по средней освещенности.

Выбираем светильники типа KEDR 2.0 СКУ. Консольный светодиодный светильник KEDR 2.0 СКУ разработан с применением технологии «безреберного теплоотвода FINFREE» [14]. Эти светильники обладают тонкими корпусами толщиной всего 7 мм. Конструкция светильников позволяет производить замену ламп без демонтажа.

Преимущества:

- эффективность 140 лм/Вт,
- светильники мощностью с шагом в 5 Вт,
- вторичная оптика собственного производства,
- простой монтаж,
- уровень защиты IP 67.

«Для проведения расчета светотехнической установки остановим свой выбор на светильниках типа KEDR 2.0 СКУ со световым потоком 10000 лм.

В связи с тем, что места по расположению опор были намечены по ранее существующей схеме, то расстояние между опорами выбираем равным 25 метров.

Главной улицей является проезжая часть, поэтому среднюю нормируемую освещенность примем согласно СП 52.13330.2011 - 10 лк.» [21].

«Тротуар расположен отдельно от проезжей части, следовательно нормируемая освещенность согласно СП 52.13330.2011 - 4 лк.

Исходя из того, что световой поток 10000 лм, светильник установим на высоте 8 метров, высота нашей опоры это позволяет:

- $D = 25$ м – это расстояние между опорами;
- $\Phi_{\text{л}} = 10000$ лм – световой поток;
- $b = 8$ м – ширина дороги;
- $h = 8$ м – высота при установке светильника;
- $b_2 = 0,6$ м – расстояние от опоры до дороги.» [14].

Шаг светильников можем определить по формуле (1):

$$D = \frac{N \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot U_{\text{Е}}}{E_{\text{ср}} \cdot b \cdot K_{\text{з}}}, \quad (1)$$

где D – шаг светильников, м;

N – количество светильников на опоре;

b – ширина освещаемой площади, м;

$E_{\text{ср}}$ – нормируемая средняя освещенность, лк;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса;

$U_{\text{Е}}$ – коэффициенты светового потока по освещенности.

Ниже определяем коэффициент использования по формуле (2):

$$U_{\text{Е}} = U_1 + U_2. \quad (2)$$

Значение U_1 находится по величине:

$$b/h = (b + b_2)/h,$$

$$b/h = (8 + 0,6)/8 = 1,075.$$

Из справочника коэффициентов светового потока:

$$U_1 = 0,268.$$

Далее аналогично находим:

$$U_2 = f(b_2/h) = 0,034.$$

Отсюда следует:

$$U_{\text{Е}} = 0,268 + 0,034 = 0,302.$$

«По таблице 1, записанной для одного ряда светильников, можем определить среднюю освещенность на проезжей части» [14]. Отсюда делаем вывод, что светильники типа KEDR 2.0 СКУ по всем условиям подходят к нашему проекту.

3.4 Технологические и конструктивные решения

Все стандарты, относящиеся к сооружаемым конструкциям, их специфики устройства воздушной магистрали электропередач и их заземления, имеются в главе 2.4 ПУЭ, выпуск семь. При использовании электрической сети, находящейся в эксплуатации городским транспортом и для обустройства внешнего освещения, чтобы выполнить необходимое обеспечение необходимы более мощные элементы. Это касается как трамвайных остановок, так и пешеходных переходов.

Соединение трехфазной сети и устройства должно быть равномерным.

Вывод по разделу 3: после проведения расчета светотехнической установки, был сделан выбор на типах светильников KEDR 2.0 СКУ, которые имеют преимущества в отношении светотехнических норм, а также по эстетическим соображениям.

4 Интеллектуальные системы управления наружным освещением

4.1 Преимущества интеллектуальных систем УНО

Сокращения затрат на электроэнергию – одно из главных преимуществ данной системы. Экономия может достигать порядка 35%. Достигается она благодаря:

- выборочному затемнению;
- за счет интеллектуального включения/отключения.

Эксплуатационные затраты понизятся вплоть до 42% за счет:

- затемнения и отключения в запрограммированное время;
- за счет прогноза употребления энергии;
- повышения срока эксплуатации;
- метода прогноза в реальном времени 24 на 7;
- наличия информации о поломке;
- уменьшения всех затрат на обслуживание.

4.2 Особенности интеллектуальных систем УНО

Интеллектуальная система не требует никакой дополнительной установки оборудования и компонентов. Способность работать с любыми видами ламп, делает эту систему очень привлекательной для рынка в этой отрасли

4.3 Техническое оснащение интеллектуальных систем УНО

В связи с тем, что последнее время на рынке радиокомпонентов появилось огромное количество новых светодиодов практически любого цвета и мощности, появились и вопросы их подключения к источнику

питания.

Есть две самых основных задачи, которые надо решить при подключении светодиодов:

- получить стабильный ток в цепи светодиодов;
- обеспечить достойный теплоотвод.

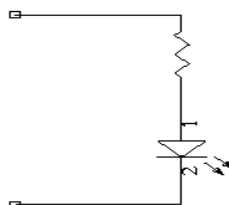


Рисунок 3 - Схема подключения светодиода

Один из способов получить стабильный ток через светодиод – это включение его в цепь через резистор (рисунок 3). При этом питающее напряжение необходимо увеличить минимум в 2 раза выше рабочего светодиода.

Ток, который проходит через светодиод рассчитываем по формуле (3):

$$I_{\text{led}} = \frac{U_{\text{пит.}} - U_{\text{раб. диода}}}{R_1} \quad (3)$$

«Светодиодное освещение – это основа нашего будущего. Однако, для успешного воплощения заложенного в светодиодах потенциала необходимо создание государственной программы научных исследований, технологических разработок, технических разработок светотехнических устройств и продвижения их на рынок» [16].

Вывод по разделу 4: одним из главных качеств данной системы – это отсутствие требований по дополнительной установке компонентов и способность работать с любыми видами ламп.

5 Выбор и обоснование схемы электроснабжения системы наружного освещения города

Выполнение сетей 10 кВ в соответствии с ВСН 97-83 регламентировано по принципу петлевой схемы.

Надежность и гибкость в первую очередь обеспечивает такая схема в системе электроснабжения города. Это дает использовать реверсивные направления потоков мощности.

Также возможно производить ревизию и опробование любого выключателя, не нарушая при этом работы элементов схемы. Это один из плюсов данной схемы, так как уменьшается длительность ремонта и повышается уровень надежности системы.

Оперирование разъединителями в данной схеме необходимо только для ремонта оборудования.

Но следует сказать и о минусах данной петлевой схемы. «Один из них – это сложный выбор выключателей, трансформаторов тока, и разъединителей, устанавливаемых в петле, так как режим работы постоянно меняется то меняется и ток, протекающий по аппаратам» [1].

«Для наружного освещения городов применяется каскадная схема дистанционного управления, которая приведена на рисунке 4.

Управление линиями освещения в этой схеме осуществляется следующим образом:

- катушка магнитного пускателя второго участка подключается в линию первого;
- катушка магнитного пускателя третьего участка в линию второго.

Также есть возможность производить включение и отключение магнитных пускателей из диспетчерского пункта, благодаря телемеханическим устройствам» [18].

