

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 Проектирование системы электроснабжения с. Объячево Прилузского района
Республики Коми

Обучающийся

Д.Р. Читаев
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

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

Консультант

к.ф.н., доцент, О.В. Мурдускина

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

Аннотация

Выпускная квалификационная работа (ВКР) посвящена актуальной теме: «Проектирование системы электроснабжения с. Обьячево Прилузского района Республики Коми».

Объектом выступает новый квартал площадью 36,7 гектаров в селе Обьячево Прилузского района Республики Коми.

Заказчиком работ является Управление строительства и жилищно-коммунального хозяйства администрации муниципального района «Прилузский».

В процессе выполнения работы проведен анализ актуальности выбранной темы, приведены источники финансирования проекта, сформулирована цель и поставлены задачи для достижения этой цели, составлена краткая характеристика объекта на основании отчета об инженерных изысканиях. На основании расчета ожидаемых электрических нагрузок и токов короткого замыкания произведен выбор трансформаторов и трансформаторных подстанций, выбор электрооборудования и проводников. Также в работе выполнен расчет заземляющих устройств. Все расчеты сопровождаются краткими теоретическими сведениями, схемами, таблицами и рисунками, а также ссылками на нормативно-техническую документацию, техническую и справочную литературу.

Пояснительная записка объемом 80 страниц, включает в себя 19 таблиц и 8 рисунков. Графическая часть представлена на 5 листах формата А1 и на 1 листе формата А0.

Abstract

The title of the graduation work is: «Design of the power supply system in the village of Obyachevo of the Priluzsky district of the Komi Republic».

Design object: a new block with an area of 36.7 hectares in the village of Obyachevo, Priluzsky district of the Komi Republic.

The customer of the works: The Department of Construction and Housing and Communal Services of the administration of the municipal district «Priluzsky».

The senior thesis consists of an explanatory note on 80 pages, including 8 figures, 19 tables, the list of 37 references, including 5 foreign sources, the graphic part on 5 A1 sheets and on 1 A0 sheet.

The graduation project may be divided into several logically connected parts which are: analysis of the relevance of the chosen topic, brief description of the design object, development of electric power system 10/0,4 kV, design of outdoor lighting, selection of electrical transformer substations and transformers, selection of conductors and electrical equipment, calculation of electrical loads and short-circuit currents, and development of grounding electrode systems.

In conclusion we'd like to stress that this work is relevant not only in solving the problem of designing the power supply system of the village of Obyachevo, but also similar technological and constructive solutions can be applied to the construction of power supply systems of other quaternaries, districts, rural settlements and cities of the Russian Federation.

Содержание

Введение.....	6
1 Характеристика объекта.....	8
1.1 Общие сведения об объекте проектирования.....	8
1.2 Климатическая характеристика.....	9
1.3 Гидрогеологические условия.....	12
1.4 Свойства грунтов и техногенные факторы.....	13
1.5 Прогноз изменения инженерно-геологических условий при строительстве.....	14
1.6 Техническое задание.....	14
2 Разработка технических решений по организации электроснабжения.....	18
2.1 Выбор места установки, количество и тип трансформаторных подстанций.....	18
2.2 Канализация и учет электроэнергии на стороне 10 кВ.....	20
2.3 Канализация и учет электроэнергии на стороне 0,4 кВ.....	21
2.4 Наружное освещение.....	23
3 Расчет электрических нагрузок.....	29
3.1 Расчет электрических нагрузок массива жилой застройки.....	30
3.2 Расчет электрических нагрузок общественных зданий.....	33
3.3 Расчет электрических нагрузок наружного освещения.....	37
4 Выбор числа и мощности трансформаторов комплектных трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	42
5 Выбор проводников и электрооборудования.....	45
5.1 Выбор комплектующих 2БКТП.....	45
5.2 Выбор проводников.....	47
5.3 Выбор плавких предохранителей.....	51
5.4 Проверка автоматических выключателей.....	52
6 Расчет токов короткого замыкания.....	62

7 Расчет заземляющих устройств	70
Заключение	74
Список используемых источников.....	76

Введение

«Современный частный дом – мечта большинства россиян. Жить в частных домах хотели бы более две трети граждан (68%)» [4]. К такому выводу пришел Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ) по результатам проведенного опроса 15 января 2021 года.

Действительно, собственный частный дом в роли жилья всегда был в приоритете у наших граждан, а в последнее время этот приоритет обозначается более явно. С этим связано увеличение объемов как самостоятельного строительства жилья, так и строительство небольших коттеджных поселков застройщиками.

Исходя из запросов граждан Минстрой России разработал программу поддержки развития индивидуального жилого строительства и предлагает до 2024 года выделить на нее почти 138 млрд. руб. [16]. Достигнуть высоких темпов строительства частных домов собираются за счет привлечения в этот сегмент застройщиков.

Также на основании того же исследования ВЦИОМ, главным фактором при выборе места жительства является хорошо развитая инфраструктура [3]. Люди ценят уединение, покой жизни вне города и городской комфорт.

К объектам инженерной инфраструктуры относятся все инженерные сети и головные сооружения электроснабжения, газоснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, канализации, мусороперерабатывающие заводы и свалки бытовых отходов.

Ключевым является инфраструктура электроснабжения. От качества ее исполнения напрямую зависит работоспособность предприятий, безопасность и комфорт жизни граждан.

В проектировании, создание систем электроснабжения является одним из наиболее сложных подразделов. В нем необходимо учесть множество факторов, в частности те, которые могут стать причинами для увеличения

потерь электроэнергии или могут повлиять на надежность электрической сети.

В настоящее время, строительство сложных сооружений, комплексов, систем невозможно без проекта, выполненного по всем нормам нормативно-технической документации. Работы по выполнению проекта, его согласование, проведения государственной экспертизы требует значительных капиталовложений.

Также основанием для проектирования объекта является получение субсидий из бюджета Республики Коми бюджетом муниципального образования муниципального района «Прилузский», по муниципальному контракту № 01073000189200000750001 от 1 сентября 2020 года. Контракт предусматривает софинансирование расходных обязательств органов местного самоуправления в Республике Коми по реализации проектов по обустройству объектами инженерной инфраструктуры и благоустройству площадок, расположенных на сельских территориях, под компактную жилищную застройку.

В силу всего вышесказанного, тема выпускной квалификационной работы является важной и актуальной.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка системы электроснабжения коттеджного поселка на территории Нового квартала в селе Объячево Прилузского района Республики Коми.

1 Характеристика объекта

1.1 Общие сведения об объекте проектирования

Объект представляет собой участок площадью 36,7 гектаров, находящийся на территории нового квартала в селе Объячево Прилузского района Республики Коми.

Площадь села Объячево – 2751,36 км². Географические координаты: 60°20'19" с. ш. 49°36'33" в. д. [12], [13].

Численность населения на момент 1 июля 2020 года – 7290 человек. Плотность населения – 3,13 чел./км². Национальный состав по данным на 2006 год: коми – 53%, русские – 39%, украинцы – 2%, цыгане – 1%, другие – 5% [14].

На основании отчетной документации по инженерным изысканиям, выполненные на основании договора № 007-21 от 28.01.2021 года, была получена исчерпывающая информация о природных условиях объекта проектирования. Необходимые данные из этого отчета были изложены далее в подразделах 1.1 – 1.5.

На исследуемом участке (объект проектирования) растут лиственные и хвойные деревья, кустарники – расположенные отдельными участками.

В геоморфологическом отношении площадка приурочена к водораздельному склону р. Луза.

Рельеф участка работ полого-наклонный, с общим уклоном поверхности в северо-западном направлении – в сторону местного базиса эрозии. Перепад отметок составляет 28,70 м, минимальное значение отметки составляет 118,00 м, максимальное значение 146,70 м.

Подъезд к месту работы возможен автомобильным транспортом круглогодично по дорогам местного назначения с твёрдым покрытием. По автомобильным дорогам расстояние до столицы Республики Коми города Сыктывкар составляет 190 км. Ближайшая железнодорожная станция

расположена в 130 км к югу от Объячево, в городе Мураши Кировской области. Недалеко от села проходит федеральная автодорога Р176 «Вятка» [12], [13].

Объячево, как и вся Республика Коми, находится в часовой зоне МСК (московское время). Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +3:00. Местное время довольно значительно отклоняется от географического астрономического времени: истинный полдень – 11:25:23 [12], [13].

Основные отрасли промышленности – лесозаготовительная и пищевая. Автобусным сообщением село связано с Сыктывкарком, Кировом и другими городами [12], [13].

1.2 Климатическая характеристика

Рассматриваемый участок расположен в пределах Восточно-Европейской равнины, в подзоне средней тайги.

Район проведения изысканий расположен на территории, относящейся к строительно-климатической зоне I-B (СП 131.13330.2020) [23]. Климат района континентальный, с продолжительной холодной многоснежной зимой с неустойчивой погодой и с теплым летом.

Переходные сезоны – весна и осень – очень короткие, с неустойчивыми метеорологическими характеристиками.

Основные метеорологические характеристики района исследований приняты по данным наблюдений на ближайшей метеостанции с. Объячево, приводятся в таблицах 1–3 согласно СП 131.13330.2020 [1], [23].

Таблица 1 – Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С.

ГМС	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Объячево	-14,9	-13,0	-6,6	1,7	8,5	14,4	16,6	14,3	8,2	0,7	-5,7	-11,6	1,0

Средняя годовая температура воздуха на рассматриваемой территории 1,8 °С. Средние месячные температуры с отрицательными значениями охватывают период с ноября по март. Самый холодный месяц – январь, со среднемесячной температурой воздуха минус 14,1 °С.

Таблица 2 – Климатические параметры холодного периода года

Климатические параметры холодного периода года	Величина
Температура воздуха наиболее холодных суток, °С	
> обеспеченностью 0,98	- 41
> обеспеченностью 0,92	- 39
Температура наиболее холодной пятидневки, °С	
> обеспеченностью 0,98	- 37
> обеспеченностью 0,92	- 34
Температура воздуха, °С обеспеченностью 0,94	- 20
Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	- 47
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	7,0
Продолжительность периода,(сут) и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха :	
> равной и менее, 0°С	172 / -8,9
> равной и менее, 8°С	239 / -5,3
> равной и менее, 10°С	259 / -4,2
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	83
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	83
Количество осадков за ноябрь-март, мм	182
Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	Ю
Средняя скорость ветра м/с, за период со средней суточной температурой воздуха < 8 °С	3,8

Среднемесячная температура июля, самого теплого месяца, составляет плюс 16,6 °С. Средние месячные температуры положительными значениями охватывают период с апреля по октябрь.

Таблица 3 – Климатические параметры теплого периода года

Климатические параметры теплого периода года	Величина
Температура воздуха наиболее холодных суток, °С	
> обеспеченностью 0,95	20
> обеспеченностью 0,98	24
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца °С	22,3

Продолжение таблицы 3

Климатические параметры теплого периода года	Величина
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	35
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	11
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	72
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	57
Количество осадков за апрель-октябрь, мм	440
Суточный максимум осадков, мм	73
Преобладающее направление ветра за июнь-август	Ю

Данные об районировании изучаемого участка работ для зданий (сооружений) согласно СП 20.13330.2016 [20] и ПУЭ (изд. 7) [15] приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные об районировании изучаемого участка работ для зданий (сооружений)

Характеристика	Номер карты, таблицы	Район	Показатель
СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85), приложение Е			
по весу снегового покрова	карта 1, таблица 10.1	V	2,5 кПа
по давлению ветра	карта 2, таблица 11.1	I	0,23 кПа
по толщине стенки гололеда (превышаемая 1 раз в 5 лет) на элементах кругового сечения на высоте 10 м	карта 3, таблица 12.1	I	не менее 3 мм
по нормативным значениям минимальной температуры	карта 4	-	-40 °С
по нормативным значениям максимальной температуры	карта 5	-	32 °С
ПУЭ «Правила устройства электроустановок» (7 издание, гл. 2, 2016)			
по ветровому давлению	рисунок 2.5.1, таблица 2.5.1	II	500 (29) Па (м/с)
по толщине стенки гололеда	рисунок 2.5.2, таблица 2.5.3	II	15 мм
по среднегодовой продолжительности гроз	рисунок 2.5.3	-	от 40 до 60 часов
по пляске проводов	рисунок 2.5.4	-	район с умеренной пляской проводов

Направление ветра имеет хорошо выраженный годовой ход: зимой преобладают ветры южных направлений, летом – ветры северных направлений. В переходные периоды ветра неустойчивые.

Среднемноголетняя сумма осадков за год составляет 622 мм. Основная их часть (69 %) приходится на теплый период года 429 мм, на холодный около 193 мм (31 %). Устойчивый снежный покров образуется в среднем 5 ноября при наиболее ранней и поздней датах – 6 октября и 11 декабря, соответственно. Среднее число дней со снежным покровом 177 дней.

1.3 Гидрогеологические условия

Водоносный горизонт постоянно действующий, ненапорный. Водовмещающими являются озерно-аллювиальные отложения, относительный водоупор не вскрыт. Питание водоносного горизонта осуществляется, в основном, за счёт инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка в ближайшую гидрографическую сеть. Водообильность зависит от количества выпавших осадков. Область питания совпадает с областью распространения.

По результатам химического анализа грунтовые воды гидрокарбонатные кальциевые слабокислые. Грунтовые воды обладают слабой степенью агрессивности по водородному показателю к бетону марки W4. К бетону марок W6 и W8 – воды не агрессивны по водородному показателю и содержанию агрессивной углекислоты. К металлическим конструкциям грунтовые воды обладают слабой степенью агрессивности.

В период обильных продолжительных дождей, таяния снега, а также в случае нарушения поверхностного стока в насыпных грунтах и песках, подстилаемые глинистыми грунтами возможно образование временного водоносного горизонта – «верховодка».

1.4 Свойства грунтов и техногенные факторы

В результате проведенных исследований установлено, что коррозионная агрессивность грунтов по отношению к углеродистой и низколегированной стали на период проведения изысканий – низкая.

Насыпной грунт неоднородный, и не рекомендуется использовать в качестве надежного основания фундаментов.

На изыскиваемой территории наблюдается развитие опасных природных процессов – пучение и подтопление.

Площадная пораженность территории по морозному пучению, согласно таблице 5.1 СП 115.13330.2016 [22], составляет более 75%, категория опасности по морозному пучению – весьма опасная.

Категория устойчивости территории относительно интенсивности образования карстовых провалов – VI.

Фоновая сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK–64, на основе карт общего сейсмического районирования Российской Федерации – ОСР – 2016 (СП 14.13330.2018) составляет [30]:

- карта А – 5 баллов (степень сейсмической опасности – 10 % в течение 50 лет);
- карта С – 6 баллов (степень сейсмической опасности – 1 % в течение 50 лет).

Грунты на исследуемой территории по своим сейсмическим свойствам относятся, в основном к II-III группе (т.1 СП 14.13330.2018) [19].

На изыскиваемой территории, в процессе проведения изысканий, проявлений опасных природных геологических процессов (карст, суффозия, просадочность лессовых пород, переработка берегов водохранилищ, эрозия плоскостная и овражная, эрозия речная, термоэрозия овражная, термокарст, оползни, сели, лавины, абразия и термоабразия, солифлюкация, наледообразование, наводнение, ураганы, смерчи, цунами), указанных в таблице 5.1 СП 115.13330.2016 не зафиксированы [22].

1.5 Прогноз изменения инженерно-геологических условий при строительстве

При строительстве проектируемых объектов инженерной инфраструктуры на данной территории не приведет к значительным изменениям окружающей среды.

Обязательным при строительстве являются максимальная защита от влаги основания строения. В планировку территории должны быть включены: вертикальная планировка территории с организацией поверхностного стока.

1.6 Техническое задание

На данный момент на объекте находятся 7 двухэтажных частных домов и детское дошкольное учреждение (детский сад). Существующая система электроснабжения этих зданий (сооружений), выполненная воздушными линиями 0,4 кВ на деревянных опорах, морально устарела и будет демонтирована с целью освобождения места для строительства нового квартала. Сохранившиеся здания и сооружения будут подключены к новой сети электроснабжения.

Проектируется элитный коттеджный поселок городского типа. В перспективе планируется построить еще 101 дом премиум сегмента, а также общеобразовательное учебное заведение (школа), физкультурно-оздоровительный комплекс, здание отделения полиции и большой торговый центр. Все дома индивидуальные, каждый на одну семью. Этажность массива жилой застройки – до двух этажей. Все перечисленные строения тоже требуют обустройства прилегающих к ним территорий.

Помимо этого планируется строительство широких комфортабельных дорог и тротуаров, просторных парковочных площадей, спортивных площадок, уютных скверов, качественного уличного освещения,

продуманной системы водоснабжения, электроснабжения, канализации, высокоскоростной связи и телекоммуникации.

Все вышеназванное планируется согласно Муниципальному контракту № 01073000189200000750001 от 01.09.2020 года и Проекту планировки территории А62.1025-19 ППТ.ОЧП.

Схема расположения проектируемой территории в соответствии с кадастровой картой изображена на рисунке 1.

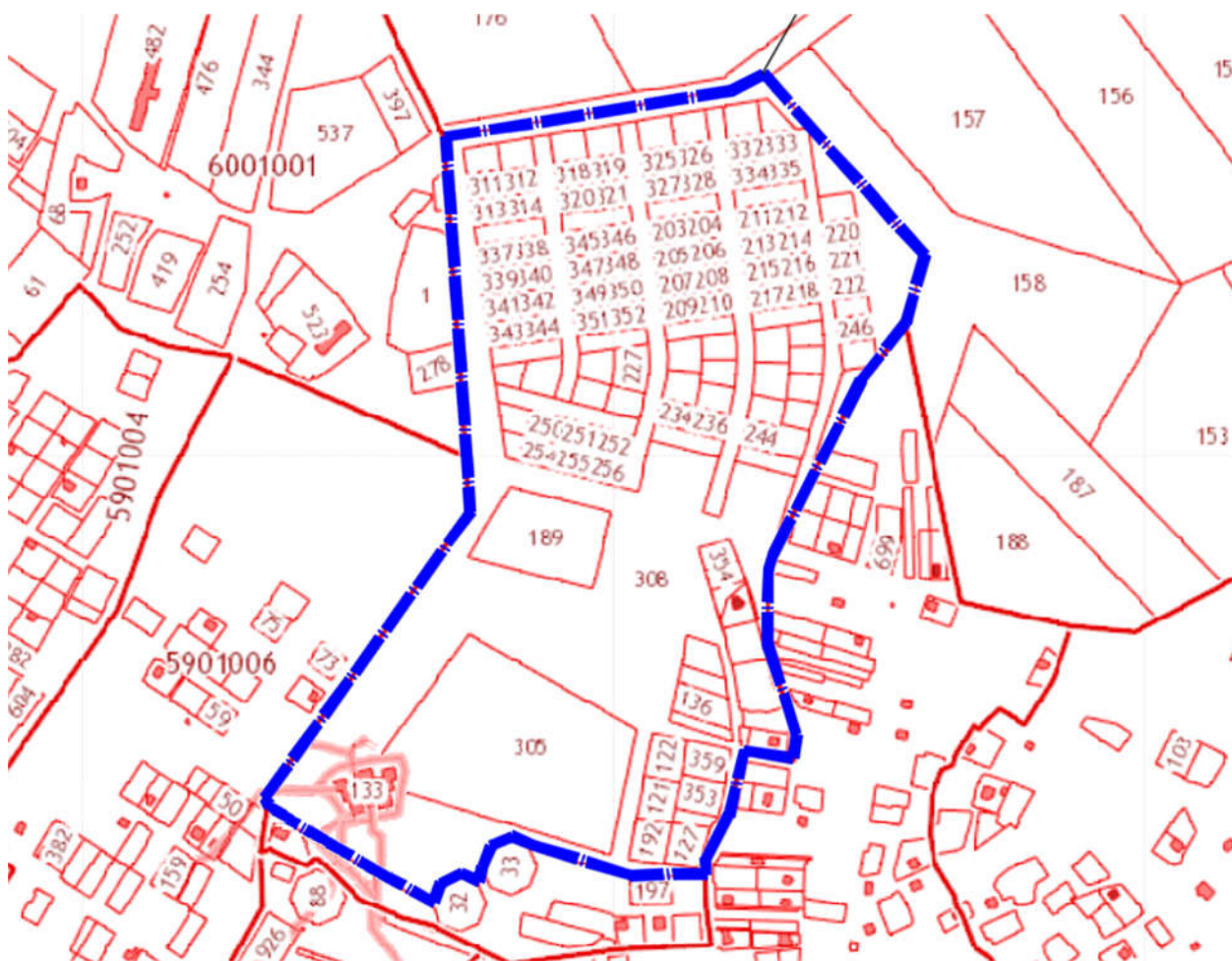


Рисунок 1 – Схема расположения проектируемой территории

Технические условия для присоединения к электрическим сетям в соответствии с договором № СПб80-04115Ю/21 от 22.03.2021 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические условия для присоединения к электрическим сетям

Источник питания (наименование питающих линий)	Описание точки присоединения	Категория надежности электро-снабжения	Максимальная мощность присоединяемых электроустановок, кВт	Вид питания (основное, резервное)
ВЛ 10 кВ яч.6Д ПС 110/10 кВ «Объячево»	по контактам присоединения проектируемой ЛЭП 10 кВ Заявителя к проводам ВЛ 10 кВ яч.6Д ПС 110/10 кВ «Объячево», на опоре № 8/43	III (третья)	603,5	основное

Согласно техническому заданию на выполнение работ по разработке проектно-сметной документации по объекту «Обустройство объектами инженерной инфраструктуры и благоустройство площадок, расположенных на сельских территориях, под компактную жилищную застройку, согласно проекту планировки территории нового квартала в с. Объячево Прилузского района Республики Коми площадью 36,7 га для целей жилищного строительства» требуется спроектировать:

- трансформаторную подстанцию (ТП) 10/0,4 кВ. Определить место установки, количество и тип подстанций ТП, мощность силовых трансформаторов, защиту трансформаторов и присоединений 0,4/10 кВ, коммутационную аппаратуру, защиту от перенапряжений, автоматику ТП, строительную часть и заходы на ТП;
- ЛЭП 10 кВ от опоры № 8/43 ВЛ-10 кВ яч.6Д ПС 110/10 кВ «Объячево» до РУ 10 кВ проектируемой ТП. Определить способ прокладки, трассу, марку и сечение провода (кабеля). На границе раздела балансовой принадлежности предусмотреть установку пункта коммерческого учета (ПКУ) с использованием автоматизированной системы передачи данных. Определить марку и место установки ПКУ;

- ЛЭП 10 кВ от ПС 110/10 кВ «Объячево» до РУ 10 кВ проектируемой (-ых) ТП. Определить количество линий, способ прокладки, трассу, марку и сечение провода (кабеля);
- силовую распределительную сеть 0,4 кВ. Сеть выполнить на опорах ВЛ. Разработать опоры ВЛ. Определить тип схемы электроснабжения, трассу, марку и сечение провода;
- систему наружного освещения с количеством пунктов питания более двух. Управление уличным освещением запроектировать через автоматическую систему управления наружным освещением (АСУНО).

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы, необходимо решить ряд задач:

- произвести расчет ожидаемых электрических нагрузок;
- выбрать трансформаторные подстанции, проводники и защитную аппаратуру;
- определить токи короткого замыкания;
- разработать систему наружного освещения;
- разработать узлы заземляющих устройств;
- разработать технические решения по организации электроснабжения.

Вывод по разделу: собрана исчерпывающая информация об объекте проектирования. Изложен список требуемой проектно-сметной документации согласно техническому заданию. Сформулированы задачи для достижения цели проекта.

2 Разработка технических решений по организации электроснабжения

2.1 Выбор места установки, количество и тип трансформаторных подстанций

Согласно расчету ожидаемых электрических нагрузок, который представлен в разделе 3, для обеспечения квартала выбрано три ТП:

- ТП-1 питает массив жилой застройки;
- ТП-2 питает четыре здания общественного назначения: школу, пункт полиции, детский сад и физкультурно-оздоровительный центр;
- ТП-3 питает торгово-развлекательный центр.

«Определитель местоположение трансформаторной подстанции – это значит найти координаты центра электрических нагрузок» [32]. Но ввиду плотной компактной жилой застройки расположить ТП близко к центру электрических нагрузок получается весьма редко. Также на место установки ТП влияет расположение других объектов инженерной инфраструктуры.

Трансформаторные подстанции выбраны комплектные двухблочного исполнения (2БКТП). Завод-изготовитель «ЭЗОИС-Поволжье». Внешний вид 2БКТП представлен на рисунке 2 [5].

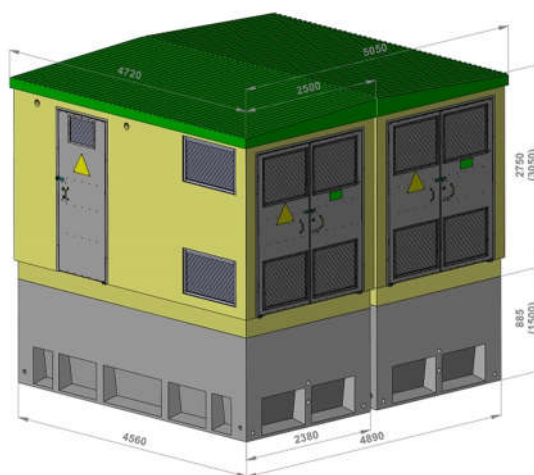


Рисунок 2 – Внешний вид 2БКТП

Преимущество 2БКТП перед традиционными ТП является их полная заводская готовность, что позволяет сократить расходы на сооружение и монтаж подстанции на объекте, в частности, за счет уменьшения сроков выполнения указанных работ. Помимо этого плотная компоновка оборудования уменьшает габариты ТП, что дает возможность более эффективно использовать территорию объекта за счет минимизации отчуждаемой территории [5].

В соответствие с климатическими показателями местности выбрана 2БКТП в северном исполнении. Условия эксплуатации 2БКТП в соответствии с каталогом завода изготовителя приведены ниже:

- «низшая температура окружающей среды для 2БКТП в северном исполнении минус 47 °С;
- высшая температура окружающей среды плюс 40 °С;
- высота над уровнем моря не более 1000 м;
- окружающая среда – взрыво- и пожаробезопасная, не содержащая токопроводящей пыли, химически активных газов и испарений (атмосфера типа I и II);
- огнестойкость изделия по V степени (СНиП 21-01-97);
- уровень шума и электромагнитного излучения подстанции определяется согласно проведенных измерения «Центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора в г. Москве»;
- сейсмичность района сооружения – до 7 баллов по шкале Рихтера» [5].

Ввиду большого количества снежных осадков в холодный период года, установка надземных блоков ТП производится на высокий объемный приямок (ОП) 1500 мм. Более подробную информацию о выбранных 2БКТП можно узнать в опросном листе заказа, который представлен в разделе 5.

Ввод в ТП осуществляется кабельными линиями.

2.2 Канализация и учет электроэнергии на стороне 10 кВ

Линии данного класса напряжения используются для питания 2БКТП на объекте проектирования. Количество питающих линий, подводимых к ТП, зависит от требуемой категории надежности электроснабжения потребителей, которых питает данная ТП. Категории надежности электроснабжения потребителей определены в разделе 4.

Для 2БКТП-1 требуется одна питающая линия. Подключение данной ТП к ПС 110/10 кВ «Обьячево» осуществляется ответвлением от опоры №8/43 существующей ВЛ-10 кВ в соответствии с договором № СПб80-04115Ю/21. На границе раздела балансовой принадлежности на собственных спроектированных опорах №8/43.1 и №8/43.2 устанавливаются разъединитель РЛНД1-10/400 У1 и пункт коммерческого учета ПКУ-10-У1 (завод-изготовитель ЗАО «ПРОМЭНЕРГО») соответственно. Проект установки ПКУ согласован с местным отделением МРСК Северо-запада. Далее участок от ПКУ до 2БКТП-1 выполняется кабельной линией.

Для 2БКТП-2 и 2БКТП-3 требуется по две питающих линий. Оставшейся допустимой пропускной способности существующей ВЛ-10 кВ не хватит даже для частичного обеспечения питания одной из этих ТП. В связи с этим принято решение о проектировании двух новых линий электропередач 10 кВ от ПС 110/10 кВ «Обьячево».

Наиболее подходящим и выгодным решением для проектируемого нового квартала является следующий вариант: участок от ПС 110/10 кВ «Обьячево» до границ проектируемого объекта выполнить с помощью двух двухцепных линий ВЛЗ-10 кВ, а участок в проектируемой зоне выполнить кабельными линиями. Питание каждой двухцепной линии происходит от разных секций шин ПС.

Для силовой сети ВЛЗ-10 кВ выбран провод марки СИП-3. Для КЛ-10 кВ выбран кабель марки АПвБВ.

Опоры №8/43.1 и №8/43.2 выполнены на базе железобетонной вибрированной стойки СВ-105-5, длиной 10,5 м, с расчетным изгибающим моментом в 5 тс м.

Все виды необходимых опор ВЛЗ-10 кВ выполнены согласно типовому проекту [26] на базе железобетонной вибрированной стойки С-112-1, длиной 11,2 м, с расчетным изгибающим моментом в 1 тс м. Железобетонная стойка выбрана за счет хорошего соотношения цены и характеристик.

Максимальная длина расчетного пролета для ВЛЗ-10 кВ определяется в соответствии с таблицей 21 [26]. Исходя из выбранных сечений в разделе 5, расчетная длина пролета в населенной местности составляет 50 м.

Монтажная высота нижней цепи составляет не менее 7,3 м от уровня земли. Расстояние между цепями – 0,6 м.

Коммерческий учет для спроектированных ВЛЗ-10 кВ осуществляется в ячейках 10 кВ ПС 110/10 «Обьячево». В каждой ячейке свой счетчик. Выбором марки прибора учета и их установкой занимается местное отделение МРСК Северо-запада.

2.3 Канализация и учет электроэнергии на стороне 0,4 кВ

Линии электропередач 0,4 кВ выполняются воздушными линиями с использованием провода СИП. Подключение ВЛИ-0,4 кВ к 2БКТП-1 выполняется кабельными линиями.

Принято решение выполнить совместную подвеску силовой распределительной сети и линии наружного освещения. Это немного снизит длину пролета между опорами, но зато не придется для каждой линии устанавливать собственные опоры. Кронштейны для установки светильников наружного освещения также будут установлены на этих же опорах.

Цепь линии освещения монтируются выше линии силовой сети. Расстояние между цепями – 0,3 м. Монтажная высота нижней цепи составляет не менее 7,2 м от уровня земли.

Для ВЛИ-0,4 кВ силовой распределительной сети и линий наружного освещения выбран провод марки СИП-2А. Для небольших по длине ответвлений от ВЛИ-0,4 кВ силовой сети выбран провод марки СИП-4. Для КЛ-0,4 кВ силовой распределительной сети и линий наружного освещения выбран кабель марки АВББШв.

Промежуточные опоры ВЛИ-0,4 кВ выполнены согласно типовому проекту [29] на базе железобетонной вибрированной стойки СВ-105-3,5, длиной 10,5 м, с расчетным изгибающим моментом в 3,5 тс м. Железобетонная стойка выбрана за счет хорошего соотношения цены и характеристик.

Анкерные опоры ВЛИ-0,4 кВ выполнены согласно типовому проекту [28] на базе металлической граненой конической силовой стойки ОГКСф-1,3-8,0, высотой надземной части 8 м, максимальная допустимая статическая нагрузка в верхней точке опоры 1300 кг, с фланцевым соединением опоры и закладного элемента. Закладная деталь ЗФ-30/12/440-3,0-б. Металлическая стойка была выбрана в связи невозможности установки в ряде мест анкерных опор на базе железобетонных стоек, а также из эстетических соображений. В отличие от железобетонных стоек, опорам на базе металлических стоек благодаря массивной закладной детали, которая прочно удерживает опору, не требуется наклонная стойка, которая помогала бы воспринимать тяжение проводов смежных участков. Отсутствие наклонных стоек позволяет снизить площадь, требуемую для установки опоры. В местах, где установка анкерных железобетонных опор возможна, с целью сохранения общего стиля и единообразия будут установлены опоры на базе металлической стойки. Помимо этого, металлическая опора способна выдержать большие нагрузки, по сравнению с опорами выполненных из дерева или железобетона, что весьма кстати с учетом большого количества подвешенных линий на каждой опоре.

Выбрана поуличная схема расположения опор ВЛИ-0,4 кВ, то есть линии электропередач располагаются вдоль улиц. Максимальная длина

расчетного пролета определяется в соответствии с таблицами 16 и 21 [29]. Исходя из выбранных сечений в разделе 5, выбраны следующие расчетные пролеты:

- для опор совместной подвески силовой распределительной сети и линий наружного освещения (или подвески только силовой распределительной сети) – 34 м;
- для опор подвески только линий наружного освещения – 40 м.