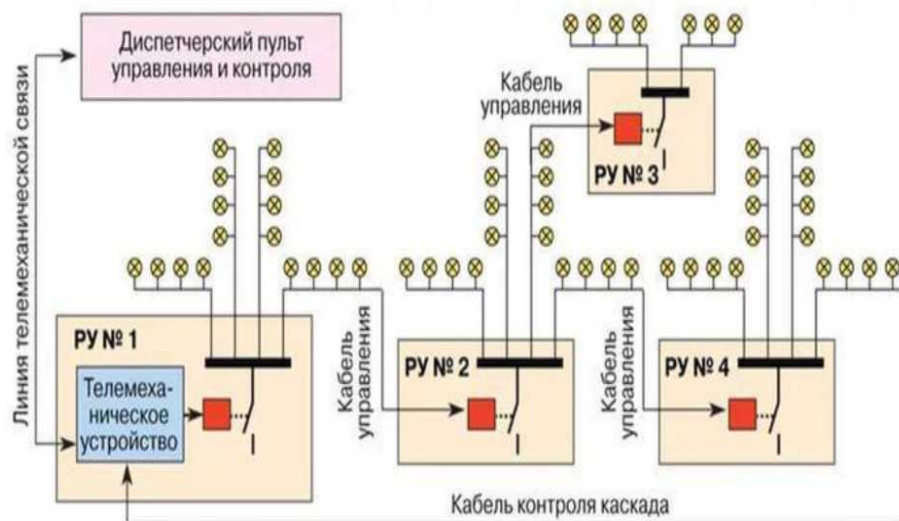


Рисунок 4 - Каскадная схема дистанционного управления

Дистанционное управление освещением обладает следующими функциями:

- вечерний режим,
- ночной режим.

Каждая трансформаторная подстанция (ТП) – это основа звена системы электроснабжения. На ТП установлены двухобмоточные трансформаторы, схема соединения обмоток в этих трансформаторах «треугольник»/«звезда».

Вывод по разделу 5: требования бесперебойности и надёжности электроснабжения потребителей, являются ключевыми при выборе схемы электроснабжения.

6 Расчет токов короткого замыкания

Надежность работы любой электроустановки является важнейшим этапом при выборе проводников и токоведущих частей аппаратов.

«Проводники и аппараты должны:

- длительное время проводить рабочие токи без повышения (сверх нормы) температуры;
- иметь проводимость тепловому и электродинамическому действию токов короткого замыкания;
- иметь устойчивость к механическим нагрузкам;
- удовлетворять требованиям в плане экономичности.

Высоковольтные оборудование выбирается по условиям длительного режима работы и проверяются по условиям коротких замыканий.

Для всех аппаратов производится выбор и проверка:

- по напряжению;
- по нагреву при длительных токах;
- по исполнению;
- на электродинамическую стойкость;
- на термическую стойкость» [2].

«КЗ являются одной из основных причин нарушения нормального режима работы оборудования. Правильно определив токи КЗ, мы снижаем ущерб, обусловленный выходом из строя оборудования. После этого уже переходим к выбору защитных устройств, электрооборудования и средств ограничения токов короткого замыкания.

Трёхфазное короткое замыкание является расчетным видом для выбора и проверки параметров оборудования.

Расчёт токов КЗ осуществляется со следующими допущениями, которые не дают существенных погрешностей» [12]:

- не учитываются ёмкостные токи в кабельных и воздушных сетях;

- не учитывается сдвиг по фазе ЭДС источников питания;
- не учитываются токи нагрузки;
- трёхфазная сеть принимаем симметричной;
- не учитываются насыщение магнитных систем.

«Данные для расчёта:

- мощность трансформаторов на ГПП 2×6300 кВ·А;
- мощность трёхфазного короткого замыкания питающей системы при максимальном режиме – 221 МВ·А.

Расчёт производится в системе относительных базисных единиц при следующих условиях.

Базисная мощность $S_6 = 1000$ МВ·А.

Базисное напряжение принимаем равным среднему номинальному:

- для ступени высшего напряжения $U_{61} = 115$ кВ;
- для ступени низшего напряжения $U_{62} = 10$ кВ» [19].

Базисный ток определим по формуле (4):

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}, \quad (4)$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,73 \text{ А}.$$

Определение сопротивлений элементов схемы замещения.

- сопротивление системы определяется по формуле (5):

$$X_1 = X_c = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{1000}{221} = 4,52 \text{ Ом}, \quad (5)$$

$$R_1 = R_c = \frac{x_1}{\left(\frac{X}{R}\right)} = \frac{4,52}{20} = 0,226 \text{ Ом}.$$

- сопротивление трансформатора определяется по формуле (6):

$$X_2 = X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{КВН}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{H}} \cdot n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3 \cdot 2} = 8,33 \text{ Ом}, \quad (6)$$

$$R_2 = R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot S_{\delta}}{S_{\text{H}}^2 \cdot n} = \frac{0,12 \cdot 1000}{6,3^2 \cdot 2} = 1,51 \text{ Ом}.$$

– сопротивление кабельных линий по формуле (7):

$$X_3 = X_{\text{пог}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = 0,076 \cdot 0,197 \cdot \frac{1000}{10^2} = 0,149 \text{ Ом}, \quad (7)$$

$$R_3 = R_{\text{пог}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 2}^2} = 0,258 \cdot 0,197 \cdot \frac{1000}{10^2} = 0,5 \text{ Ом}.$$

Расчёт тока при трёхфазном коротком замыкании (рисунок 5) в точке K_1 .

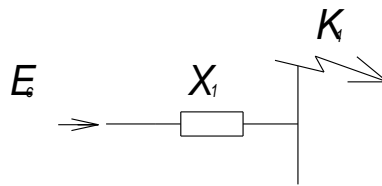


Рисунок 5 - Трёхфазное короткое замыкание в точке K_1

Сопротивления при трехфазном КЗ в точке K_1 :

$$X_{\text{к1}} = X_1 = 4,52 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{к1}} = R_1 = 0,226 \text{ Ом}.$$

Определим по формуле (8) токи короткого замыкания:

$$I_{k1}^{II} = \frac{E_3^{II}}{X_{k1}}, \quad (8)$$

$$I_{k1}^{II} = \frac{E_3^{II}}{X_{k1}} = \frac{1}{4,52} = 0,221,$$

$$I_{k1}^{II} = I_{k1}^{II} \cdot I_{\sigma 1} = 0,221 \cdot 5,02 = 1,109 \text{ кА}.$$

«Ударный ток трёхфазного КЗ в точке K_1 :

$$i_{уд} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}^{II},$$

где K_y – ударный коэффициент.

Ударный коэффициент находится по формуле:

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}},$$

где T_a – постоянная времени.

Коэффициент постоянной времени находим по формуле:

$$T_a = \frac{X_{k1}}{\omega \cdot R_{k1}} = \frac{4,52}{314 \cdot 0,226} = 0,0637 \text{ с},$$

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0637}} = 1,85,$$

$$i_{уд} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}^{II} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,109 = 2,9 \text{ кА}». \quad (9)$$

Расчёт тока при трёхфазном КЗ (рисунок 6) в точке K_2 .

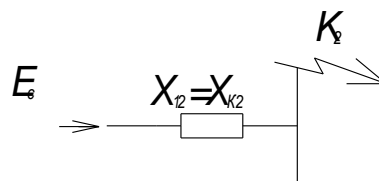


Рисунок 6 - Трёхфазное короткое замыкание в точке K_2

Сопровитления при трёхфазном КЗ в точке К₂:

$$X_{к2} = X_1 + X_2 = 4,52 + 8,33 = 12,85 \text{ Ом},$$
$$R_{к2} = R_1 + R_2 = 0,226 + 1,51 = 1,736 \text{ Ом}.$$

Определим токи короткого замыкания:

$$I_{к2}^{\text{II}} = \frac{E_9^{\text{II}}}{X_{к2}} = \frac{1}{12,85} = 0,077,$$
$$I_{к2}^{\text{II}} = I_{к2}^{\text{II}} \cdot I_{б2} = 0,077 \cdot 57,73 = 4,44 \text{ кА}.$$

Определим постоянную времени:

$$T_a = \frac{X_{к2}}{\omega \cdot R_{к2}} = \frac{12,85}{314 \cdot 1,736} = 0,0235 \text{ с}.$$

Определим ударный коэффициент:

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0235}} = 1,65.$$

Ударный ток трёхфазного КЗ в точке К₂:

$$i_{уд} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2}^{\text{II}} = 1,65 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,44 = 10,36 \text{ кА}.$$

Рассчитаем ток при трёхфазном коротком замыкании (рисунок 7) в точке К₃.