Технический учет будет осуществляться в ТП на вводе в ШНН, а коммерческий учет на ответвлениях к потребителям от силовой распределительной сети (для домов частной малоэтажной застройки) и в ВРУ общественных зданий. Прибор учета электроэнергии в ТП – Меркурий 234ART-03 Р. Монтаж приборов учета электроэнергии потребителей частной малоэтажной застройки будет выполняться на опорах. Выбором марки приборов учета, их установкой, а также подключением жилых и общественных зданий к силовой распределительной сети занимается местное отделение МРСК Северо-запада.

2.4 Наружное освещение

В целях рационального использования энергоресурсов необходимо использовать современные осветительные установки, с высокими показателями КПД и коэффициента мощности. Наиболее современный и перспективный тип осветительных устройств – светодиодные [34]. Светотехнический расчет будем проводить в программном комплексе DIALux 4.13. При расчете освещенности будем опираться на актуальную нормативно-техническую базу.

Как уже говорилось ранее в подразделе 2.3, основное уличное освещения будет выполняться на опорах силовой сети 0,4 кВ. Вверху каждой стойки будут монтироваться радиусные кронштейны для установки одного или двух (под углом 90 или 180 градусов между светильниками) консольных

светильников на фланце. Монтажная высота кронштейна – 8,0 м, высота установки светильника на кронштейн – 10,0 м от уровня земли.

Светильник для основного уличного освещения выбран GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50 [8]. На рисунке 3 показан внешний вид светильника и его кривая сила света (КСС).

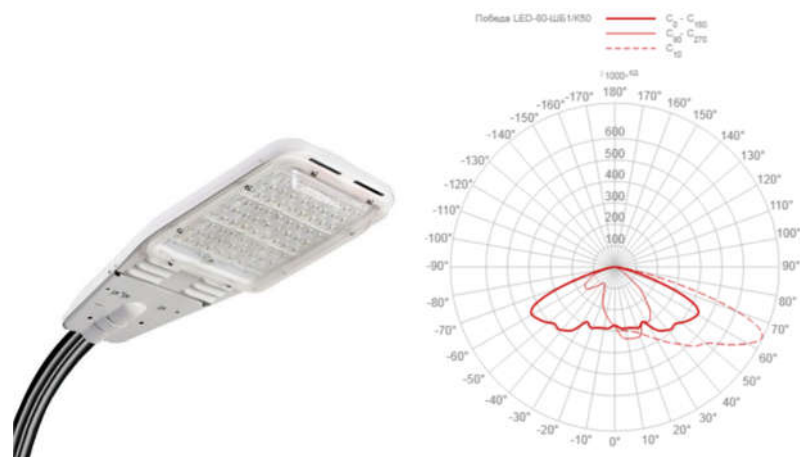


Рисунок 3 – Внешний вид и кривая сила света светильника GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50

В местах, где уровень освещенности от основного уличного освещения по светотехническому расчету не соответствует требованиям, обозначенных в таблице 7.11 СП 52.13330.2016 [21], а также вдоль центральных улиц проектируемого квартала выполнено дополнительное уличное освещение. Цель данного освещения – выровнять освещенность и подчеркнуть особое настроение данных мест.

Светильник для дополнительного уличного освещения выбран GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60 [9]. Данный светильник монтируется на собственную опору, которая идет в комплекте, высота установки светильника – 4,0 м. На рисунке 4 показан внешний вид светильника и его кривая сила света.

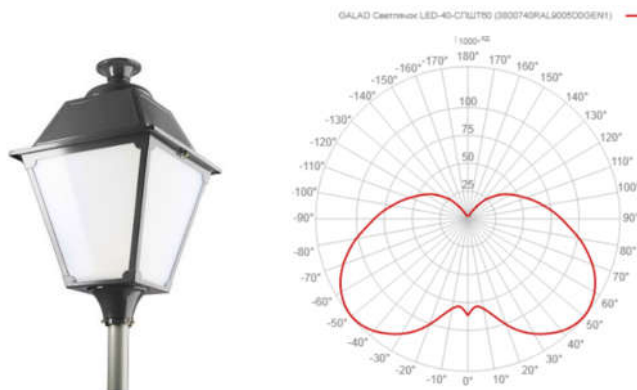


Рисунок 4 – Внешний вид и кривая сила света светильника GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60

Помимо освещения улиц, данный светильник используется для освещения прилегающих территорий общественных зданий, парков и скверов.

Для освещения спортивных объектов (площадей) используется светильник DS-STREET 180 (55) [7]. Данный светильник монтируется на опору ОГКЛф-10 [6]. Для крепления светильника на опоре дополнительно докупаем консольное крепление и держатель ДКУ. Высота монтажа светильника – 10 м. На рисунке 5 показан внешний вид светильника и его кривая сила света.

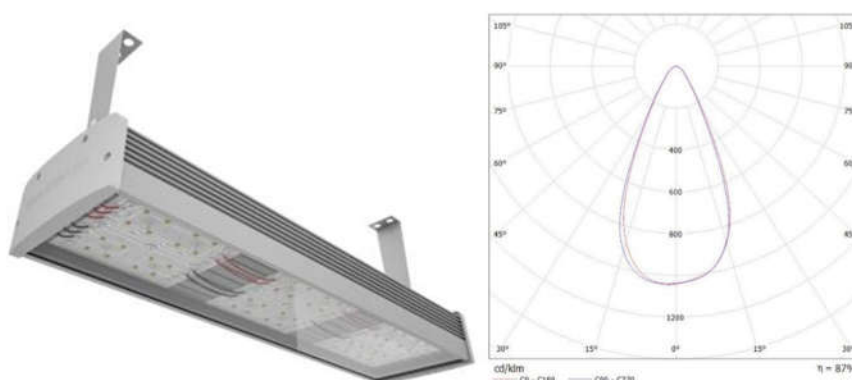


Рисунок 5 – Внешний вид и кривая сила света светильника DS-STREET 180 (55)

Основные технические характеристики всех используемых светильников представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные технические характеристики используемых светильников

Наименование параметра	GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50	GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60	DS-STREET 180 (55)
Электрические характеристики			
Номинальная мощность, Вт	80	40	180
Номинальное напряжение, В	230	220	220
Частота питания, Гц	50	50	50
Коэффициент мощности, не менее	0,95	0,90	0,90
Класс защиты от поражения электрическим током	1	1	1
Светотехнические характеристики			
Световой поток, лм	9170	3800	21600
Световая отдача, лм/Вт	115	95	120
Диапазон цветовой температуры, К	5000	4000	4700 – 5200
Индекс цветопередачи (CRI), Ra	70	70	85
Тип КСС	широкая, боковая	специальная, полуширокая	55 градусов
Эксплуатационные характеристики			
Тип источника света	светодиод	светодиод	светодиод
Способ установки светильника	консольный	торшерный	подвес, кронштейн, консольный, накладной
Климатическое исполнение	УХЛ1	У1	УХЛ1
Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до 50	от -50 до 50	от -50 до 50
Степень защиты светильника	IP65	IP33	IP67
Тип рассеивателя	прозрачный	матовый	прозрачный
Масса, кг	5,0	13,5 (вместе с торш. опорой)	5,2
Габариты Д×Ш×В, мм	605×290×130	470×470×810	450×155×70
Срок службы светильника, часов	100000	100000	100000
Гарантийный срок, лет	5	5	6

«Одним из эффективных методов повышения энергоэффективности системы освещения и снижения затрат на её эксплуатацию является использование систем управления освещением» [10]. Управление уличным освещением осуществляется при помощи автоматизированного пункта питания наружного освещения АППНО.GALAD.PB.6.0.

«АППНО.GALAD.PB.6.0 – Автоматизированный пункт питания наружного освещения (6 отходящих трехфазных линий по 100А), обеспечивающий автономное управление наружным освещением с помощью контроллера "БРИЗ-РВ" (автономное включение и отключение наружного освещения по годовому расписанию). Он предназначен для включения и отключения наружного освещения в режимах «вечер», «ночь», защиты отходящих линий от перегрузок и токов короткого замыкания, а также для учета электроэнергии» [10]. Пункт питания представляет собой металлический шкаф с передней дверью, оборудованной замком. Масса изделия 80 кг. Внешний вид АППНО.GALAD.PB.6.0 представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид АППНО.GALAD.PB.6.0

Монтаж осуществляется вертикально и закрепляется, в нашем случае, к неподвижной металлической раме. Металлическая рама, выполненная из стального уголка В50×50×5 Ст3пс5, устанавливается в грунт на подготовленное бетонное основание, выполненное из бетона класса В7,5.

После чего заливается бетонный фундамент, из бетона класса В22,5 F150 W6. Ввод осуществляется кабельными линиями через стальные водогазопроводные трубы, диаметром условного прохода 50 мм, для защиты от механических повреждений. Направление выхода труб из бетонного фундамента варьируется в зависимости от направления вывода кабелей. Все соединения выполняются сваркой электродом Э42А ГОСТ 9467-75, высота шва 3 мм. Металлоконструкции опорной рамы окрашиваются эмалью ХС-720С в 4 слоя. Масса металлической рамы 890,22 кг.

Для обслуживания АППНО оперативным персоналом металлическая рама предусматривает специальную платформу, выполненная из стального листа с ромбическим рифлением.

Всего планируется к установке два АППНО. Оба получают питание по собственной КЛ от 2БКТП-1.

АППНО-1 обеспечивает питание и управляет основным и дополнительным уличным освещением, а также освещением скверов квартала. От него отходит 6 цепей (направлений) освещения, которые суммарно освещают 15 улиц (2 из них существующие, 13 проектируемые) и 2 сквера.

АППНО-2 обеспечивает питание и управляет освещением центрального парка. От него отходит 3 цепи (направления) освещения, каждая из которых управляет своей зоной (участком) этого парка.

Питание освещения прилегающих территорий общественных зданий осуществляется от шкафов управления наружного освещения (ШУНО) непосредственно тех зданий, чью территорию они освещают.

Вывод по разделу: выбраны марки проводников и оборудование для силовых сетей 0,4 и 10 кВ, а также для линий наружного освещения. Разработаны трассы данных сетей. Определены места установки ТП. Количество ТП – 3. Тип ТП – комплектные двухблочные ТП. Заходы на ТП осуществляются с помощью КЛ.

3 Расчет электрических нагрузок

Для того чтобы разработать систему электроснабжения необходимо иметь данные о потребляемой электрической нагрузке. На основе этих данных будет производиться выбор номинальной мощности трансформаторов, электрических аппаратов и сечений проводников [36].

Расчёт ведётся в соответствии с методикой, рекомендованной нормами технического проектирования и нормативно-техническими документами:

- Правила устройства электроустановок ПУЭ (изд. 7) [15];
- РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей» [18];
- РД 34.20.178-82 «Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения» [17];
- СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» [24].

Расчет ожидаемых электрических нагрузок включает в себя:

- нахождение исходных данных (удельных активных нагрузок, коэффициентов мощности, одновременности участия в максимуме нагрузки и так далее);
- нахождение расчетной потребляемой активной нагрузки одного здания;
- нахождение суммарной расчетной потребляемой активной, реактивной и полной мощности;
- нахождение суммарного расчетного тока нагрузки [33].

2.1 Расчет электрических нагрузок массива жилой застройки

Всего в массиве жилой застройки будет находиться 108 коттеджей с электрическими плитами, каждый на 1 семью, 2 этажа, суммарной площадью 200 м².

Исходные данные для расчёта приняты в соответствии с п. 2.3 РД 34.20.178-82 [17]. Исходные данные занесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок массива жилой застройки

Параметр	Значение
Установленная мощность многоквартирного дома $P_{уст.ж.д}$, кВт	15
Количество многоквартирных домов n , шт	108
Коэффициент спроса k_c	0,55
Коэффициент одновременности участия в максимуме нагрузки $k_{одн}$	0,60
Средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi$	0,94

Расчетная потребляемая активная нагрузка одного многоквартирного жилого дома $P_{р.ж.д}$ определена по формуле (1):

$$P_{р.ж.д} = P_{уст.ж.д} k_c \quad (1)$$

Суммарная расчетная потребляемая активная мощность домов массива жилой застройки $P_{р.сум.ж.д}$, подключенных к одной линии питания, рассчитана по формуле (2):

$$P_{р.сум.ж.д} = P_{р.ж.д} n k_{одн} \quad (2)$$

Для определения расчетной реактивной мощности необходимо определить коэффициент мощности $tg\varphi$. Коэффициент мощности $tg\varphi$ может

быть найден с помощью коэффициента активной мощности $\cos\varphi$ через тригонометрическое тождество по формуле (3):

$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi} - 1}. \quad (3)$$

Суммарная расчетная реактивная мощность домов массива жилой застройки $Q_{\text{р.сум.ж.д}}$, подключенных к одной линии питания, рассчитана по формуле (4):

$$Q_{\text{р.сум.ж.д}} = P_{\text{р.сум.ж.д}} \operatorname{tg}\varphi. \quad (4)$$

Полная мощность массива жилой застройки $S_{\text{р.сум.ж.д}}$ найдена через треугольник мощности по формуле (5):

$$S_{\text{р.сум.ж.д}} = \sqrt{P_{\text{р.сум.ж.д}}^2 + Q_{\text{р.сум.ж.д}}^2}. \quad (5)$$

Зная полную мощность и напряжение сети можно найти ток нагрузки. Расчетный ток нагрузки массива жилой застройки $I_{\text{р.сум.ж.д}}$ определен по формуле (6):

$$I_{\text{р.сум.ж.д}} = \frac{S_{\text{р.сум.ж.д}}}{\sqrt{3} U_{\text{л}}}. \quad (6)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное номинальное напряжение сети, равное 0,4 кВ.

Полученные результаты расчетов занесены в сводную ведомость электрических нагрузок массива жилой застройки (таблица 8).

Таблица 8 – Сводная ведомость электрических нагрузок массива жилой застройки

Наименование	$P_{уст.},$ кВт	k_c	n	$P_{р1},$ кВт	$P_{сум},$ кВт	$k_{одн}$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{р.сум},$ кВт	$Q_{р.сум},$ квар	$S_{р.сум},$ кВА	I_p, A
Линия 1	15	0,55	9	8,25	74,25	0,60	0,94	0,36	44,6	16,1	47,4	68,4
Линия 3	15	0,55	9	8,25	74,25	0,60	0,94	0,36	44,6	16,1	47,4	68,4
Линия 5	15	0,55	8	8,25	66,00	0,65	0,94	0,36	42,9	15,4	45,6	65,8
Линия 7	15	0,55	9	8,25	74,25	0,60	0,94	0,36	44,6	16,1	47,4	68,4
Линия 9	15	0,55	8	8,25	66,00	0,65	0,94	0,36	42,9	15,4	45,6	65,8
Линия 11	15	0,55	8	8,25	66,00	0,65	0,94	0,36	42,9	15,4	45,6	65,8
Наружное освещение 1	-	-	1	24,20	24,20	1,00	0,94	0,36	24,2	9,0	25,8	37,3
Итого на I С.Ш.	-	-	52	-	445,00	0,68	0,94	0,36	286,7	103,5	304,8	440,0
Линия 2	15	0,55	11	8,25	90,75	0,50	0,94	0,36	45,4	16,3	48,2	69,6
Линия 4	15	0,55	11	8,25	90,75	0,50	0,94	0,36	45,4	16,3	48,2	69,6
Линия 6	15	0,55	9	8,25	74,25	0,60	0,94	0,36	44,6	16,1	47,4	68,4
Линия 8	15	0,55	9	8,25	74,25	0,60	0,94	0,36	44,6	16,1	47,4	68,4
Линия 10	15	0,55	10	8,25	82,50	0,55	0,94	0,36	45,4	16,3	48,2	69,6
Линия 12	15	0,55	7	8,25	57,75	0,70	0,94	0,36	40,4	14,5	42,9	62,0
Наружное освещение 2	-	-	1	3,30	3,30	1,00	0,90	0,48	3,3	1,6	3,7	5,3
Итого на II С.Ш.	-	-	58	-	491,10	0,64	0,93	0,40	269,1	97,2	286,1	413,0
ИТОГО на 2БКТП-1	-	-	110	-	936,00	0,66	0,94	0,36	555,8	200,7	590,9	852,9

Так как трансформаторы на ТП должны быть одинаковые, нагрузка распределяется по секциям шин с разницей не более 10 %.

В таблице 8 предоставлен расчет электрических нагрузок по воздушным линиям. Как было сказано ранее, воздушные линии располагаются вдоль улиц. Все дома, расположенные на какой-либо одной улице, подключаются к проходящей по этой улице воздушной линии силовой распределительной сети 0,4 кВ. Количество линий равно количеству главных улиц квартала – 12. Количество домов на улицах также представлены в таблице 8.

Расчет электрических нагрузок по воздушным линиям выполнен аналогично расчету электрических нагрузок всего массива жилой застройки.

Данные электрических нагрузок наружного освещения взяты из подраздела 3.3. Наружным освещением 1 управляет АППНО-1, а наружным освещением 2 – АППНО-2 соответственно.

2.2 Расчет электрических нагрузок общественных зданий

Исходные данные для расчёта приняты в соответствии с РД 34.20.185-94 таблицей 2.2.1 [18] и СП 256.1325800.2016 таблицей 7.14 [24] с уточнением этих данных со схожими проектами зданий. Исходные данные занесены в таблицу 9.

- Всего по проекту планируется пять зданий общественного назначения:
- а) общеобразовательное учебное заведение (школа) на 600 мест, 3 этажа, суммарной площадью 11040 м², с электрифицированной столовой и спортзалом;
 - б) детское дошкольное учреждение (детский сад) на 520 мест, 3 этажа, суммарной площадью 9780 м², с электрифицированной столовой и спортзалом;
 - в) физкультурно-оздоровительный комплекс (ФОК) на 200 мест, 1-3 этажа, суммарной площадью 3033 м²;

- г) пункт полиции (МВД) на 150 рабочих, 2 этажа, суммарной площадью 4314 м²;
- д) торгово-развлекательный центр (ТРЦ), 2 этажа, суммарной площадью 8740 м², в котором имеется:
- 1) раздаточный пункт молочной кухни, площадью 10 м²;
 - 2) помещения для организации досуга и любительской деятельности, площадью 16 м²;
 - 3) клуб на 26 мест;
 - 4) спортивный зал, площадью 2000 м²;
 - 5) магазин продовольственных товаров, площадью 21 м²;
 - 6) магазин непродовольственных товаров, площадью 47 м²;
 - 7) предприятие общественного питания на 9 мест;
 - 8) предприятие бытового обслуживания населения на 2 места.

Таблица 9 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок зданий общественного назначения

№ на плане	Общественные здания	g	$S_{\text{сум}}, \text{м}^2$	M	Ед. изм.	$P_{\text{уд}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
109	Общеобразовательное учебное заведение (школа)	3	11040	600	кВт/место	0,25	0,95	0,33
110	Торгово-развлекательный центр (ТРЦ)	2	8740	-	кВт/м ²	0,056	0,89	0,51
111	Пункт полиции (МВД)	2	4314	150	кВт/место	0,40	0,92	0,43
112	Физкультурно-оздоровительный комплекс (ФОК)	3	3033	200	кВт/место	0,64	0,85	0,62
113	Детское дошкольное учреждение (детский сад)	3	9780	520	кВт/место	0,32	0,97	0,25

Расчетные потребляемые активные нагрузки P_p зданий общественного назначения определены по формуле (7), если единица измерения $P_{\text{уд}}$ кВт/место, или по формуле (8), если единица измерения $P_{\text{уд}}$ кВт/м²:

$$P_p = P_{уд} M + P_{р.н.о}, \quad (7)$$

$$P_p = P_{уд} S_{сум} + P_{р.н.о}, \quad (8)$$

где $P_{р.н.о}$ – расчетная потребляемая активная мощность осветительных установок наружного освещения, найдена в подразделе 3.3.

Расчетные реактивные мощности общественных зданий Q_p рассчитаны по формуле (9):

$$Q_p = (P_p - P_{р.н.о}) \operatorname{tg} \varphi + Q_{р.н.о}, \quad (9)$$

где $Q_{р.н.о}$ – расчетная потребляемая реактивная мощность осветительных установок наружного освещения, найдена в подразделе 3.3.

Полные мощности общественных зданий S_p найдены через треугольник мощности по формуле (10):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (10)$$

Зная полную мощность и напряжение сети можно найти ток нагрузки. Расчетный ток нагрузки общественных зданий I_p определен по формуле (11):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{л}}. \quad (11)$$

где $U_{л}$ – линейное номинальное напряжение сети, равное 0,4 кВ.

Полученные результаты расчетов занесены в сводную ведомость электрических нагрузок общественных зданий (таблица 10).

Таблица 10 – Сводная ведомость электрических нагрузок общественных зданий

Наименование	$P_{уд}$		$S_{сум}, M^2$	M	$P_{р1},$ кВт	n	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{р.сум},$ кВт	$Q_{р.сум},$ квар	$S_{р.сум},$ кВА	$I_{р. А}$
	кВт/м ²	кВт/место										
2БКТП-2												
Общ. зд №109 (ввод 1)	-	0,25	11040	600	156,2	0,55	0,95	0,33	85,9	28,2	90,4	130,5
Общ. зд №111 (ввод 1)	-	0,40	4314	150	63,2	0,45	0,92	0,43	28,5	12,1	30,9	44,6
Общ. зд №112 (ввод 1)	-	0,64	3033	200	130,2	0,55	0,85	0,62	71,6	44,4	84,3	121,6
Общ. зд №113 (ввод 1)	-	0,32	9780	520	166,4	0,45	0,97	0,25	74,9	18,8	77,2	111,4
Итого на I С.Ш.	-	-	-	-	-	2	0,92	0,41	260,9	103,5	280,6	405,1
Общ. зд №109 (ввод 2)	-	0,25	11040	600	156,2	0,45	0,95	0,33	70,3	23,1	74,0	106,8
Общ. зд №111 (ввод 2)	-	0,40	4314	150	63,2	0,55	0,92	0,43	34,8	14,8	37,8	54,6
Общ. зд №112 (ввод 2)	-	0,64	3033	200	130,2	0,45	0,85	0,62	58,6	36,3	69,0	99,5
Общ. зд №113 (ввод 2)	-	0,32	9780	520	166,4	0,55	0,97	0,25	91,5	22,9	94,4	136,2
Итого на II С.Ш.	-	-	-	-	-	2	0,92	0,41	255,2	97,2	273,1	394,1
ИТОГО на 2БКТП-2	-	-	-	-	-	4	0,92	0,41	516,0	200,7	553,7	799,2
2БКТП-3												
Общ. зд №110												
ввод 1	0,056	-	8740	-	490,6	0,15	0,89	0,51	73,6	37,7	82,7	119,3
ввод 3	0,056	-	8740	-	490,6	0,19	0,89	0,51	93,2	47,8	104,7	151,2
ввод 5	0,056	-	8740	-	490,6	0,16	0,89	0,51	78,5	40,2	88,2	127,3
Итого на I С.Ш.	-	-	-	-	-	0,50	0,89	0,51	245,3	125,7	275,6	397,8
ввод 2	0,056	-	8740	-	490,6	0,17	0,89	0,51	83,4	42,7	93,7	135,2
ввод 4	0,056	-	8740	-	490,6	0,15	0,89	0,51	73,6	37,7	82,7	119,3
ввод 6	0,056	-	8740	-	490,6	0,18	0,89	0,51	88,3	45,2	99,2	143,2
Итого на II С.Ш.	-	-	-	-	-	0,50	0,89	0,51	245,3	125,7	275,6	397,8
ИТОГО на 2БКТП-3	-	-	-	-	-	1,00	0,89	0,51	490,6	251,3	551,2	795,6

Так как трансформаторы на ТП должны быть одинаковые, нагрузка распределяется по секциям шин с разницей не более 10 %.

2.3 Расчет электрических нагрузок наружного освещения

На данном этапе необходимо определить количество осветительных установок и их суммарную мощность.

Расчетная потребляемая активная мощность осветительных установок наружного освещения, вычислена по формуле (12):

$$P_{p.n.o} = P_{o,y} \cdot n \cdot k_c, \quad (12)$$

где $P_{o,y}$ – мощность одного светильника;

n – количество светильников;

k_c – коэффициент спроса. Для осветительных установок он равен 1.

Расчетная потребляемая реактивная мощность осветительных установок наружного освещения, определена по формуле (13):

$$Q_{p.n.o} = P_{p.n.o} \cdot tg\varphi, \quad (13)$$

где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности осветительных установок, найден по формуле (3).

Расчетная потребляемая полная мощность осветительных установок наружного освещения найдена через треугольник мощности по формуле (14):

$$S_{p.n.o} = \sqrt{P_{p.n.o}^2 + Q_{p.n.o}^2}. \quad (14)$$

Зная полную мощность и напряжение сети можно найти ток нагрузки. Расчетный ток нагрузки наружного освещения определен по формуле (15):

$$I_{\text{р.н.о}} = \frac{S_{\text{р.н.о}}}{\sqrt{3} U_{\text{л}}} \quad (15)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное номинальное напряжение сети, равное 0,4 кВ.

Полученные результаты расчетов занесены в сводную ведомость электрических нагрузок наружного освещения (таблица 11).

Светильники распределены по цепям-направлениям. Распределение осветительных устройств по направлениям произведено таким образом, чтобы каждое направление освещало определенную область (участок квартала). Цель данного распределения является удобное управление наружным освещением, увеличение надежности и распределение нагрузки.

Количество направлений на АППНО-1 равно 6, то есть на одно направление приходится освещение двух главных улиц квартала. Освещение небольших улиц, а также проездов осуществляется путем ответвления от магистрали цепи освещения.

Количество направлений на АППНО-2 равно 3. Направление 7 питает светильники центральной части парка, направление 8 – восточную его часть, а направление 9 – западную.

Прилегающие территории общественных зданий №109 и №111 достаточно обширные, поэтому их освещение осуществляется от двух направлений: первое направление питает территорию непосредственно около данных зданий (ближнее освещение), второе – озеленённую территорию, находящуюся в достаточной удалённости от этих зданий (дальнее освещение).

Таблица 11 – Сводная ведомость электрических нагрузок наружного освещения

Наименование	$P_{0,y}$, кВт	k_c	n	P_{p1} , кВт	$P_{сум}$, кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{p.сум}$, кВт	$Q_{p.сум}$, квар	$S_{p.сум}$, кВА	I_p , А
АППНО-1											
Направление 1	0,08 0,04	1	52 19	0,08 0,04	4,16 0,76	0,93	0,40	4,92	1,97	5,30	7,22
Направление 2	0,08 0,04	1	49 46	0,08 0,04	3,92 1,84	0,92	0,43	5,76	2,48	6,27	7,99
Направление 3	0,08 0,04	1	37 10	0,08 0,04	2,96 0,40	0,94	0,36	3,36	1,21	3,57	4,95
Направление 4	0,08	1	44	0,08	3,52	0,95	0,33	3,52	1,16	3,71	5,35
Направление 5	0,08	1	45	0,08	3,60	0,95	0,33	3,60	1,19	3,79	5,47
Направление 6	0,08	1	38	0,08	3,04	0,95	0,33	3,04	1,00	3,20	4,62
ИТОГО на АППНО-1	0,08 0,04	-	265 75	-	21,20 3,00	0,94	0,36	24,20	9,01	25,82	37,27
АППНО-2											
Направление 7	0,04	1	20	0,04	0,80	0,90	0,48	0,80	0,38	0,89	1,28
Направление 8	0,04	1	30	0,04	1,20	0,90	0,48	1,20	0,58	1,33	1,92
Направление 9	0,04	1	33	0,04	1,32	0,90	0,48	1,32	0,63	1,46	2,12
ИТОГО на АППНО-2	0,04	-	83	-	3,32	0,90	0,48	3,32	1,59	3,68	5,32
Общественное здание №109											
Направление Ш1	0,04	1	41	0,04	1,64	0,90	0,48	1,64	0,79	1,82	2,63
Направление Ш2	0,18 0,04	1	12 59	0,18 0,04	2,16 2,36	0,90	0,48	4,52	2,17	5,01	7,41
ИТОГО на Общ. зд №109	0,18 0,04	-	12 100	-	2,16 4,00	0,90	0,48	6,16	2,96	6,83	9,86

Продолжение таблицы 11

Наименование	$P_{0,y}$, кВт	k_c	n	P_{p1} , кВт	$P_{сум}$, кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{p.сум}$, кВт	$Q_{p.сум}$, квар	$S_{p.сум}$, кВА	I_p , А
Общественное здание №110											
Направление Т1	0,04	1	28	0,04	1,12	0,90	0,48	1,12	0,54	1,24	1,80
ИТОГО на Общ. зд №110	0,04	-	28	-	1,12	0,90	0,48	1,12	0,54	1,24	1,80
Общественное здание №111											
Направление П1	0,04	1	47	0,04	1,84	0,90	0,48	1,84	0,88	2,04	3,02
Направление П2	0,04	1	34	0,04	1,36	0,90	0,48	1,36	0,65	1,51	2,18
ИТОГО на Общ. зд №111	0,04	-	81	-	3,20	0,90	0,48	3,20	1,54	3,55	5,12
Общественное здание №112											
Направление Ф1	0,04	1	56	0,04	2,24	0,90	0,48	2,24	1,08	2,48	3,59
ИТОГО на Общ. зд №112	0,04	-	56	-	2,24	0,90	0,48	2,24	1,08	2,48	3,59

Вывод по разделу: суммарная расчетная потребляемая активная мощность массива жилой застройки (2БКТП-1) составляет 555,8 кВт, полная мощность – 590,9 кВА, а ток нагрузки равен 852,9 А.

Суммарная расчетная потребляемая активная мощность общественных зданий, питающихся от 2БКТП-2, составляет 516,0 кВт, полная мощность – 553,7 кВА, а ток нагрузки равен 799,2 А.

Суммарная расчетная потребляемая активная мощность торгово-развлекательного центра, питающегося от 2БКТП-3, составляет 490,6 кВт, полная мощность – 551,2 кВА, а ток нагрузки равен 795,6 А.

Уличное освещение проектируемого квартала обеспечивается 265 светильниками GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50 и 75 светильниками GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60. Суммарная потребляемая активная мощность на уличное освещение составляет 24,2 кВт. Питание и управление данным освещением осуществляется через АППНО-1.

Освещение центрального парка осуществляется 83 светильниками GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60. Суммарная потребляемая активная мощность на освещение парка составляет 3,32 кВт. Питание и управление данным освещением осуществляется через АППНО-2.

Суммарное количество светильников на освещение прилегающих территорий общественных зданий составляет: 265 светильников GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60 и 12 светильников DS-STREET 180 (55). Питание и управление данным освещением осуществляется через ШУНО этих зданий.

Всего осветительных устройств, необходимых для освещения проектируемого квартала составляет: 265 светильников GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50, 423 светильников GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60 и 12 светильников DS-STREET 180 (55).

4 Выбор числа и мощности трансформаторов комплектных трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

«Для жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки не предусматривается» [18].

Выбор количества трансформаторов на трансформаторных подстанциях производится на основании п. 1.2.18-1.2.21 ПУЭ (изд. 7), в соответствии с которыми категория надёжности сектора частной малоэтажной застройки определена как III, а категория надёжности зданий общественного назначения определена как II [15].

Исходя из очередности строительства и удобства эксплуатации в секторе частной малоэтажной застройки принята двухтрансформаторная ТП. Количество трансформаторов (N_T) – 2. Допустимый коэффициент загрузки трансформаторов (k_3) в нормальном режиме не более 1,0.

Суммарная мощность трансформаторов на ТП должна удовлетворять условию, которое задано формулой (16):

$$S_{\text{ном.Т}} N_T k_3 \geq S_{\text{р.сум}}, \quad (16)$$

где $S_{\text{ном.Т}}$ – номинальная мощность одного трансформатора;

$S_{\text{р.сум}}$ – расчетная полная потребляемая мощность на ТП.

Исходя из этого условия, определены номинальные мощности трансформаторов на ТП. После выбора номинальных мощностей трансформаторов, были определены фактические коэффициенты загрузки трансформаторов по формуле (17):

$$k_{\text{ф.з}} = \frac{S_{\text{р.сум}}}{S_{\text{ном.Т}} N_T}, \quad (17)$$

Данные о расчетных значениях полных мощностей на ТП взяты из таблиц 8 и 10. Результаты сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор номинальных мощностей трансформаторов на ТП

Наименование ТП	Расчетная потребляемая полная мощность на ТП, кВА	Количество трансформаторов на ТП	Номинальная мощность одного трансформатора, кВА	Коэффициент загрузки трансформаторов	
				Т-1	Т-2
2БКТП-1	590,9	2	400	0,76	0,72
2БКТП-2	553,7	2	400	0,70	0,69
2БКТП-3	551,2	2	400	0,69	0,69

Рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов для ТП с преобладающей нагрузкой III категории – 0,9...0,95, а для двухтрансформаторной ТП с преобладающей нагрузкой II категории – 0,65...0,7. Фактическая загрузка трансформаторов на ТП соответствует данным рекомендациям.