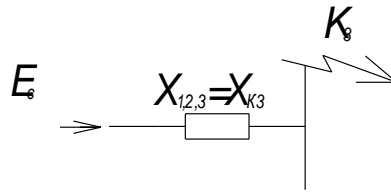


Рисунок 7 - Трёхфазное короткое замыкание в точке K_3

Сопротивления при трехфазном КЗ в точке K_3 :

$$X_{к3} = X_1 + X_2 + X_3 = 4,52 + 8,33 + 0,149 = 13 \text{ Ом},$$

$$R_{к3} = R_1 + R_2 + R_3 = 0,226 + 1,51 + 0,5 = 2,236 \text{ Ом}.$$

Определим токи короткого замыкания:

$$I_{к3}^{\text{II}} = \frac{E_3^{\text{II}}}{X_{к3}} = \frac{1}{13} = 0,077,$$

$$I_{к3}^{\text{II}} = I_{к3}^{\text{II}} \cdot I_{б2} = 0,077 \cdot 57,73 = 4,44 \text{ кА}.$$

Определение постоянной времени:

$$T_a = \frac{X_{к3}}{\omega \cdot R_{к3}} = \frac{13}{314 \cdot 2,236} = 0,0185 \text{ с}.$$

Определение ударного коэффициента:

$$K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0185}} = 1,58.$$

Ударный ток трёхфазного КЗ в точке K_3 :

$$i_{уд} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к3}^{II} = 1,58 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,44 = 9,92 \text{ кА.}''$$

«Задача релейной защиты – это выявить и отключить поврежденный участок.

Требования к релейной защите:

- надежность,
- быстродействие,
- чувствительность,
- селективность.

Релейная защита выполняется в соответствии с 3-м разделом ПУЭ и «Руководящими указаниями».

АПВ и АВР – это основные виды автоматики.

За счет АВР повышается надежность схемы, благодаря возможности быстро восстановить питание.

АПВ – это быстрое восстановление питания после самоликвидации кратковременных самоустраняющихся коротких замыканий.

В некоторых случаях возможно использование дистанционных защит, улучшающих отстройку от запуска и самозапуска двигателей.

Непосредственно на линиях, отходящих от шин ГПП, как правило, имеется максимальная токовая защита.

Для трансформаторов 1000кВА и более, эта защита необходима для резервирования всех основных защит: дифференциальной, газовой и токовой отсечки» [18].

«Защита от перегрузки кабельных линий и трансформаторов, обычно в таких случаях не предусматривается.

Рассчитаем токи короткого замыкания с РПН» [4].

«Исходные данные:

- напряжение сети, $U_{ср.ном} = 115 \text{ кВ}$;
- мощность трансформатора $S_n = 6,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}$;

- мощность трехфазного КЗ на шинах питающей системы в максимальном режиме $S_{к.макс} = 227 \text{ МВ}\cdot\text{А}$;
- мощность трехфазного КЗ на шинах питающей системы в минимальном режиме $S_{к.мин} = 215 \text{ МВ}\cdot\text{А}$;
- удельное индуктивное сопротивление линии $X_0 = 0,6 \text{ Ом/км}$;
- напряжение ВН трансформатора,» [11] среднему положению регулятора РПН $U_{вн} = 115 \text{ кВ}$;
- напряжение КЗ трансформатора $U_{кз} = 10,5 \%$;
- пределы регулирования РПН $\Delta U_{кз} = \pm 16 \%$;
- номинальное напряжение ВН трансформатора, крайних положений регулятора РПН:

$$+16\%, U_{вн.макс} = U_{ср.ном} (I + \Delta U) = 133,42 \text{ кВ};$$

$$-16\%, U_{вн.мин} = U_{ср.ном} (I - \Delta U) = 96,58 \text{ кВ}.$$

- напряжение КЗ трансформатора, соответствующая крайним положениям РПН:

$$\Delta U_{ВН-НН} = 11 \%;$$

$$\Delta U_{СН-НН} = 15 \%.$$

- номинальное напряжение стороны НН трансформатора $U_{НН} = 10 \text{ кВ}$.

Расчет «сопротивлений системы.

- в максимальном режиме:

$$X_{с.макс} = \frac{U_{ср.ном}^2}{S_{к.макс}} = \frac{115^2}{227} = 58,25 \text{ Ом}.$$

- в минимальном режиме:

$$X_{с.мин} = \frac{U_{ср.ном}^2}{S_{к.мин}} = \frac{115^2}{215} = 61,51 \text{ Ом.}$$

Сопротивление питающей линии:

$$X_{л} = X_0 \cdot l = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора:

- среднее положение РПН:

$$X_{т} = \frac{U_{к}}{100} \cdot \frac{U_{ср.ном}^2}{S_{н}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{6,3} = 55,54 \text{ Ом.}$$

- крайнее положение РПН:

$$X_{т.макс} = \frac{U_{к.макс}}{100} \cdot \frac{U_{вн.макс}^2}{S_{н}} = \frac{15}{100} \cdot \frac{133,42^2}{6,3} = 74,76 \text{ Ом,}$$

$$X_{т.мин} = \frac{U_{к.мин}}{100} \cdot \frac{U_{вн.мин}^2}{S_{н}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{96,58^2}{6,3} = 39,17 \text{ Ом.}$$

Максимальный ток при трехфазном КЗ на стороне НН трансформатора, приведенный на стороне ВН трансформатора:

$$\begin{aligned} I_{к.макс} &= \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_{с.макс} + X_{л} + X_{т.мин})} = \\ &= \frac{115}{\sqrt{3} \cdot (58,25 + 0,6 + 39,17)} = 1,38 \text{ кА.} \end{aligned}$$

Минимальный ток при трехфазном КЗ на стороне НН трансформатора, приведенный на стороне ВН трансформатора:

$$I_{к.мин.В} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_{с.мин} + X_{л} + X_{т.макс})} =$$

$$= \frac{115}{\sqrt{3} \cdot (61,51 + 0,6 + 74,76)} = 0,76 \text{ кА.}$$

Приведенный к стороне НН трансформатора:

$$I_{к.мин.Н} = I_{к.мин.В} \cdot \frac{U_{ВН.макс}}{U_{НН}} = 0,76 \cdot \frac{133,42}{10} = 10,14 \text{ кА} \gg [12].$$

«Исходные данные и переход к выбору трансформаторов тока (ТТ), для расчета дифференциальной защиты трансформаторов:

- первичные номинальные токи обмоток определяем по формуле:

$$I_{н} = \frac{S_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}},$$

$$ВН - I_{н} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31 \text{ А,}$$

$$НН - I_{н} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10} = 363 \text{ А.}$$

- соединение вторичных обмоток ТТ:

ВН – Δ» [10],

«НН – Y.