Выбран трансформатор завода-изготовителя «Электроцит Самара», марки ТМГ [11]. Внешний вид трансформатора представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид трансформатора ТМГ-СЭЩ-400/10/0,4-УХЛ1, 10/0,4 кВ, Д/Ун-11

Технические характеристики трансформатора ТМГ-СЭЩ-400/10/0,4-УХЛ1, 10/0,4 кВ, Д/Ун-11:

- ТМГ – трехфазный, с естественной циркуляцией масла, герметичное исполнение;
- номинальная мощность трансформатора, кВА: 400;
- напряжение первичной обмотки ВН, кВ: 10;
- напряжение вторичной обмотки НН, кВ: 0,4;
- номинальная частота, Гц: 50;
- потери холостого хода, кВт: 0,83;
- потери короткого замыкания, кВт: 5,9;
- ток холостого хода, %: 1,8;
- напряжение короткого замыкания, %: 4,5;
- схема и группа соединений обмоток: Д/Ун-11;
- габариты, Д×Ш×В мм: 1294×762×1270;
- полная масса, кг: 1270;
- масса масла, кг: 263;
- климатическое исполнение: УХЛ1 (умеренный холодный макроклиматический район, предусматривает эксплуатацию на открытом воздухе с воздействием любых атмосферных факторов).

Вывод по разделу: приняты к использованию двухтрансформаторные ТП с трансформаторами ТМГ-СЭЩ-400/10/0,4-УХЛ1, 10/0,4 кВ, Д/Ун-11. Фактические коэффициенты загрузки трансформаторов находятся в рекомендуемых значениях. Компенсация реактивной мощности не требуется.

5 Выбор проводников и электрооборудования

5.1 Выбор комплектующих 2БКТП

Перечень выбранного оборудования 2БКТП представлен в таблице 13.
Выбор оборудования производился с учетом пожеланий заказчика.

Таблица 13 – Опросный лист БКТП

Общие сведения	Тип объекта	БКТП			
	Наименование	Территории нового квартала в с. Объячево Прилузского района Республики Коми площадью 36,7 га для целей жилищного строительства			
	Описание	Блочная комплектная трансформаторная подстанция 2БКТП-400/10/0,4			
	Дополнительно	-			
Строительная часть	Конфигурация	В соответствии с документацией			
	Кол-во блоков	2			
	Высота колпака/приямка	ОК	ОП		
		высокий	высокий		
	Исполнение элементов, отделка и комплектация	Крыша	односкатная	ж/б	
		Внешняя отделка	стандарт		
		Региональное исполнение	север		
Дополнительные элементы	нет				
Дополнительно	-				
Электрическая часть (основное электрооборудование)	Общие данные	Напряжение сети на стороне ВН, кВ		10	
		Маркировка проводников		МКС (ЖЗК/АВС)	
		Граница балансовой принадлежности (ВАЧ)		-	
		Дополнительно			-
	РУ-ВН	Конфигурация			
		По заданным параметрам			
		Поставка	ЭЗОИС	Комплект деталей внешних присоединений	да
		Монтаж	на заводе	Выполняет	ЭЗОИС
		Параметры РУ ВН			
		Тип ячеек	RM6 NE-III	Изготовитель	-
		Номинальный ток сборных шин, А			630
		Число секций (лучей) РУ			1 (2)
		Число отходящих линий (в том числе к ТП)			4
		Наличие ячеек измерительных трансформаторов напряжения			да
		Наличие ячеек ЗСШ			да
	Тип РЗиА	vip-300	Изготовитель	-	
	Дополнительно				
	Силовой трансформатор	Поставка			
		ЭЗОИС			
		Тип	ТМГ-400/10/0,4	Тип изоляции	масляный
Изготовитель		Электроцит Самара			
Мощность, кВА		400	Группа соединения	Д/Ун-11	
Дополнительно					
-					

Продолжение таблицы 13

Электрическая часть (основное электрооборудование)	РУ-НН (силовой распределительный щит)	Конфигурация	По заданным параметрам			
		Поставка	ЭЗОИС			
		Изготовитель	-			
		Монтаж	на заводе	Выполняет	ЭЗОИС	
		Параметры РУ-НН				
		Число секций (лучей) РУ	2			
		Тип аппаратов В1 (В2)	автоматический выключатель	Расцепитель	тип А	
		Марка/производитель В1 (В2)	Metasol AN-08D3-08A M2D2D2BX AC6UOAL			
		Номинальный ток В1 (В2), А	1000			
		Выкатное исполнение	да			
		Дополнительный разъединитель	нет			
		Отдельно стоящая стойка ввода (ОСР)	нет			
		Тип аппарата СВ	автоматический выключатель	Расцепитель	тип А	
		Марка/производитель СВ	Metasol AN-08D3-08A M2D2D2BX AC6UOAL			
		Номинальный ток СВ, А	1000			
		Выкатное исполнение	да	СВ/СР одинаковые	да	
		Число отходящих линий (на один луч)	12			
		Тип аппаратов отходящих линий	ВН-ПП (1р)			
		Дополнительно	Конфигурация РУ-НН в соответствии со схемой (75001-2020-ТКР-ЭС.Гр лист 7)			
	Учет на стороне ВН	Наличие	нет	-		
		Тип счетчика	-			
		Поставка счетчика	-			
		Размещение счетчика	-			
		Дополнительно	-			
	Учет на вводе РУ-НН	Наличие	да			
		Тип счетчика	Меркурий 234 ART-03 Р			
		Поставка счетчика	ЭЗОИС			
		Размещение счетчика	в шкафу РУ			
		Номинал ТТ	1000/5	Класс точности ТТ	0,5S	
		Дополнительно	-			
Измерения на вводе РУ-НН	Наличие	да				
	Номинал ТТ	1000/5	Класс точности ТТ	0,5S		
	Дополнительно	В соответствии со схемой (75001-2020-ТКР-ЭС.Гр лист 7)				
Учет на отходящих линиях РУ-НН	Наличие	подготовка (только шины)				
	Дополнительно	В соответствии со схемой (75001-2020-ТКР-ЭС.Гр лист 7)				

Трансформаторные подстанции 2БКТП-2 и 2БКТП-3 заказываются с двумя распределительными устройствами ВН 10 кВ марки RM6 NE-III и

двумя сборными камерами одностороннего обслуживания марки КСО-ИТН соответственно.

Трансформаторная подстанция 2БКТП-1 заказывается с одним RM6 NE-IIID1 и одним КСО-ИТН.

5.2 Выбор проводников

Выбор по номинальному напряжению, формула (18):

$$U_n \geq U_c, \quad (18)$$

где U_n – номинальное напряжение проводника, кВ;

U_c – номинальное напряжение сети, кВ.

Выбор по длительно-допустимой токовой нагрузке, формула (19):

$$I_{дд} \geq I_p, \quad (19)$$

где $I_{дд}$ – длительно-допустимая токовая нагрузка проводника, А;

I_p – расчетный рабочий ток в линии при максимальной расчетной нагрузке, А.

Выбор по экономической плотности тока, формула (20):

$$S \geq \frac{I_p}{J_{эк}}; \quad (20)$$

где S – сечение основной жилы проводника, мм²;

I_p – расчетный рабочий ток в линии при максимальной расчетной нагрузке, А;

$J_{эк}$ – экономическая плотность тока, А/мм², определяемая по ПУЭ (изд. 7) таблице 1.3.36 [15].

Проверка по экономической плотности тока производится только для магистральных проводов и кабелей.

Выбор по механической прочности, формула (21):

$$S \geq S_{\text{мех}}, \quad (21)$$

где S – сечение основной жилы проводника, мм²;

$S_{\text{мех}}$ – минимально допустимое сечение проводника, мм², определяемая ПУЭ (изд. 7) таблицы 2.4.1-2.4.2 [15].

Проверка по механической прочности производится только для проводов.

Выбор по допустимым потерям напряжения, формула (22):

$$U\% = \frac{100 \sqrt{3} I_p l z_{\text{уд}}}{n U_{\text{ном}}}, \quad (22)$$

где l – длина линии, км;

$z_{\text{уд}}$ – погонное полное сопротивление проводника, Ом/км;

n – число параллельных проводников в линии, шт.

Для напряжения 10 (6) кВ в городских электросетях нормы на значение падения (отклонения) напряжения не предусмотрены. Будем нацелены на рекомендации РД 34.20.185-94 [18]: в сетях 10 (6) кВ значения падений напряжения не более 6 %. Значение падения напряжения на участках от ПС 110/10 кВ «Объячево» до ТП позволяет выбрать ступень ПБВ, чтобы скомпенсировать отклонение напряжения. На трансформаторах ТП установлены ПБВ $\pm 2 \times 2,5\%$. По результатам расчетов выбирается ближайшее большее стандартное значение ступени ПБВ.

В дальнейшем, потери напряжения со стороны 10 кВ, влияющие на значения напряжения 0,4 кВ, можно не учитывать.

Для потребителей 0,4 кВ норму на значения падения напряжения примем значение максимальной ступени ПБВ трансформаторов – 5 %. Данное значение также соответствует рекомендации РД 34.20.185-94. По необходимости можно несколько скомпенсировать значение падения напряжения на участке от ТП до конечного потребителя путем перехода на более высокую ступень ПБВ трансформатора [37].

В конечном итоге, по ГОСТ 32144-13 суммарное падение напряжения от ПС 110/10 кВ «Объячево» до конечного потребителя не должно превышать 10 % [2].

Выбор по термической стойкости, формула (23):

$$S_{\text{мин}} \geq \frac{I_{\text{к.мах}}^{(3)} \sqrt{t_{\text{откл}} + T_a}}{C}, \quad (23)$$

где $S_{\text{мин}}$ – минимально допустимое сечение кабеля, мм²;

$I_{\text{к.мах}}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ, А;

$t_{\text{откл}}$ – время отключения (срабатывания) защитного аппарата, с;

T_a – среднее значение постоянной времени апериодической слагающей тока КЗ, с;

C – постоянная времени, зависящая от вида изоляции и материала жил кабеля, определяется при условии, что температура нагрева проводников при КЗ не превышает допустимую, равная $75 \text{ A} \cdot \text{с}^{1/2}$.

Для сетей 10 кВ значение T_a принимаем равным 0,1 с, а для 0,4 кВ – 0,02 с соответственно. Время срабатывания автомата принимается равным 0,05 с, а плавкого предохранителя определяется по время-токовой характеристике.

Выбор по условию на невозгорание, согласно методике из циркуляра № Ц-02-98 (Э) [31], по формулам (24)-(27).

Температура жилы в конце КЗ определяется по формуле (24):

$$\theta_k = \theta_n e^k + a (e^k - 1), \quad (24)$$

где θ_k – температура жилы в конце КЗ, °С;

θ_n – температура жилы до КЗ, °С;

a – величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0 °С, равная 228 °С.

Коэффициент k вычисляется по формуле (25):

$$k = \frac{v B_{\text{тер}}}{S^2}, \quad (25)$$

где v – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная для алюминия 45,65 мм⁴/(кА² · с) и для меди 19,58 мм⁴/(кА² · с);

$B_{\text{тер}} = \int_0^{t_{\text{откл}}} i_{kt}^2 dt$ – интеграл Джоуля или тепловой импульс от тока КЗ, кА² · с;

S – сечение жилы, мм².

Температура жилы до КЗ рассчитывается по формуле (26):

$$\theta_n = \theta_o + (\theta_{\text{дд}} - \theta_{\text{окр}}) \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{дд}}} \right)^2, \quad (26)$$

где θ_o – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, °С;

$\theta_{\text{дд}}$ – значение расчетной длительной допустимой температуры жилы, °С, равная для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией на напряжение 1 кВ – 80 °С, 6 кВ – 65 °С и 10 кВ – 60 °С, для

кабелей с пластмассовой изоляцией 70 °С и для кабелей с изоляцией из вулканизированного полиэтилена 90 °С;

$\theta_{\text{окр}}$ – значение расчетной температуры окружающей среды (воздуха) 25 °С;

$I_{\text{раб}}$ – значение тока перед КЗ, А;

$I_{\text{дд}}$ – значение расчетного длительно-допустимого тока, А, в соответствии с табл. П1.1 и П1.2 из циркуляра № Ц-02-98 (Э).

Полученные значения сравниваются с паспортной величиной допустимого нагрева проводника, формула (27):

$$\theta_{\text{к}} \leq \theta_{\text{доп}}, \quad (27)$$

где $\theta_{\text{доп}}$ – допустимая температура нагрева проводника по условию невозгорания при КЗ.

Проверка на невозгорание производится только для кабелей.

5.3 Выбор плавких предохранителей

Выбор по номинальному напряжению, формула (28):

$$U_{\text{ном.пп}} \geq U_{\text{сет.ном}}; \quad (28)$$

где $U_{\text{ном.вс}}$ – номинальное напряжение плавкого предохранителя, кВ;

$U_{\text{сет.ном}}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

Выбор по номинальному току плавкой вставки, формула (29):

$$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{р}}, \quad (29)$$

где $I_{\text{вс}}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;

I_p – расчетный рабочий ток в линии при максимальной расчетной нагрузке, А.

Выбор по надежности срабатывания, формула (30):

$$I_K^{(1)} \geq 3 I_{BC}, \quad (30)$$

где $I_K^{(1)}$ – минимальный ток однофазного КЗ, кА;

I_{BC} – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, кА.

Если данное условие не выполняется, то уточняем надежность срабатывания по время-токовой характеристике плавкого предохранителя.

5.4 Проверка автоматических выключателей

На 2БКТП предустановлены заводские автоматические выключатели, поэтому их выбор производить не требуется. Проверка автоматических выключателей осуществляется по двум основным параметрам: по надежности срабатывания и по отключающей способности.

Выбор по надежности срабатывания, формула (31):

$$I_K^{(1)} \geq 3 I_{н.р}, \quad (31)$$

где $I_K^{(1)}$ – минимальный ток однофазного КЗ, кА;

$I_{н.р}$ – номинальный ток расцепителя автомата, кА.

Выбор по отключающей способности, формула (32):

$$I_{откл} \geq I_{к.мах}^{(3)}, \quad (32)$$

где $I_{откл}$ – ток отключения (срабатывания) автомата, кА;

$I_{к.мах}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного КЗ, кА.

Так как ТП одинаковые и нагрузки на них тоже примерно одинаковые, то достаточно проверить автоматические выключатели только на одной из ТП, где условия КЗ самые неблагоприятные. Результаты о проверке сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Проверка автоматических выключателей на ТП

Автоматический выключатель	Условия проверки	
	$I_k^{(1)} \geq 3 I_{н.р}$	$I_{откл} \geq I_{к,мах}^{(3)}$
Metasol AN-10D3-10A	$6,85 \geq 3 \cdot 1$	$65 \geq 11,56$
Metasol AN-08D3-08A	$6,85 \geq 3 \cdot 0,8$	$65 \geq 11,56$

Установленные автоматические выключатели полностью соответствуют условиям проверки.

Выбранные защитные аппараты и проводники сведены в таблицы 15-17. Также в данных таблицах представлены результаты проверки проводников.

Таблица 15 – Сводная ведомость выбранных защитных аппаратов и проводников для распределительных сетей 0,4 кВ

Наименование	Ном. ток ПН-2	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_H \geq U_C$		$I_{дд} \geq I_p$		$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$	
						кВ	А	мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	°С						
Линия 1 (оп. №101 - №135)	250/100	68,4	АВБбШв 4×150	0,055	4,1	1	0,4	254	68,4	150	42,8	-	-	4,1	5	150	106,2	70,4	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,545		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 2 (оп. №501 - №513)	250/100	69,6	АВБбШв 4×150	0,340	4,6	1	0,4	254	69,6	150	43,5	-	-	4,6	5	150	75,4	54,8	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,354		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 3 (оп. №501 - №513)	250/100	68,4	АВБбШв 4×150	0,340	4,6	1	0,4	254	68,4	150	42,8	-	-	4,6	5	150	75,4	54,7	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,354		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 4 (оп. №516 - №527)	250/100	69,6	АВБбШв 4×150	0,445	4,9	1	0,4	254	69,6	150	43,5	-	-	4,9	5	150	59,8	49,0	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,305		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 5 (оп. №516 - №527)	250/100	65,8	АВБбШв 4×150	0,445	4,7	1	0,4	254	65,8	150	41,2	-	-	4,7	5	150	59,8	48,5	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,305		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 6 (оп. №619 - №634)	250/100	68,4	АВБбШв 4×150	0,332	4,9	1	0,4	254	68,4	150	42,8	-	-	4,9	5	150	76,9	55,3	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,410		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 7 (оп. №619 - №634)	250/100	68,4	АВБбШв 4×150	0,332	4,9	1	0,4	254	68,4	150	42,8	-	-	4,9	5	150	76,9	55,3	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,410		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 8 (оп. №603 - №616)	250/100	68,4	АВБбШв 4×150	0,243	4,2	1	0,4	254	68,4	150	42,8	-	-	4,2	5	150	99,1	66,6	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,383		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-

Продолжение таблицы 15

Наименование	Ном. ток ПН-2	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_n \geq U_c$		$I_{дд} \geq I_p$		$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$	
						кВ	А	мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	°С						
Линия 9 (оп. №309 - №311)	250/100	65,8	АВБбШв 4×150	0,252	4,0	1	0,4	254	65,8	150	41,2	-	-	4,0	5	150	96,3	64,6	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,376		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 10 (оп. №603 - №616)	250/100	69,6	АВБбШв 4×150	0,243	4,2	1	0,4	254	69,6	150	43,5	-	-	4,2	5	150	99,1	66,7	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,383		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 11 (оп. №309 - №435)	250/100	65,8	АВБбШв 4×150	0,252	4,8	1	0,4	254	65,8	150	41,2	-	-	4,8	5	150	96,3	64,6	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,502		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Линия 12 (оп. №101 - №116а)	250/100	62,0	АВБбШв 4×150	0,055	2,9	1	0,4	254	62,0	150	38,8	-	-	2,9	5	150	106,2	69,5	350
			СИП-2А 3×120+1×95	0,421		1	0,4	340		120		120	35			120		-	-
Наружное освещение 1 (АППНО-1)	100/50	37,3	АВБбШв 4×70	0,035	0,2	1	0,4	165	37,3	70	23,3	-	-	0,2	5	70	60,2	60,1	350
Наружное освещение 2 (АППНО-2)	100/31,5	5,3	АВБбШв 4×70	0,141	0,1	1	0,4	165	5,3	70	3,4	-	-	0,1	5	70	39,4	53,9	350
Общ. зд №109	-	237,3	АВБбШв 4×150	0,207	4,4	1	0,4	254	237,3	150	148,3	-	-	4,4	5	150	103,4	64,1	350
ввод 1	400/250	130,5	АВБбШв 4×150	0,207	2,4	1	0,4	254	130,5	150	81,6	-	-	2,4	5	150	70,3	64,1	350
ввод 2	400/250	106,8	АВБбШв 4×150	0,195	1,9	1	0,4	254	106,8	150	66,8	-	-	1,9	5	150	103,4	60,1	350

Продолжение таблицы 15

Наименование	Ном. ток ПН-2	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_n \geq U_c$		$I_{дд} \geq I_p$		$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$	
						кВ	А	мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	°С						
Общ. зд №110	-	265,2	АВБбШв 4×185	0,050	0,9	1	0,4	290	265,2	185	165,8	-	-	0,9	5	185	115,0	67,2	350
ввод 1	400/315	119,3	АВБбШв 4×185	0,050	0,4	1	0,4	290	119,3	185	74,6	-	-	0,4	5	185	111,7	59,2	350
ввод 2	400/315	135,2	АВБбШв 4×185	0,045	0,4	1	0,4	290	135,2	185	84,6	-	-	0,4	5	185	115,0	63,7	350
ввод 3	400/315	151,2	АВБбШв 4×185	0,050	0,5	1	0,4	290	151,2	185	94,5	-	-	0,5	5	185	111,7	67,2	350
ввод 4	400/315	119,3	АВБбШв 4×185	0,045	0,4	1	0,4	290	119,3	185	74,6	-	-	0,4	5	185	115,0	59,9	350
ввод 5	400/315	127,3	АВБбШв 4×185	0,050	0,5	1	0,4	290	127,3	185	79,6	-	-	0,5	5	185	111,7	61,0	350
ввод 6	400/315	143,2	АВБбШв 4×185	0,045	0,5	1	0,4	290	143,2	185	89,6	-	-	0,5	5	185	115,0	65,8	350
Общ. зд №111	-	99,2	АВБбШв 4×70	0,153	2,9	1	0,4	165	99,2	70	62,1	-	-	2,9	5	70	56,7	56,9	350
ввод 1	250/125	44,6	АВБбШв 4×70	0,086	0,7	1	0,4	165	44,6	70	28	-	-	0,7	5	70	56,7	56,9	350
ввод 2	250/125	54,6	АВБбШв 4×70	0,153	1,6	1	0,4	165	54,6	70	34,2	-	-	1,6	5	70	36,1	45,6	350
Общ. зд №112	-	221,2	АВБбШв 4×150	0,143	2,8	1	0,4	254	221,2	150	138,3	-	-	2,8	5	150	134,0	71,8	350
ввод 1	400/250	121,6	АВБбШв 4×150	0,143	1,6	1	0,4	254	121,6	150	76,1	-	-	1,6	5	150	128,0	71,8	350
ввод 2	400/250	99,5	АВБбШв 4×150	0,133	1,2	1	0,4	254	99,5	150	62,3	-	-	1,2	5	150	134,0	69,4	350
Общ. зд №113	-	247,6	АВБбШв 4×185	0,190	3,3	1	0,4	290	247,6	185	154,8	-	-	3,3	5	185	119,4	64,9	350
ввод 1	400/250	111,4	АВБбШв 4×185	0,189	1,5	1	0,4	290	111,4	185	69,7	-	-	1,5	5	185	119,4	59,2	350
ввод 2	400/250	136,2	АВБбШв 4×185	0,190	1,8	1	0,4	290	136,2	185	85,2	-	-	1,8	5	185	119,0	64,9	350

Таблица 16 – Сводная ведомость выбранных защитных аппаратов и проводников для сетей освещения 0,4 кВ

Наименование	Ном. ток ВА	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_H \geq U_C$		$I_{дд} \geq I_p$		$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$		
						кВ	А	мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	мм ²	°С						
Направление 1 (от АППНО-1)	100/16	7,22	АВБбШв 4×50	0,025	0,51	1	0,4	132	7,22	50	4,6	-	-	0,51	5	50	15,57	39,2	350	
			АВБбШв 5×10	0,365		1	0,4	54		-	-	-	-			10	1,74	36,4		
			СИП-2А 3×50+1×70	0,977		1	0,4	195		50	4,6	50	35			50	15,57	-		-
			СИП-4 2×25	0,077		1	0,4	130		-	-	25	25			25	1,74	-		-
Направление 2 (от АППНО-1)	100/16	7,99	АВБбШв 4×50	0,025	1,75	1	0,4	132	7,99	50	5	-	-	1,75	5	50	15,57	39,2	350	
			АВБбШв 5×10	0,717		1	0,4	54		-	-	-	-			10	0,89	35,4		
			АВБбШв 3×6	0,091		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,84	35,9		
			СИП-2А 3×50+1×70	1,113		1	0,4	195		50	5	50	35			50	15,57	-		-
Направление 3 (от АППНО-1)	100/16	4,95	АВБбШв 4×50	0,155	0,33	1	0,4	132	4,95	50	3,1	-	-	0,33	5	50	6,00	35,7	350	
			АВБбШв 5×10	0,204		1	0,4	54		-	-	-	-			10	1,05	35,5		
			СИП-2А 3×50+1×70	0,521		1	0,4	195		50	3,1	50	35			50	6,00	-		-
			СИП-4 2×25	0,114		1	0,4	130		-	-	25	25			25	1,05	-		-
Направление 4 (от АППНО-1)	100/16	5,35	АВБбШв 4×50	0,155	0,74	1	0,4	132	5,35	50	3,4	-	-	0,74	5	50	6,00	35,7	350	
			СИП-2А 3×50+1×70	1,500		1	0,4	195		50		50	35			50		-		-
Направление 5 (от АППНО-1)	100/16	5,47	АВБбШв 4×50	0,355	0,61	1	0,4	132	5,47	50	3,5	-	-	0,61	5	50	3,03	35,2	350	
			СИП-2А 3×50+1×70	1,155		1	0,4	195		50		50	35			50		-		-

Продолжение таблицы 16

Наименование	Ном. ток ВА	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_H \geq U_C$		$I_{дд} \geq I_p$		$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$	
						кВ	А	мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	°С						
-	А	А	мм ²	км	%	кВ		А		мм ²		мм ²		%		мм ²		°С	
Направление 6 (от АППНО-1)	100/16	4,62	АВБбШв 4×50	0,155	0,38	1	0,4	132	4,62	50	2,9	-	-	0,38	5	50	6,00	35,7	350
			СИП-2А 3×50+1×70	1,084		1	0,4	195		50	2,9	50	35			50		-	-
			СИП-4 2×25	0,060		1	0,4	130		-	-	25	25			25		1,31	-
Направление 7 (от АППНО-2)	100/16	1,28	АВБбШв 5×10	0,168	0,06	1	0,4	54	1,28	10	1,2	-	-	0,06	5	10	7,90	62,7	350
			АВБбШв 3×6	0,041		1	0,4	40		-	-	-	-			6	2,00	39,7	
Направление 8 (от АППНО-2)	100/16	1,92	АВБбШв 5×10	0,384	0,28	1	0,4	54	1,92	10	1,7	-	-	0,28	5	10	5,46	47,8	350
			АВБбШв 3×6	0,040		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,87	35,9	
Направление 9 (от АППНО-2)	100/16	2,12	АВБбШв 5×10	0,452	0,28	1	0,4	54	2,12	10	1,4	-	-	0,28	5	10	4,76	44,7	350
			АВБбШв 3×6	0,018		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,84	35,9	
Направление III1 (Общ. зд №109)	100/16	2,63	АВБбШв 5×10	0,605	0,42	1	0,4	54	2,63	10	1,7	-	-	0,42	5	10	6,76	54,9	350
			АВБбШв 3×6	0,007		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,73	35,7	
Направление III2 (Общ. зд №109)	100/16	7,41	АВБбШв 5×10	0,745	0,37	1	0,4	54	7,41	10	4,7	-	-	0,37	5	10	5,68	49,0	350
			АВБбШв 3×6	0,261		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,85	35,9	
Направление T1 (Общ. зд №110)	100/16	1,80	АВБбШв 5×10	0,488	0,28	1	0,4	54	1,80	10	1,2	-	-	0,28	5	10	10,26	83,6	350
Направление П1 (Общ. зд №111)	100/16	3,02	АВБбШв 5×10	0,651	0,23	1	0,4	54	3,02	10	1,9	-	-	0,23	5	10	9,75	78,5	350

Продолжение таблицы 16

Наименование	Ном. ток ВА	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_n \geq U_c$		$I_{дд} \geq I_p$		$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$	
						кВ	А	мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	°С						
-	А	А	мм ²	км	%	кВ		А		мм ²		мм ²		%		мм ²		°С	
Направление П2 (Общ. зд №111)	100/16	2,18	АВБбШв 5×10	0,484	0,20	1	0,4	54	2,18	10	1,4	-	-	0,20	5	10	6,33	52,4	350
			АВБбШв 3×6	0,093		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,79	35,8	
Направление Ф1 (Общ. зд №112)	100/16	3,59	АВБбШв 5×10	0,822	0,47	1	0,4	54	3,59	10	2,3	-	-	0,47	5	10	9,56	76,7	350
			АВБбШв 3×6	0,137		1	0,4	40		-	-	-	-			6	0,70	35,6	

Таблица 17 – Сводная ведомость выбранных защитных аппаратов и проводников для силовых сетей 10 кВ

Наименование	Ном. ток BC	$I_{отх.л}$	Проводник, сечение	Длина	U	$U_H \geq U_C$		$I_{дд} \geq I_p$	$S \geq \frac{I_p}{J_{ЭК}}$		$S \geq S_{мех}$		$U \leq U_d$		$S_{мин} \geq S_{расч}$		$\theta_k \leq \theta_{доп}$		
						кВ	А		мм ²	мм ²	%	мм ²	мм ²	°С					
Линия N1 (оп. №8/43 – 2БКТП-1)	-	34,12	АС 1×120/19	2,158	0,17	-	-	-	34,12	-	21,4	-	-	0,17	6	-	53,35	-	-
			АПВБВ 3×70/16	0,200		10	10	193	70	-	-	70	70	66,16	400				
Линия N2.1 (оп. №9/47.2 – 2БКТП-2)	-	31,97	СИП-3 1×70	2,233	0,24	35	10	310	31,97	70	20,0	70	35	0,24	6	70	41,34	-	-
			АПВБВ 3×70/16	0,132		10	10	193	70	-	-	70	70	53,49	400				
Линия N2.2 (оп. №9/47.1 – 2БКТП-3)	-	31,82	СИП-3 1×70	2,233	0,30	35	10	310	31,82	70	19,9	70	35	0,30	6	70	39,43	-	-
			АПВБВ 3×70/16	0,301		10	10	193	70	-	-	70	70	51,83	400				
Линия N3.1 (оп. №10/48.2 – 2БКТП-2)		31,97	СИП-3 1×70	2,191	0,24	35	10	310	31,97	70	20,0	70	35	0,24	6	70	41,34	-	-
			АПВБВ 3×70/16	0,120		10	10	193	70	-	-	70	70	53,49	400				
Линия N3.2 (оп. №10/48.1 – 2БКТП-3)	-	31,82	СИП-3 1×70	2,191	0,30	35	10	310	31,82	70	19,9	70	35	0,30	6	70	39,43	-	-
			АПВБВ 3×70/16	0,316		10	10	193	70	-	-	70	70	51,83	400				

Вывод по разделу: произведен выбор оборудования 2БКТП. РУ-ВН – RM6 NE-IDI, РУ-НН – ШРНН-1000-800-12. Аппараты защиты отходящих линий 0,4 кВ – плавкие предохранители типа ПН-2.

На основании расчетов токов КЗ, потерь напряжения и экономической плотности тока осуществлен выбор проводников. Для силовой сети 10 кВ используются СИП-3 $1 \times 70 \text{ мм}^2$ и АПВБВ $3 \times 70/16 \text{ мм}^2$. Для распределительной сети 0,4 кВ – СИП-2А $3 \times 120 + 1 \times 95 \text{ мм}^2$ и АВБбШв $4 \times 150 \text{ мм}^2$, $4 \times 185 \text{ мм}^2$ (для детского сада и ТРЦ), $4 \times 70 \text{ мм}^2$ (для пункта полиции и АППНО). Для линий освещения – СИП-2А $3 \times 50 + 1 \times 70 \text{ мм}^2$, СИП-4 $2 \times 25 \text{ мм}^2$ (для небольших ответвлений) и АВБбШв $4 \times 50 \text{ мм}^2$, АВБбШв $5 \times 10 \text{ мм}^2$, АВБбШв $3 \times 10 \text{ мм}^2$ (для небольших ответвлений).

Выбранные проводники удовлетворяют требованиям по условиям длительно-допустимой токовой нагрузки, механической прочности, термической стойкости и невозгорания.

Автоматические выключатели на ШРНН удовлетворяют условиям надежности срабатывания и отключающей способности.

6 Расчет токов короткого замыкания

«Расчитать токи короткого замыкания (КЗ) – это значит:

- по расчетной схеме составить схему замещения, выбрать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления;
- определить в каждой выбранной точке трехфазные, двухфазные и однофазные токи КЗ, заполнить сводную ведомость токов КЗ.

Точки КЗ выбираются на ступенях распределения и на конечном электроприемнике. Точки КЗ нумеруются сверху вниз, начиная от источника» [32]. Расчетные схемы для расчетов токов КЗ представлены на рисунке 8.