- принятое значение коэффициента трансформации ТТ:

$K_{тВН} - 100/5,$

$K_{тНН} - 700/5.$

- расчетный коэффициент трансформации ТТ:

$$\text{ВН} - K_{\text{Т}\Delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{нВ}}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 31}{5} = 11,$$

$$\text{НН} - K_{\text{Т}\text{У}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{нН}}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 363}{5} = 126.$$

Определим уставки и чувствительность продольной дифференциальной защиты:

- ток срабатывания реле, приведенный к стороне ВН:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{сз}}}{K_{\text{Т}\Delta}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 47}{100/5} = 5,42 \text{ А.}$$

- первичный ток срабатывания защиты от броска тока намагничивания,
 $I_{\text{сз}} = 1,5 \cdot I_{\text{н}}$:

$$\text{НН} - I_{\text{сз}} = 1,5 \cdot 363 = 545 \text{ А,}$$

$$\text{ВН} - I_{\text{сз}} = 1,5 \cdot 31 = 47 \text{ А.}$$

- принятое число витков рабочей обмотки реле, включенных в плечо со стороны ВН:

$$W_1 \leq W_{1\text{расч}},$$

$$W_1 = 18.$$

- расчетное число витков рабочей обмотки реле, включенных в плечо со стороны ВН:

$$W_{1\text{расч}} = \frac{100}{I_{\text{ср}}} = \frac{100}{5,42} = 18,45.$$

- расчетное число витков рабочей обмотки реле, включенных в плечо со стороны НН:

$$W_{2\text{расч}} = \frac{W_1 \cdot i_{\text{н}\Delta}}{i_{\text{н}\Upsilon}} = \frac{18 \cdot 1,278}{3,81} = 6,037.$$

- принятое число витков рабочей обмотки реле, включенных в плечо со стороны НН:

$$W_2 \leq W_{2\text{расч}},$$

$$W_2 = 6.$$

- расчетное число витков тормозной обмотки реле, включенных в плечо со стороны НН:

$$\begin{aligned} W_{\text{Трасч}} &= \left(\varepsilon + \Delta U + \frac{W_2 - W_{2\text{расч}}}{W_{2\text{расч}}} \right) \cdot \frac{1,5 \cdot W_2}{\text{tg}\alpha} = \\ &= \left(0,1 + 0,16 + \frac{6 - 6,037}{6,037} \right) \cdot \frac{1,5 \cdot 6}{0,87} = 2,626, \end{aligned}$$

где $\varepsilon = 0,1$ – относительная полная погрешность ТТ;

ΔU – относительная погрешность, обусловленная РПН;

$\text{tg}\alpha = 0,87$.

- принимаемое число витков тормозной обмотки реле:

$$W_m \geq W_{\text{Трасч}}.$$

Выбор из ряда: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 18, 24.

$$W_m = 3.$$

Минимальное значение коэффициента чувствительности защиты при двухфазном» [15] коротком замыкании на стороне НН:

- среднее ответвление:

$$K_{ч1}^{(2)} = \frac{i_{p1} \cdot W_1}{100} \geq 2,$$

$$K_{ч1}^{(2)} = \frac{34 \cdot 18}{100} = 6,12.$$

- крайнее ответвление:

$$K_{ч2}^{(2)} = \frac{i_{p2} \cdot W_2}{100} \geq 1,5,$$

$$K_{ч2}^{(2)} = \frac{23 \cdot 23}{100} = 2,53.$$

Выбор реле ДЗТ- 11.

Рассчитаем максимальную токовую защиту:

- вторичный ток:

$$I_{cp} = \frac{I_{сз}}{K_i} \cdot K_{сх} = \frac{47}{120} \cdot 1 = 0,4 \text{ А.}$$

- ток срабатывания защиты на стороне 110 кВ:

$$I_{сз} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{НОМ} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 31 = 47 \text{ А.}$$

- ток срабатывания защиты на стороне 10 кВ:

$$I_{сз} = K_{сх} \cdot \frac{K_H}{K_B} \cdot K_p \cdot I_{НОМ} = 1 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 363 = 1089 \text{ А.}$$

где $K_{сх}$ - коэффициент схемы;

K_p - коэффициент кратности максимального тока $K_p = 2$;

K_H - коэффициент надежности $K_H = 1$;

K_B - коэффициент возврата $K_B = 0,8$.

- вторичный ток:

$$I_{ср} = \frac{1089}{600} = 1,81 \text{ А.}$$

Вывод по разделу 6: одно из условий при выборе высоковольтного оборудования – это его проверка по условиям коротких замыканий. Трёхфазное КЗ является расчетным видом для выбора и проверки параметров оборудования. Расчёт токов КЗ осуществлялся с некоторыми допущениями, представленными в этом разделе, которые в свою очередь не дают существенных погрешностей. Правильно определив токи КЗ, мы тем самым снизили ущерб, обусловленный выходом из строя оборудования.

7 Расчет и выбор электрооборудования и проводников

7.1 Выбор и проверка выбранных кабельных линий

«Нагрузки являются исходными параметрами для решения экономических и сложных расчетов, возникающих при проектировании предприятий.

Определение нагрузок нужно для выбора:

- мощности трансформаторов,
- компенсирующих устройств,
- кабелей, сечения проводов и шин,
- уставок релейной защиты.

Наилучшее решение вопросов электроснабжения находится непосредственно путем составления нескольких имеющихся вариантов нагрузок. Занижение или завышение нагрузок приводит к значительному увеличению приведенных затрат, недоиспользованию электрооборудования и потерь электроэнергии. Поэтому верное определение электрических нагрузок – это решающий фактор при проектировании и эксплуатации электрических сетей, электроснабжения предприятий» [2].

«Для ГРС 10 кВ полные нагрузки определяют с использованием средних значений коэффициента мощности.

Пример определения расчетных нагрузок системы электроснабжения.

Обычно, вместе с расчетом активной нагрузки определяют и реактивную, что в свою очередь позволяет найти полную нагрузку для любого элемента системы.

Результирующая полная нагрузка элемента может быть определена суммированием полных нагрузок любых отдельных потребителей без учета активной и реактивной составляющих этих нагрузок, по формуле» (10):

$$S_{рез} = S_{макс} + \sum K_{н.м} \cdot S_{макс.i}, \quad (10)$$

«где $S_{рез}$ – результирующая полная нагрузка;

$K_{н.м}$ – коэффициент несовпадения максимума;

$S_{макс}$ – среднемаксимальная нагрузка» [10].

«Чтобы выбрать параметры электрических сетей жилых домов определим полную нагрузку по формуле (11):

$$S_{жд} = \sqrt{(P_{кв} + K_{нм} \sum P_c)^2 + (P_{кв} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{кв} + K_{нм} \sum P_c \cdot \operatorname{tg}\varphi_c)^2}, \quad (11)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_{кв}$ и $\operatorname{tg}\varphi_c$ – коэффициенты, характеризующие нагрузку общедомового электрооборудования и квартир.

Далее также определим расчетную нагрузку элемента системы электроснабжения, который используется для питания смешанной нагрузки, то есть жилых домов и общественно-коммунальных предприятий» [3].

«Полная расчетная нагрузка, данная к рассматриваемому элементу городской электрической сети, определяется с учетом коэффициентов участия – $K_{н.м}$ и $\operatorname{tg} \varphi_{общ}$ – характерных для нагрузки каждого из всех коммунально-бытовых потребителей.

Для ГРС 10 кВ полные нагрузки определяют с использованием средних значений коэффициента мощности для сети. Значение этих коэффициентов для вечернего максимума принимают равными 0,9 - в микрорайонах и районах, где общественные учреждения и жилые дома оборудованы газовыми плитами» [12].

«Нагрузки для каждого потребителя выражается в кВ·А с использованием коэффициента мощности [11]:

- для жилого дома $\cos \varphi = 0,92$;
- детские сады $\cos \varphi = 0,97$;

- для общеобразовательных школ $\cos \varphi = 0,95$;
- продовольственные магазины $\cos \varphi = 0,8$;
- здания предприятий связи $\cos \varphi = 0,87$;
- магазины $\cos \varphi = 0,9$;
- предприятия общественного питания $\cos \varphi = 0,95 - 0,98$;
- кинотеатры $\cos \varphi = 0,92$;
- гостиницы и отели $\cos \varphi = 0,85$.