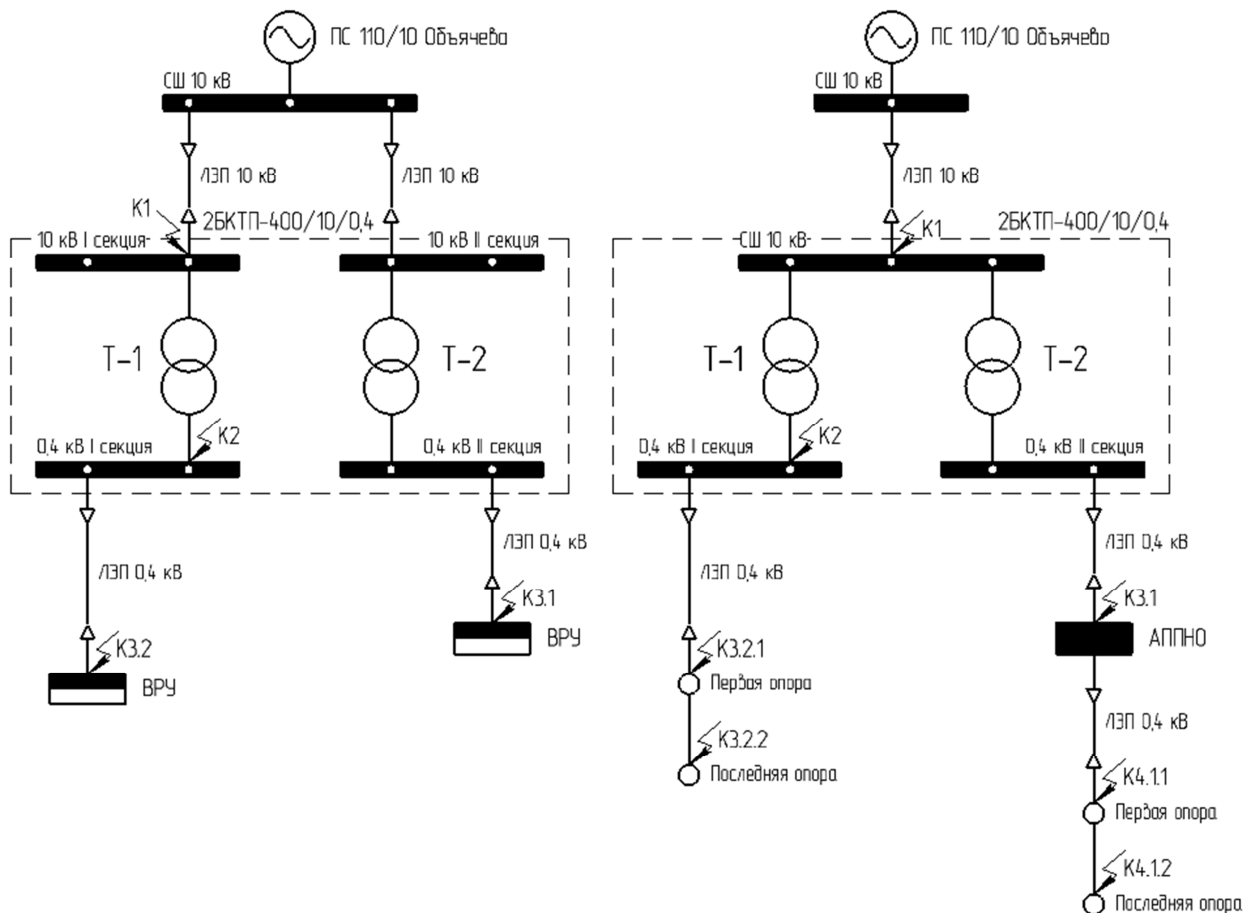


Рисунок 8 – Расчетные схемы для расчетов токов КЗ

«Ток трехфазного КЗ определяется по формуле (33), кА:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{к.л}}}{\sqrt{3} Z_{\text{к}}}, \quad (33)$$

где $U_{\text{к.л}}$ – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_{\text{к}}$ – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Ток двухфазного КЗ определяется по формуле (34), кА:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к}}^{(3)} = 0,87 I_{\text{к}}^{(3)}. \quad (34)$$

Ток однофазного КЗ определяется по формуле (35), кА:

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{к.ф}}}{Z_{L-N} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}}, \quad (35)$$

где $U_{\text{к.ф}}$ – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

Z_{L-N} – полное сопротивление петли «фаза-нуль» до точки КЗ, Ом;

$Z_{\text{т}}^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, для

ТМГ-400/10/0,4, Д/УН-11 равно 0,054 Ом.

Ударный ток КЗ определяется по формуле (36), кА:

$$i_{\text{у}} = \sqrt{2} K_{\text{у}} I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (36)$$

где $K_{\text{у}}$ – ударный коэффициент.

При расчетах можно использовать следующие значения K_y :

- $K_y = 1,2$ при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВА;
- $K_y = 1$ при КЗ в более удаленных точках;
- $K_y = 1,8$ при КЗ в сетях высокого напряжения (ВН), где активное сопротивление не оказывает существенного влияния.

Сопротивление силового трансформатора определяется расчетным путем по формулам (37)-(39):

$$R_T = P_K \left(\frac{U_{НН}}{S_T} \right)^2 10^6, \quad (37)$$

$$Z_T = u_K \frac{U_{НН}^2}{S_T} 10^4, \quad (38)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (39)$$

где P_K – потери мощности КЗ трансформатора, кВт;

u_K – напряжение КЗ трансформатора, %;

$U_{НН}$ – линейное напряжение обмотки низкого напряжения (НН), кВ;

S_T – полная мощность трансформатора, кВА.

Сопротивление трансформаторов тока определяется по таблице 1.9.2 [32].

Сопротивление коммутационных и защитных аппаратов определяется по таблице 1.9.3 [32]. Сопротивления зависят от $I_{н.а}$ аппарата. Сопротивления предохранителей не учитывается, а у рубильников учитывается только переходное сопротивление контактов.

Сопротивление ступеней распределения определяется по таблице 1.9.4 [32].

Сопротивление шинопроводов, а также кабельных и воздушных линий определяется по формулам (40)-(41):

$$R_{л} = r_0 L_{л}, \quad (40)$$

$$X_{л} = x_0 L_{л}, \quad (41)$$

где r_0 и x_0 – удельное активное и индуктивное сопротивления соответственно, мОм/м;

$L_{л}$ – протяженность линии, м.

Удельные активные сопротивления для расчета трехфазных и двухфазных токов КЗ определяются расчетным путем по формуле (42):

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S}, \quad (42)$$

где γ – удельная проводимость материала, м/(Ом мм²);

S – сечение проводника, мм².

Удельная проводимость материала принимается:

- для алюминия $\gamma = 30$ м/(Ом мм²),
- для меди $\gamma = 50$ м/(Ом мм²),
- для стали $\gamma = 10$ м/(Ом мм²).

Удельные реактивные сопротивления принимаются:

- для воздушных линий $x_0 = 0,4$ мОм/м,
- для кабельных линий $x_0 = 0,06$ мОм/м,
- для проводов $x_0 = 0,09$ мОм/м,
- для шинопроводов $x_0 = 0,15$ мОм/м.

При расчете однофазных токов КЗ значение удельных индуктивных сопротивлений петли «фаза-нуль» принимается равным:

- для КЛ и проводов в трубах $x_{0(L-N)} = 0,15$ мОм/м,
- для ВЛ $x_{0(L-N)} = 0,6$ мОм/м,
- для изолированных проводов $x_{0(L-N)} = 0,4$ мОм/м при открытом способе прокладки,
- для шинпроводов $x_{0(L-N)} = 0,2$ мОм/м.

Удельное активное сопротивление петли «фаза-нуль» определяется для любых линий по формуле (43):

$$r_{0(L-N)} = 2 r_0. \quad (43)$$

Для неподвижных контактных соединений значения активных переходных сопротивлений определяют по таблице 1.9.8 [32].

Сопротивления элементов на стороне ВН приводятся к НН по формулам (44)-(45):

$$R_{\text{НН}} = R_{\text{ВН}} \left(\frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2, \quad (44)$$

$$X_{\text{НН}} = X_{\text{ВН}} \left(\frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2, \quad (45)$$

где $R_{\text{НН}}$ и $X_{\text{НН}}$ – активные и реактивные сопротивления соответственно, приведенные к НН, мОм;

$R_{\text{ВН}}$ и $X_{\text{ВН}}$ – активные и реактивные сопротивления на ВН, мОм;

$U_{\text{НН}}$ и $U_{\text{ВН}}$ – напряжение на НН и ВН трансформатора соответственно, кВ» [32].

Результаты расчетов занесены в сводную таблицу 18.

Таблица 18 – Сводная ведомость по расчету токов КЗ

Наименование	Ближайшая точка (первая опора)							Наиболее удаленная точка (последняя опора)						
	Место КЗ	Z_K , МОм	$I_K^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_K^{(2)}$, кА	Z_{L-N} , МОм	$I_K^{(1)}$, кА	Место КЗ	Z_K , МОм	$I_K^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_K^{(2)}$, кА	Z_{L-N} , МОм	$I_K^{(1)}$, кА
2БКТП-1														
2БКТП-1	-	-	-	-	-	-	-	СШ 10 кВ	1117,72	5,17	13,15	4,49	-	-
2БКТП-1	-	-	-	-	-	-	-	СШ 0,4 кВ	19,97	11,56	19,62	10,06	57,39	6,97
Линия 1	оп. №117	29,29	7,88	11,15	6,86	82,89	4,83	оп. №135	291,86	0,79	1,12	0,69	448,41	0,89
Линия 2	оп. №501	91,50	2,52	3,57	2,20	216,55	1,85	оп. №513	255,97	0,90	1,28	0,78	455,28	0,88
Линия 3	оп. №501	91,50	2,52	3,57	2,20	216,55	1,85	оп. №513	255,97	0,90	1,28	0,78	455,28	0,88
Линия 4	оп. №516	115,37	2,00	2,83	1,74	265,80	1,50	оп. №527	254,20	0,91	1,28	0,79	471,06	0,85
Линия 5	оп. №516	115,37	2,00	2,83	1,74	265,80	1,50	оп. №527	254,20	0,91	1,28	0,79	471,06	0,85
Линия 6	оп. №619	89,68	2,58	3,64	2,24	212,80	1,88	оп. №634	281,07	0,82	1,16	0,71	489,24	0,82
Линия 7	оп. №619	89,68	2,58	3,64	2,24	212,80	1,88	оп. №634	281,07	0,82	1,16	0,71	489,24	0,82
Линия 8	оп. №603	69,63	3,32	4,69	2,89	171,05	2,34	оп. №616	250,48	0,92	1,30	0,80	429,48	0,93
Линия 9	оп. №309	71,65	3,22	4,56	2,80	175,27	2,28	оп. №311	248,84	0,93	1,31	0,81	428,84	0,93
Линия 10	оп. №603	69,63	3,32	4,69	2,89	171,05	2,34	оп. №616	250,48	0,92	1,30	0,80	429,48	0,93
Линия 11	оп. №309	71,65	3,22	4,56	2,80	175,27	2,28	оп. №435	309,77	0,75	1,05	0,65	514,81	0,78
Линия 12	оп. №102	29,29	7,88	11,15	6,86	82,89	4,83	оп. №116а	231,48	1,00	1,41	0,87	363,53	1,10
АПНО-1	-	-	-	-	-	-	-	ввод	31,61	7,31	10,33	6,36	90,56	4,42
АПНО-2	-	-	-	-	-	-	-	ввод	79,03	2,92	4,13	2,54	192,53	2,08
2БКТП-2														
2БКТП-2	-	-	-	-	-	-	-	СШ 10 кВ	1442,35	4,00	10,19	3,48	-	-
2БКТП-2	-	-	-	-	-	-	-	СШ 0,4 кВ	20,27	11,39	19,33	9,91	58,17	6,88
Общ. зд. №109	ввод 2	59,55	3,88	5,48	3,37	149,62	2,67	ввод 1	62,22	3,71	5,25	3,23	155,25	2,58
Общ. зд. №111	ввод 1	54,35	4,25	6,01	3,70	140,95	2,84	ввод 2	85,41	2,70	3,82	2,35	205,54	1,95
Общ. зд. №112	ввод 2	45,96	5,02	7,11	4,37	120,54	3,32	ввод 1	48,13	4,80	6,79	4,17	125,23	3,19
Общ. зд. №113	ввод 1	51,57	4,48	6,33	3,90	131,94	3,03	ввод 2	51,76	4,46	6,31	3,88	132,34	3,02

Продолжение таблицы 18

Наименование	Ближайшая точка (первая опора)							Наиболее удаленная точка (последняя опора)						
	Место КЗ	$Z_{к},$ МОм	$I_{к}^{(3)},$ кА	$i_{у},$ кА	$I_{к}^{(2)},$ кА	$Z_{L-N},$ МОм	$I_{к}^{(1)},$ кА	Место КЗ	$Z_{к},$ МОм	$I_{к}^{(3)},$ кА	$i_{у},$ кА	$I_{к}^{(2)},$ кА	$Z_{L-N},$ МОм	$I_{к}^{(1)},$ кА
2БКТП-3														
2БКТП-3	-	-	-	-	-	-	-	СШ 10 кВ	1512,42	3,82	9,72	3,32	-	-
2БКТП-3	-	-	-	-	-	-	-	СШ 0,4 кВ	20,34	11,36	19,27	9,88	58,43	6,85
ВРУ-1 Общ. зд. №110	ввод 4	26,79	8,62	12,19	7,50	75,99	5,26	ввод 1	27,57	8,38	11,84	7,29	77,94	5,13
ВРУ-2 Общ. зд. №110	ввод 2	26,79	8,62	12,19	7,50	75,99	5,26	ввод 5	27,57	8,38	11,84	7,29	77,94	5,13
ВРУ-3 Общ. зд. №110	ввод 6	26,79	8,62	12,19	7,50	75,99	5,26	ввод 3	27,57	8,38	11,84	7,29	77,94	5,13
Наружное освещение														
Направление 1	оп. №101	52,33	4,41	6,24	3,84	126,02	3,17	оп. №135	467,49	0,49	0,70	0,43	869,23	0,46
Направление 2	оп. №101	52,33	4,41	6,24	3,84	126,02	3,17	оп. №230	917,25	0,25	0,36	0,22	1674,52	0,24
Направление 3	оп. №305	135,83	1,70	2,40	1,48	300,11	1,33	оп. №332	777,58	0,30	0,42	0,26	1562,79	0,26
Направление 4	оп. №305	135,83	1,70	2,40	1,48	300,11	1,33	оп. №631	851,23	0,27	0,38	0,24	1586,66	0,25
Направление 5	оп. №501	268,68	0,86	1,22	0,75	568,39	0,70	оп. №539	803,25	0,29	0,41	0,25	1542,21	0,26
Направление 6	оп. №305	135,83	1,70	2,40	1,48	300,11	1,33	оп. №616	621,25	0,37	0,53	0,32	1174,49	0,34
Направление 7	оп. №01	103,16	2,24	3,17	1,95	233,17	1,72	оп. №09	336,30	0,69	0,97	0,60	705,37	0,57
Направление 8	оп. №22	149,29	1,55	2,19	1,35	327,87	1,22	оп. №37	797,81	0,29	0,41	0,25	1629,55	0,25
Направление 9	оп. №52	171,19	1,35	1,91	1,17	372,38	1,07	оп. №65	826,80	0,28	0,40	0,24	1687,56	0,24
Направление Ш1	оп. №Ш01	120,54	1,92	2,71	1,67	268,23	1,49	оп. №Ш30	943,77	0,24	0,35	0,21	1921,61	0,21
Направление Ш2	оп. №Ш43	143,35	1,61	2,28	1,40	315,07	1,27	оп. №Ш103	809,80	0,29	0,40	0,25	1653,55	0,24
Направление Т1	оп. №Т01	79,37	2,91	4,11	2,53	184,69	2,17	оп. №Т28	828,80	0,28	0,39	0,24	1691,56	0,24
Направление П1	оп. №П01	83,52	2,76	3,91	2,41	192,82	2,07	оп. №П17	701,85	0,33	0,47	0,29	1437,51	0,28
Направление П2	оп. №П48	128,71	1,79	2,54	1,56	286,36	1,40	оп. №П81	875,78	0,26	0,37	0,23	1785,58	0,22
Направление Ф1	оп. №Ф01	85,21	2,71	3,83	2,36	195,37	2,05	оп. №Ф37	988,76	0,23	0,33	0,20	2011,64	0,20

Вывод по разделу: рассчитаны токи трехфазного, двухфазного и однофазного КЗ, а также ударный ток КЗ на стороне 10/0,4 кВ. При расчете учитывались активные и реактивные сопротивления элементов электрической схемы.

На 2БКТП СШ 10 кВ наибольший ток КЗ составляет 5,17 кА, наименьший 3,32 кА. На СШ 0,4 наибольший ток КЗ равен 11,56 кА, наименьший 6,85 кА.