Необходимо разбить питаемый район на участки. Площадь участка зависит от плотности застройки в этих местах, а соответственно и потребляемой мощности. Количество же участков зависит от суммарной номинальной мощности, и определяют её путём приведения суммарной номинальной мощности каждого из участков к приближительному значению равному 400 - 2000 кВт.

Значит теперь мы можем определить количество трансформаторных подстанций (ТП). Если застройка малой плотности и больших свободных площадей, то соответственно возникает необходимость строительства распределительных пунктов (РП).

Расчет нагрузки элементов распределительной сети 10 кВ выполним с применением коэффициента 0,9.

Расчет электрической нагрузки 19-го участка:

Участок №19 включает в себя жилой дом и магазин» [13].

По формуле (12) определим полная мощность пятиэтажного дома на 24 квартиры:

$$S_{\text{жд}} = P_{\text{уд.кв}} \cdot \frac{n}{\cos \varphi} = 5 \cdot \frac{24}{0,92} = 130 \text{ кВ} \cdot \text{А}. \quad (12)$$

«Полная мощность магазина на ул. Добровольского.

$$S_M = K_{\text{нм}} \cdot P_{\text{уд}} \cdot \frac{S}{\cos \phi} = 1 \cdot 0,35 \cdot \frac{178}{0,8} = 78,3 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

где $K_{\text{нм}} = 1$ - коэффициент несовпадения максимумов;

$P_{\text{уд}} = 0,35$ кВт/м торгового зала – удельная расчетная для продовольственного магазина;

$S = 178$ м - площадь торгового зала данного магазина» [15].

Полная мощность трансформаторной участка №19:

$$S_{\Sigma} = S_{\text{жд}} + S_M = 130 + 78,3 = 208,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

«Согласно «Указанию по проектированию электрических сетей» ВСН-97-83 п.35, в районах застройки напряжение распределительных и питающих сетей принимаем 10 кВ. При реконструкции сетей напряжением 6 кВ нужно предусмотреть их перевод на напряжение 10 кВ» [10].

«Действующие кабельные линии 6 кВ следует перевести на 10 кВ после проведения испытания повышенным напряжением.

В сетях общего пользования, в районах новостроек, существующих ГРС – должны выполняться трехфазными четырехпроводными с глухо-заземлённой нейтралью, напряжением 380/220 В. При реконструкции используют такие же напряжения.

Значит напряжение внешней питающей сети принимаем 110 кВ, низшее напряжение примем 10 кВ» [20].

«Определение сечения кабеля для кабельной линии, питающего группу ТП, состоящую из ТП18, ТП19, ТП20, ТП21, ТП22.

Суммарная нагрузка $S_{\text{сумм}} = 1138$ кВ·А.

Ток питающей линии» [2]:

$$I = \frac{S_{\text{сумм}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1138}{\sqrt{3} \cdot 10_{\text{max}}} \quad (\text{А}).$$

«Определение сечения кабеля по экономической плотности тока:

$$Q_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{эк}} \cdot 1,4} \text{ мм}^2,$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока.

Для алюминиевого кабеля $j_{\text{эк}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$.

Выбираем к прокладке трёхжильный кабель марки АПвП. Сечение жилы 70 мм^2 с $I_{\text{дл.доп}} = 210 \text{ А}$:

$$I_{\text{дл.доп}} = 210 \text{ А} \geq I_{\text{max}} = 70 \text{ А}.$$

Выбор всех остальных кабелей производится также» [14]. Результаты расчёта сведены в таблицу 4.

7.2 Выбор электрооборудования и коммутационно-защитной аппаратуры

«ГРС включают в себя питающую сеть 6-10 кВ и распределительную сеть того же напряжения.

Питающая городская распределительная сеть 6-10 кВ обычно состоит из питающих линий, распределительных пунктов и прямых связей между последними.

К электроснабжению города и к её системе предъявляются следующие требования» [10]:

- экономическую целесообразность сооружения;
- качество электроснабжения потребителей;
- возможность развития сети;
- безопасность;

- удобство в обслуживании.

При выборе места размещения и типа ТП соблюдены следующие требования:

- на территории города не занимать много места;
- не мешать движению транспорта, а также пешеходному движению.

«Также должны быть учтены архитектурно-строительные, городские и эксплуатационные требования.

По нагрузкам участков 1-22, выбираем мощность ТП.

Коэффициент загрузки этих трансформаторов 0,7

Выбранные мощность и число ТП приведены в таблице 4.

Параметры ТП приведены в таблице 5» [11].

Таблица 4 - Число и мощность городских трансформаторов

Порядковый номер участка	$S_{см}$, кВ·А	$S_{тр - ра}$, кВ·А
1	325	1×400
2	110	1×250
3	41	1×160
4	56	1×160
5	202	1×250
6	301	1×400
7	213	1×400
8	190	1×250
9	166	1×250
10	140	1×250
11	134	2×250
12	193	1×250
13	143	1×250
14	191	1×250
15	305	1×400
16	182	1×250
17	205	1×400
18	188	1×250
19	208	1×400
20	371	1×630
21	256	1×400
22	115	1×250
ИТОГО:	4243	-

Таблица 5 - Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	S_n , кВ·А	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	$\Delta P_{хх}$, кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	U_k , %	$I_{хх}$, %
ТМГ – 630/10У1	630	10	0,4	1,5	6,2	5,5	2,2
ТМГ – 400/10У1	400	10	0,4	1,3	5,4	5,5	3
ТМГ – 250/10У1	250	10	0,4	1,0	3,8	5,5	3,5
ТМГ – 160/10У1	160	10	0,4	0,85	3,1	5,5	4,1

«Наиболее правильной, является выбор двух трансформаторов на главной понизительной подстанции. Это даёт возможность применить упрощенную схему подстанции и одновременно с этим обеспечить бесперебойное питание. Работу трансформаторов на главной понизительной подстанции предусматриваем отдельной.

Выбор номинальной мощности трансформатора производится по средней нагрузке $S_{см} = 4243$ кВ·А» [10].

«Принимаем к установке двухтрансформаторную подстанцию с трансформаторами ТМН – 6300/110.

Трансформаторы ТМН – 6300/110 имеют встроенные трансформаторы тока типа ТВТ-110/150/5.

Параметры трансформаторов показаны в таблице 6» [18].

Таблица 6 - Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	S_n , кВ·А	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	$\Delta P_{хх}$, кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	$U_{кз}$, %	$I_{хх}$, %
ТМН – 6300/110	6300	110	10	10	44	10,5	1

Коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме:

$$K_{\text{загр}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{2 \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{4243}{2 \cdot 6300} = 0,33.$$

«Трансформаторы ТМН–6300/110 по условиям перегрузки в аварийном режиме проходят.

Значит к установке принимаем 2 трансформатора мощностью по 6300 кВ·А.

Расчёт потерь мощности в трансформаторах производят по формуле (13):

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{н}} \cdot n}{100} \cdot (I_{\text{xx}} + K_{\text{загр}}^2 \cdot U_{\text{к}}), \quad (13)$$

где $\Delta Q_{\text{тр}}$ – реактивные потери, квар.

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 6917 \text{ квар.}$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{xx}} \cdot n + \Delta P_{\text{кз}} \cdot n \cdot K_{\text{загр}}^2,$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ – активные потери, кВт.

$$\Delta P_{\text{тр}} = 63,12 \text{ кВт.}$$

Расчёт потерь энергии в трансформаторах производится по формуле» (14):

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{xx}} \cdot n \cdot T_{\text{м}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot n \cdot K_{\text{загр}}^2 \cdot \tau, \quad (14)$$

где $\Delta W_{\text{тр}}$ – активные потери, $\frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$,

$T_{\text{м}}$ – время использования максимума нагрузки,

τ - время максимальных потерь.

$$\Delta W_{\text{тр}} = 194120000 \text{ кВт/ч}$$

«Приближённо принимаем:

$$\tau = T_M - 1000 = 4000 - 1000 = 3000 \text{ ч.}$$

Результаты расчёта потерь мощности и энергии в цеховых трансформаторах приведём в таблицу 7» [15].

Таблица 7 – Результаты расчёта потерь мощности и энергии в трансформаторах

ТП	Uк%	Sном, кВт	Pк, кВт	Pxx, кВт	Ixx, %	Kз	Tм, час	t, час	Pт, кВт	Qт, кВАр	Wт, кВт·ч
ТП1	5,5	400	5,4	1,3	3	0,83	4000	3000	10,04	54,31	32720,36
ТП2	5,5	250	3,8	1	3,5	0,46	4000	3000	3,64	23,42	12908,75
ТП3	5,5	160	3,1	0,85	3,5	0,12	4000	3000	2,11	17,90	8332,712
ТП4	5,5	160	3,1	0,85	4,1	0,25	4000	3000	2,46	19,17	9386,953
ТП5	5,5	250	3,8	1	4,1	0,79	4000	3000	6,73	34,61	22189,16
ТП6	5,5	400	5,4	1,3	3	0,78	4000	3000	9,11	50,53	29936,91
ТП7	5,5	400	5,4	1,3	3	0,56	4000	3000	5,96	37,68	20470,12
ТП8	5,5	250	3,8	1	3,5	0,70	4000	3000	5,77	31,13	19300,04
ТП9	5,5	250	3,8	1	3,5	0,67	4000	3000	5,43	29,92	18296,12
ТП10	5,5	250	3,8	1	3,5	0,57	4000	3000	4,49	26,5	15459,8
ТП11	5,5	250	3,8	1	3,5	0,54	4000	3000	4,18	25,4	14550,35
ТП12	5,5	250	3,8	1	3,5	0,73	4000	3000	6,03	32,07	20083,64
ТП13	5,5	250	3,8	1	3,5	0,62	4000	3000	4,88	27,94	16651,6
ТП14	5,5	250	3,8	1	3,5	0,72	4000	3000	5,98	31,91	19951,21
ТП15	5,5	400	5,4	1,3	3	0,75	4000	3000	8,68	48,75	28625
ТП16	5,5	250	3,8	1	3,5	0,70	4000	3000	5,77	31,13	19300,04
ТП17	5,5	400	5,4	1,3	3	0,51	4000	3000	5,41	35,44	18827,24
ТП18	5,5	250	3,8	1	3,5	0,72	4000	3000	5,94	31,76	19819,52
ТП19	5,5	400	5,4	1,3	3	0,52	4000	3000	5,52	35,9	19160,96
ТП20	5,5	630	6,2	1,5	2,2	0,87	4000	3000	10,82	57,5	35064,7
ТП21	5,5	400	5,4	1,3	3	0,68	4000	3000	7,63	44,5	25492,12

«Основным коммутационным аппаратом является выключатель. Он служит для включения и отключения цепей в различных режимах работы. Наиболее важной операцией является отключение токов КЗ и включения на соответствующие КЗ.

Выключатели отключают токи:

- нормального режима,

- короткого замыкания,
- малые емкостные и индуктивные ток» [16].

Проверим элегазовый выключатель со стороны 110 кВ типа ВЭБ-110-2000/4500 со встроенными ТТ типа ТВГ-110/150/5

Выключатели выбирают по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{с.ном} = 110 \text{ кВ} \leq U_{ном} = 110 \text{ кВ},$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение;

- номинальному длительному току:

$$I_{расч} = 34 \text{ А} \leq I_{ном} = 2000 \text{ А},$$

где $I_{расч}$ – расчетный ток продолжительного режима;

$$I_{расч} = S_n / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 6300 / (\sqrt{3} \cdot 110) = 34 \text{ А},$$

где S_n – номинальная мощность трансформатора;

- электродинамической стойкости.

- а) предельному периодическому току КЗ:

$$I'' = 1,109 \leq I_{пр.с} = 40 \text{ кА},$$

где $I_{пр.с}$ – предельный сквозной ток;

- б) ударному току короткого замыкания:

$$i_{уд} = 2,9 \text{ кА} \leq i_{эл.с} = 52 \text{ кА},$$

где $i_{эл.с}$ – номинальный ток электродинамической стойкости выключателя;

- отключающей способности.

а) номинальному периодическому току отключения:

$$I_{пт} = 1,109 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 40 \text{ кА},$$

где $I_{откл.ном}$ – номинальный симметричный ток отключения выключателя;

б) номинальному апериодическому току отключения:

$$i_{ат} = 3,44 \text{ кА} \leq i_{а.ном} = 7,05 \text{ кА},$$

где $i_{а.ном}$ – номинальный апериодический ток отключения выключателя;

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{откл.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,25 \cdot 40 = 14,1 \text{ кА},$$

где $\beta_{ном}$ – номинальное относительное содержание апериодической составляющей тока отключения для времени τ .

- термической стойкости:

$$W_k = 2,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq I_{пр.т}^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 2400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где W_k – интеграл Джоуля тока КЗ, означающий количество теплоты, выделяющийся в аппарате за время КЗ, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$;

$I_{пр.т} = 40 \text{ кА}$ – предельный ток термической стойкости, который аппарат сможет выдержать без каких-либо повреждений в течение предельного времени термической стойкости $t_T = 3 \text{ с}$.

- проверка по включающей способности:

$$I'' = 1,109 \leq I_{вкл.ном} = 40 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 2,9 \leq i_{вкл.ном} = 52 \text{ кА},$$

где $I_{\text{вкл.ном}}$ – номинальное действующее значение периодической составляющей тока включения;

$i_{\text{вкл.ном}}$ – номинальное (амплитудное) значение полного тока включения.

«В связи с тем, что номинальные токи отключения выключателя, соответствуют номинальным токам включения, проверка по этому условию делать нет необходимости (проверка обеспечивается в п.3).

Выключатель ВЭБ-110/2000/40 удовлетворяет условиям выбора» [9].

Далее проверяем вакуумный выключатель со стороны 10 кВ типа ВБЭС-10-20/1000.

Выключатель выбирается по следующим условиям:

- номинальному напряжению

$$U_{\text{с.ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение выключателя;

- номинальному длительному току

$$I_{\text{расч}} = 364 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А},$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный ток продолжительного режима цепи,

$$I_{\text{расч}} = S_{\text{н}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}) = 6300 / (\sqrt{3} \cdot 10) = 364 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости.

а) предельному периодическому току короткого замыкания:

$$I'' = 4,44 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА},$$

где $I_{\text{пр.с}}$ – предельный сквозной ток;

б) ударному току короткого замыкания:

$$i_{уд} = 10,36 \text{ кА} \leq i_{эл.с} = 52 \text{ кА},$$

где $i_{эл.с}$ – номинальный ток электродинамической стойкости выключателя;

- отключающей способности.

а) номинальному периодическому току отключения:

$$I_{пт} = 4,44 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 20 \text{ кА},$$

где $I_{откл.ном}$ – номинальный симметричный ток отключения выключателя.

б) номинальному аperiodическому току отключения:

$$i_{ат} = 3,09 \text{ кА} \leq i_{а.ном} = 11,28 \text{ кА},$$

где $i_{а.ном}$ – номинальный аperiodический ток отключения выключателя;

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{откл.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,28 \text{ кА},$$

где $\beta_{ном}$ – номинальное относительное содержание аperiodической составляющей тока отключения для времени τ .

- термической стойкости:

$$W_k = 4,45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq I_{пр.т.}^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где W_k – интеграл Джоуля тока КЗ, показывающий количество теплоты, выделяющийся в аппарате за время КЗ, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$;

$I_{пр.т} = 20$ кА – предельный ток термической стойкости, который данный аппарат может выдержать без каких-либо повреждений в течение предельного времени термической стойкости $t_T = 3$ с.

- проверяем по включающей способности:

$$I'' = 4,44 \text{ кА} \leq I_{вкл.ном} = 20 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 16,63 \leq i_{вкл.ном} = 52 \text{ кА}.$$

где $I_{вкл.ном}$ – номинальное действующее значение периодической составляющей тока включения;

$i_{вкл.ном}$ – номинальное (амплитудное) значение полного тока включения.

«В связи с тем, что номинальные токи отключения выключателя, соответствуют номинальным токам включения, проверка по этому условию делать нет необходимости» [24].

Основное назначение разъединителей – это изолирование на время ремонта оборудования, т.е. создания видимого разрыва необходимого для безопасности персонала.

Проверим разъединитель РГП-110/1000 по приведённым ниже условиям [5]:

- номинальному напряжению:

$$U_{с.ном} = 110 \text{ кВ} \leq U_{ном} = 110 \text{ кВ};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} = 10,36 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 55 \text{ кА};$$

- номинальному длительному току:

$$I_{\text{расч}} = 364 \text{ A} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ A};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq I_{\text{пр.т}}^2 \cdot t_{\text{т}};$$
$$4,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель удовлетворяет всем условиям.

«Выбор ТТ при проектировании распределительного устройства заключается в выборе:

- типа трансформатора,
- определение ожидаемой нагрузки,
- сопоставления ее с номинальной.

Выбираем ТТ типа ТОЛ-10-І. При выборе трансформаторов тока необходимо выполнение следующих условий:

- электродинамической стойкости:

$$i_y = 10,36 \text{ кА} \leq i_{\text{дин}} = 128 \text{ кА};$$

- выбор по напряжению:

$$U_{\text{с.ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\text{расч}} = 364 \text{ A} \leq I_{1 \text{ ном}} = 1000 \text{ A},$$

где $I_{1 \text{ ном}}$ – номинальный ток первичной цепи трансформатора тока;

- термической стойкости:

$$B_k \leq I_{пр.т}^2 \cdot t_t,$$

$$4,44 \text{ кА}^2\text{с} \leq 40^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

- нагрузке вторичных цепей:

$$z_2 \leq z_{2ном},$$

где z_2 – расчетное сопротивление вторичной цепи, Ом.

$$z_2 = z_{приб} + R_{пров} + R_k = 0,124 + 0,56 + 0,1 = 0,784 \text{ Ом},$$

где $z_{приб}$ – сопротивление токовых катушек последовательно включенных приборов;

$R_{пров}$ – сопротивление соединительных проводов;

R_k – переходное сопротивление контактов (принимается равным 0,1 Ом);

$z_{2ном}$ – номинальное допустимое сопротивление вторичной цепи.

Определим нагрузку на ТТ от измерительных приборов, и сведём эти параметры в таблицу 8» [19].

Таблица 8 – Параметры нагрузки на трансформатор тока

Наименование прибора	Тип прибора	Нагрузка, кВ·А	
		Фаза А	Фаза С
Амперметр	Э-335	0,1	0,1
Ваттметр	Д-335	0,5	0,5
Счетчик активной энергии	СЭТ-4ТМ 0,3/0,1	2,5	2,5
Итого:		3,1	3,1

Определяем нагрузку на ТТ от измерительных приборов по фазам:

$$S_{2\text{НОМ}} = 3,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}; z_{\text{приб}} = \frac{S_{2\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}^2} = \frac{3,1}{5^2} = 0,124 \text{ Ом.}$$

«Выбираем типы ТН в соответствии с реле и измерительными приборами, подлежащими присоединению к ним. Вследствии переходим к подсчёту нагрузки трансформаторов и проверим погрешности.

Условия для выбора ТН:

- номинальное напряжение трансформатора и сети одинаковы

$$U_{\text{с.НОМ}} \leq U_{\text{НОМ}};$$

Для удобства подсчета мощности составляем таблицу 9» [10].

«Полная потребляемая мощность:

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{71^2 + 9,7^2} = 121,07 \text{ ВА.}$$

На стороне 10 кВ принимаем к установке ТН типа НАМИТ-10-66УЗ,

На стороне 110 кВ принимаем к установке ТН типа НАМИ 110 УХЛ» [14].

Таблица 9 – Подсчет мощности

Перечень приборов	Тип прибора	S, В·А	Число обмоток	cosφ	tgφ	Общее число приборов	P, Вт	Q, вар
Вольтметр	Э-335	2	1	1	0	1	2	
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	6	
Варметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	
Датчик активной мощности	Е-829	10		1	0	1	10	
Датчик реактивной мощности	Е-830	10	2	1	0	1	10	

Продолжение таблицы 9

Перечень приборов	Тип прибора	S, В·А	Число обмоток	cosφ	tgφ	Общее число приборов	P, Вт	Q, вар
Счетчик электроэнергии	ПС4	2	2	0,38	0,925	8	4	
Ваттметр регистрирующий	М-348	10	2	1	0	1	20	
Вольтметр регистрирующий	М-344	10	1	1	0	1	10	
Частотомер	Э-372	3	1	1	0	1	6	9,7
Итого:							99	69,6

Эти данные сведем в таблицу 10

Таблица 10 – Номинальные и расчетные параметры аппарата

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{с.ном} \leq U_{ном}$ $S_2 \leq S_{2ном}$	$U_{с.ном} = 6 \text{ кВ}$ $S_2 = 140 \text{ В·А}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $S_{2ном} = 121,07 \text{ В·А}$

Определим по формуле (15) сопротивление проводов из меди с удельным сопротивлением $\rho = 0,028 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$:

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,028 \cdot 50}{2,5} = 0,56 \text{ Ом}, \quad (15)$$

где l – длина соединительных проводов;

S – сечение провода, типа КВВГ.

Выбранный ТТ типа ТОЛ-10-I удовлетворяет всем условиям проверки.

Вывод по разделу 7: был произведён выбор коммутационной, защитной и измерительной аппаратуры. Наш выбор был удовлетворён по всем условиям проверки.

8 Организация учета электроэнергии системы наружного освещения города

«Учет электроэнергии системы освещения, организован с помощью выбранного нами счётчика Альфа» [2].

«Данный счетчик необходим для:

- учёта активной и реактивной энергий в цепях переменного тока;
- использования в составе автоматизированных систем контроля;
- для передачи измеренных или вычисленных параметров.

Счётчик Альфа обладает функциями:

- учета реактивных и активных показаний;
- учёта потребляемой и выданной электроэнергии;
- измерения наибольшей мощности нагрузки;
- записи времени и даты максимальной реактивной и активной мощности;
- хранения и записи в памяти счётчика данных графика нагрузки по четырём каналам;
- автоматического контроля нагрузки, с возможностью ее отключения или сигнализации;
- регистрации показаний качества энергии» [17].

«Принцип действия заключается в аналого-цифровом преобразовании значения тока и напряжения с последующим вычислением мощностей и энергий. Счетчик состоит из измерительных датчиков тока и напряжения, главной электронной платы» [12]. «Счётчики устанавливаются на вводе 0,4 кВ от трансформаторов собственных нужд (ТСН).

Подключение счётчиков осуществляем через ТТ. Схемы приведены на рисунках 8 и 9» [8].

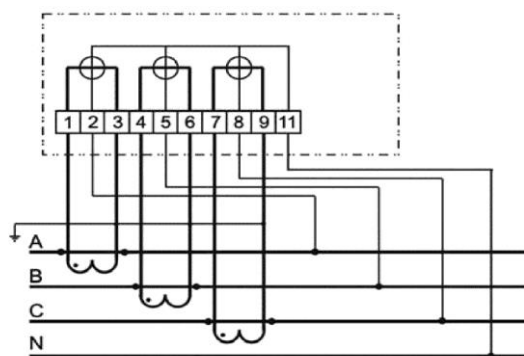


Рисунок 8 - Схема включения счетчика к 3-х четырехпроводной сети через ТА

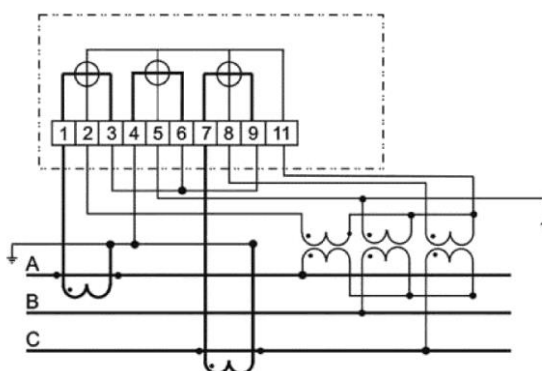


Рисунок 9 - Схема включения счетчика к 3-х трехпроводной сети через ТА TV и напряжения

Вывод по разделу 8: при учёте электроэнергии идущей на СН подстанции был сделан выбор на счётчики Альфа. Данные счётчики обладают всеми необходимыми требованиями и функциями, которые были приведены в этом разделе.

9 Расчет системы заземления, режим работы нейтрали на стороне 0,4 кВ

«Существует четыре режима нейтралей:

- сети с эффективно заземленными нейтралями;
- сети с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтралями;
- сети с незаземленными (изолированными) нейтралями;
- сети с глухозаземленной нейтралью.

Согласно требованиям [2] сети с напряжением до 1 кВ, питающиеся от понижающих трансформаторов, присоединенных к сетям с напряжением выше 1 кВ, выполняются с глухозаземленными нейтралями» [3].

Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через ТТ).

Глухозаземленная нейтраль является частью системы электроснабжения потребителей.

«В ходе нашего расчёта заземляющего устройства, определяем:

- сечение заземляющих проводников.
- тип заземлителей;
- количество и место размещения;

Данный расчёт производим непосредственно для определённого сопротивления заземляющего устройства, а также в соответствии с требованиями» [2].

«При выполнении контурного заземления, заземляющие устройства располагают по периметру здания. Так как контурное заземляющее устройство выполняется на расстоянии не менее 1 метра, то длина по всему периметру закладки определяем по формуле (16)» [2]:

$$L_n = (A + 2) - 2 + (B + 2) - 2, \quad (16)$$

где A – длина помещения, м,

B – ширина помещения, м.

$$L_n = (8,1 + 2) - 2 + (6,95 + 2) - 2 = 30,1 \text{ м.}$$

«Расстояние между электродами выполняется с учётом формы всего контура здания. По углам устанавливается по одному вертикальному электроду, а оставшиеся электроды между ними» [2].

$3,2 \text{ Ом} < 4,0 \text{ Ом}$ – условие выполняется. Значит заземляющее устройство эффективно.

Вывод по разделу 9: согласно требованиям ПУЭ, выбрана сеть с глухозаземленной нейтралью. Была доказана эффективность заземляющего устройства на стороне 0,4 кВ.

Заключение

«Современные города – это быстро растущие территориальные, которым необходимо внедрение всё более современных технологий в благоустройстве и жизнеобеспечении. Осветительные установки не являются исключением в этом вопросе» [12].

В данной работе была разработана система электроснабжения городского освещения города Геленджик. В проектируемой системе существенно были снижены потребление электроэнергии и потери мощности в электрической сети.

«В проекте системы городского наружного освещения, подход должен быть подобран так, чтобы реализация по улучшению и упрощению жизни в населённых пунктах была достигнута. При этом должны быть применены и правильно рассчитаны все необходимые требования к наружному освещению» [2].

В бакалаврской работе, нам удалось выбрать оптимальное соотношение в плане энергоэффективности и надежности системы городского наружного уличного освещения. Были учтены все необходимые нормы при проектировании данной системы, а также был составлен план распределительной сети с указанием количества и места трансформаторных подстанций. Был произведен расчет электротехнического и осветительного оборудования для системы наружного освещения.

Также были выбраны счётчики, для учёта электроэнергии идущей на СН подстанции. Все необходимые требования и функции, при выборе счетчиков были учтены в данной работе.

Главной задачей наружного освещения, является улучшение видимости в тёмное время суток. Помимо этого, появилось множество других дополнительных требований к освещению, таких как надежность и экономичность, но всё же главная задача наружного уличного освещения – это освещение территории в ночное время.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Вологда: Инфра-Инженерия. 2016. 416 с.
2. Барбасова Т.А., Вставская Е.В., Казаринов Л.С., Шнайдер Д.А. Автоматизированные системы управления энергоэффективным освещением. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ издатель Т. Лурье. 2014. 208 с.
3. Барбасова Т.А., Вставская Е.В., Константинов В.И., Костарев Е.В. Построение систем передачи информации по проводам питающей сети // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2014. № 23. С. 60-65
4. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. М.: Высшая школа, 2015. 576 с.
5. Бутаков С.В. Осветительные установки: учебное пособие. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. 2018. 114 с.
6. Галишников Ю.П. Трансформаторы и электрические машины: курс лекций. Издательство: Инфра-Инженерия. 2021. 129–131 с.
7. Жилин Б.В., Кудрин Б.И., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ. 2013. 412 с.
8. ГОСТ Р МЭК 60598-2-3-99 Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 3. Светильники для освещения улиц и дорог.
9. ГОСТ Р МЭК 60598-1-2013 Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.
10. ГОСТ Р 50571.7.714-2014 Электроустановки низковольтные. Часть 7-714. Требования к специальным электроустановкам или местам их расположения. Установки наружного освещения.
11. ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы.

12. ГОСТ Р 55707-2013 Освещение наружное утилитарное. Методы измерений нормируемых параметров.
13. ГОСТ Р 54944-2012 Здания и сооружения. Методы измерения освещенности.
14. ГОСТ 26824-2010 Здания и сооружения. Методы измерения яркости.
15. ГОСТ Р 55708-2013 Освещение наружное утилитарное. Методы расчета нормируемых параметров.
16. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем освещения объектов и установок: учебное пособие. Издательство ТПУ. 2014. 248 с.
17. Картавец В.В., Коробов Г.В., Черемисинова Н.А. Электроснабжение. Курсовое проектирование: учебное пособие для СПО. Санкт-Петербург: Лань. 2021. 192 с.
18. Куксин А. В. Релейная защита электроэнергетических систем. Издательство: Инфра-Инженерия. 2021. 210 с.
19. Лебедев Г.М., Мешков Д.М. Электромеханические системы: учебное пособие. Кемеровский технологический институт. Кемерово. 2013. 124 с.
20. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. СПб: Изд-во ДЕАН. 2015. 704 с.
21. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
22. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.
23. СН 541-82 Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов.
24. Суворова И.А. Электротехнологические промышленные установки и освещение: учеб. пособие для вузов. Киров: ВятГУ. 2014. 97 с.

25. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г.
N 261-ФЗ.