На отходящих линиях от 2БКТП-1 наибольший ток КЗ составляет 7,88 кА, наименьший 0,65 кА. В удаленных точках от 2БКТП-1 ток однофазного КЗ в ряде случаев опаснее трехфазного КЗ.

На отходящих линиях от 2БКТП-2 наибольший ток КЗ равен 5,02 кА, наименьший 1,95 кА. Наиболее опасное КЗ является трехфазное, наименее – однофазное КЗ.

На отходящих линиях от 2БКТП-3 наибольший ток КЗ составляет 8,62 кА, наименьший 5,13 кА. Наиболее опасное КЗ является трехфазное, наименее – однофазное КЗ.

На наружном освещении наибольший ток КЗ равен 4,41 кА, наименьший 0,20 кА. В удаленных точках от щита освещения ток однофазного КЗ сопоставим по значению с током трехфазного КЗ.

7 Расчет заземляющих устройств

В соответствии с требованиями гл. 1.7 ПУЭ [15] все нетоковедущие части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, должны быть заземлены. В качестве искусственных заземлителей для ТП и АППНО проектом предусмотрен наружные контуры заземления. В качестве заземляющего устройства опор предусмотрен заземляющий выпуск [35].

Заземление осуществляется согласно типовой проекту 3.407-150 [25].

Наружный контур выполняется из вертикальных электродов, соединённых в замкнутый контур при помощи горизонтального заземлителя. В качестве вертикального электрода принят стальной уголок В50×50×5 длиной $L = 3$ м из стали марки Ст3пс5. В качестве горизонтального заземлителя принята стальная полоса сечением 5×40 мм из стали марки Ст3пс5. Полоса укладывается в кабельной траншее тип. Т-1 [27] на глубине 0,5 – 0,7 м от планировочной отметки земли. Все соединения выполняются сваркой для обеспечения электрической непрерывности.

Заземляющий выпуск выполняется из стального круга диаметром $D = 18$ мм из стали марки Ст3пс5 длиной $L = 5$ м и стальной полосы сечением 5×40 мм из стали марки Ст3пс5.

Исходные данные о составе и состоянии грунта в районе строительства приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Удельное сопротивление грунта в районе строительства принято 100 Ом м; сезонный коэффициент колебания значения удельного сопротивления принят равным 1,1.

Расчёт заземляющего устройства выполняется в соответствии с Нормами технического проектирования по методике приведённой ниже.

Уточнение удельного сопротивления грунта в районе строительства, формула (46):

$$\rho = \rho_{уд} \psi, \quad (46)$$

где $\rho_{уд}$ – удельное сопротивление грунта, Ом м;

ψ – коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления.

Сопротивление вертикального электрода определяется по формуле (47), если вертикальный электрод – стальной уголок:

$$R_{в} = \frac{0,366 \rho}{L} \left(\lg \left(\frac{2 L}{0,95 b} \right) + 0,5 \lg \left(\frac{4 t + L}{4 t L} \right) \right), \quad (47)$$

где L – длина уголка, м;

b – ширина уголка, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

Если вертикальный электрод – стальной круг, то сопротивление вертикального электрода определяется по формуле (48):

$$R_{в} = \frac{0,366 \rho}{L} \left(\lg \left(\frac{2 L}{d} \right) + 0,5 \lg \left(\frac{4 t + L}{4 t L} \right) \right), \quad (48)$$

где L – длина круга, м;

d – диаметр круга, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

Сопротивление горизонтального электрода вычисляется по формуле (49):

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \rho}{L_{\Pi}} \lg \left(\frac{2 L_{\Pi}^2}{b_{\Pi} t_{\Pi}} \right), \quad (49)$$

где L_{Π} – длина полосы, м;

b_{Π} – ширина полосы, м;

t_{Π} – расстояние от поверхности земли до середины полосы, м.

Коэффициенты использования:

– вертикальных электродов $K_{\text{ИВ}} = 0,76$;

– горизонтальной полосы $K_{\text{ИГ}} = 0,56$.

Суммарное сопротивление вертикальных электродов находится по формуле (50):

$$R_{\text{В.сум}} = \frac{R_{\text{В}}}{n K_{\text{ИВ}}}, \quad (50)$$

где n – количество вертикальных электродов.

Суммарное сопротивление полосы определяется по формуле (51):

$$R_{\text{Г.сум}} = \frac{R_{\Gamma}}{K_{\text{ИВ}}}. \quad (51)$$

Полное сопротивление заземляющего устройства вычисляется по формуле (52):

$$R_3 = \frac{R_{\text{В.сум}} R_{\text{Г.сум}}}{R_{\text{В.сум}} + R_{\text{Г.сум}}}. \quad (52)$$

Проверка сопротивления заземляющего контура на соответствие требованиям ПУЭ [15], формула (53):

$$R_z \leq R_{\text{норм}}, \quad (53)$$

где $R_{\text{норм}}$ – нормируемое ПУЭ значение сопротивления заземляющего устройства.

Согласно п. 1.7.101 ПУЭ (изд. 7) «Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора, в любое время года должно быть не более 4 Ом соответственно при линейном напряжении 380 В» [15]. А по п. 1.7.103 ПУЭ (изд. 7) сопротивление повторного заземления должно быть не более 30 Ом при том же напряжении.

Результаты расчета заземляющих устройств сведены в таблицу 19. Исходные данные для расчета заземляющих устройств приняты в соответствии с их чертежами, представленной в графической части.

Таблица 19 – Сводная ведомость расчета заземляющих устройств

Заземляющее устройство	ρ , Ом м	$R_{\text{в}}$, Ом	$R_{\text{г}}$, Ом	$R_{\text{в.сум}}$, Ом	$R_{\text{г.сум}}$, Ом	R_z , Ом	$R_z \leq R_{\text{норм}}$
2БКТП	110	30,1	5,1	3,3	9,1	2,5	$2,5 \leq 4$
АПШНО	110	30,5	15,5	13,4	27,7	9,1	$9,1 \leq 30$
Опор 0,4 кВ	110	23,9	32,3	31,4	57,6	20,4	$20,4 \leq 30$

Вывод по разделу: разработаны узлы заземляющих устройств 2БКТП, АПШНО и опор. Заземляющие устройства соответствуют требованиям ПУЭ по условиям общего сопротивления заземлителя.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработана система электроснабжения нового квартала села Объячево Прилузского района Республики Коми, отвечающая всем современным стандартам энергетической эффективности и энергосбережения.

Для электроснабжения квартала принято к установке три 2БКТП завода-изготовителя «ЭЗОИС-Поволжье». Произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок. 2БКТП-1 обеспечивает питание массива жилой малоэтажной застройки, суммарная нагрузка 590,9 кВА. 2БКТП-2 питает четыре общественных здания: школу, детский сад, ФОК, пункт полиции, суммарная нагрузка 553,7 кВА. 2БКТП-3 обеспечивает питание ТРЦ, суммарная нагрузка 551,2 кВА.

Определены категории надежности электроснабжения потребителей. Категория надёжности сектора частной малоэтажной застройки – III. Категория надежности зданий общественного назначения – II. Исходя из очередности строительства и удобства эксплуатации в секторе частной малоэтажной застройки также устанавливается двухтрансформаторная ТП.

К установке на 2БКТП выбран трансформатор ТМГ-СЭЩ-400/10/0,4-УХЛ1, Д/Ун-11. Завод-изготовитель «Электрощит Самара».

Определены фактические коэффициенты загрузки трансформаторов. На 2БКТП-1 составляет 0,76 и 0,72; на 2БКТП-2 – 0,70 и 0,69; на 2БКТП-3 – 0,69 и 0,69 соответственно. Меры по компенсации реактивной мощности не требуются.

Центром питания для ТП служит ПС 110/10 «Объячево». Подключение 2БКТП-1 к ПС 110/10 кВ «Объячево» осуществляется ответвлением от опоры №8/43 существующей ВЛ-10 кВ. На границе раздела балансовой принадлежности на собственных спроектированных опорах №8/43.1 и №8/43.2 устанавливаются разъединитель РЛНД1-10/400 У1 и пункт коммерческого учета ПКУ-10-У1 (завод-изготовитель ЗАО

«ПРОМЭНЕРГО») соответственно. Подключение 2БКТП-2 и 2БКТП-3 к ПС 110/10 кВ «Объячево» осуществляется по двум проектируемым двухцепным ВЛЗ-10 кВ. Питание каждой двухцепной линии происходит от разных секций шин ПС.

Выполняется совместная подвеска силовой распределительной сети 0,4 кВ и линий наружного освещения на опорах ВЛИ-0,4 кВ. Выбрана поуличная схема расположения опор.

Светильники применяемые для наружного освещения: GALAD Победа LED-80-ШБ1/К50 в количестве 265 шт. (монтаж на опорах ВЛИ-0,4 кВ), GALAD Светлячок LED-40-СПШ/Т60 в количестве 423 шт. (монтаж на торшерных опорах), DS-STREET 180 (55) в количестве 12 шт. (монтаж на стойке ОГКЛф-10). Управление наружным освещением осуществляется при помощи двух АППНО.GALAD.PB.6.0.

Произведен выбор оборудования 2БКТП. РУ-ВН – RM6 NE-III, РУ-НН – ШРНН-1000-800-12. Аппараты защиты отходящих линий 0,4 кВ – плавкие предохранители типа ПН-2.

На основании расчетов токов КЗ и потерь напряжения осуществлен выбор проводников. Для силовой сети 10 кВ используются СИП-3 $1 \times 70 \text{ мм}^2$ и АПВБВ $3 \times 70/16 \text{ мм}^2$. Для распределительной сети 0,4 кВ – СИП-2А $3 \times 120 + 1 \times 95 \text{ мм}^2$ и АВБбШв $4 \times 150 \text{ мм}^2$, $4 \times 185 \text{ мм}^2$ (для детского сада и ТРЦ), $4 \times 70 \text{ мм}^2$ (для МВД и АППНО). Для линий освещения – СИП-2А $3 \times 50 + 1 \times 70 \text{ мм}^2$, СИП-4 $2 \times 25 \text{ мм}^2$ (для небольших ответвлений) и АВБбШв $4 \times 50 \text{ мм}^2$, АВБбШв $5 \times 10 \text{ мм}^2$, АВБбШв $3 \times 10 \text{ мм}^2$ (для небольших ответвлений).

Разработаны заземляющие устройства 2БКТП, АППНО и опор, а также произведен расчет их сопротивлений – 2,5 Ом, 9,1 Ом и 20,4 Ом соответственно.

Поставленные задачи выполнены, цель ВКР достигнута.

Список используемых источников

1. Архив погоды в Объячево [Электронный ресурс] : ООО «Расписание Погоды». URL: https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D1%8F%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE (дата обращения: 04.09.2021).
2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартинформ, 2014. 20 с.
3. Дом, милый дом: мечты и реальность [Электронный ресурс] : Результаты исследования общественного мнения по экономической сфере жизни граждан РФ от 11.08.2017 : ВЦИОМ. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/dom-milyj-dom-mechty-i-realnost> (дата обращения: 28.08.2021).
4. Идеальное жилье глазами россиян [Электронный ресурс] : Результаты исследования общественного мнения по экономической сфере жизни граждан РФ от 15.01.2021 : ВЦИОМ. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/idealnoe-zhile-glazami-rossijan> (дата обращения: 29.08.2021).
5. Каталог. Блочные комплектные трансформаторные подстанции в железобетонной оболочке. Тип БКТП и 2БКТП (6-20)/0,4 кВ : рекламно-техническое описание. Выпуск 2. Самара, ЭЗОИС, 2016. 106 с.
6. Каталог. Опоры граненые конические несилловые фланцевые ОГКЛф [Электронный ресурс] // ООО «Электростарт». URL: <https://www.etm.ru/cat/nn/4525529> (дата обращения: 08.05.2021).
7. Каталог. Светильники серии DS-STREET [Электронный ресурс] // ООО «Диод Систем». URL: <https://diode-system.com/ds-street-18055-s-linzo-i-55-gradusov.html> (дата обращения: 07.05.2021).

8. Каталог. Светильники серии GALAD Победа LED [Электронный ресурс] // ООО МСК «БЛ ГРУПП». URL: <https://galad.ru/catalog/outdoor/street/pobeda/galad-pobeda-led-80-shb1-k50> (дата обращения: 26.04.2021).

9. Каталог. Светильники серии GALAD Светлячок LED [Электронный ресурс] // ООО МСК «БЛ ГРУПП». URL: <https://galad.ru/catalog/outdoor/park/svetlyachok> (дата обращения: 03.05.2021).

10. Каталог. Системы управления освещением АСУНО «БРИЗ» [Электронный ресурс] // ООО МСК «БЛ ГРУПП». URL: <https://galad.ru/catalog/sistemy-upravleniya-osveshcheniem.php> (дата обращения: 29.04.2021).

11. Каталог. Трансформаторы силовое масляные марки ТМГ [Электронный ресурс] // АО «ЭЛЕКТРОЦИТ». URL: <https://www.etm.ru/cat/nn/8196036> (дата обращения: 13.06.2021).

12. Объячево [Электронный ресурс] : Википедия – свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D1%8F%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE#cite_note-9 (дата обращения: 01.09.2021).

13. Объячево (сельское поселение) [Электронный ресурс] : Википедия – свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D1%8F%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE_\(%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D1%8F%D1%87%D0%B5%D0%B2%D0%BE_(%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) (дата обращения: 02.09.2021).

14. Официальный сайт сельского поселения Объячево Республики Коми [Электронный ресурс] : Официальные сайты администраций сельских поселений Республики Коми : selakomi.ru. URL: <http://obyachevo.selakomi.ru> (дата обращения: 03.09.2021).

15. Правила устройства электроустановок. М. : ЭНАС, 2015. 552 с.

16. Правительство предложило выделить 137,7 млрд рублей на поддержку ИЖС [Электронный ресурс] : Минстрой РФ. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/pravitelstvo-predlozhilo-vydelit-137-7-mlrd-rubley-na-podderzhku-izhs> (дата обращения: 30.08.2021)

17. РД 34.20.178-82. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38 – 110 кВ сельскохозяйственного назначения: нормативно-технический материал : Сельэнергопроект, 1982. 108 с.

18. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей : нормативно-технический материал : Минтопэнерго РФ, 1994. 31 с.

19. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2018. 122 с.

20. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2016. 95 с.

21. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение : нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2016. 121 с.

22. СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий : нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2016. 46 с.

23. СП 131.13330.2020. Строительная климатология : нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2020. 153 с.

24. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа : нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2016. 84 с.

25. Типовой проект. Серия 3.407-150. Заземляющие устройства опор воздушных линий электропередачи напряжением 0.38; 6; 10; 20; 35 кВ : сборник технических решений : Сельэнергопроект, 1987. 58 с.

26. Типовой проект. СТО 34.01-2.2-028.3-2017. Воздушные линии 6-20 кВ с применением защищенного провода СИП-3 : сборник технических решений : ПАО «Россети», 2017. 224 с.

27. Типовой проект. Шифр А5-92. Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях : сборник технических решений : Москва, ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», 1992. 58 с.

28. Типовой проект. Шифр 21.0112. Стальные многогранные одноцепные опоры ВЛИ 0,38 кВ : сборник технических решений : Москва, ОАО «РОСЭП», 2007. 87 с.

29. Типовой проект. Шифр 25.0017. Одноцепные, двухцепные и переходные железобетонные опоры ВЛИ 0,4 кВ с СИП-2 и линейной арматурой ООО «Нилед» : сборник технических решений : Москва, ОАО «РОСЭП», 2005. 126 с.

30. Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г., Гусев А.А., Гусев Г.С., Акатова К.Н., Аптикаев Ф.Ф., Данилова Т.И., Кожурин А.И., Медведева Н.С., Никонов А.А., Перетокин С.А., Пустовитенко Б.Г., Стром А.Л. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016. Москва, 2016. 73 с.

31. Циркуляр № Ц-02-98 (Э). О проверке кабелей на возгорание при воздействии тока короткого замыкания : нормативно-технический материал : Москва, 1998. 14 с.

32. Шеховцев В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2010. 214 с.

33. Fokeev A., Subgatullin B. and Ahmed Y. E. Methods of electrical loads calculation and selection of electrical power equipment 2019 [Электронный ресурс] : International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. Ufa, Russia, 2019, pp. 1-6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8949966> (дата обращения: 10.11.2021).

34. Gorgulu S., Kocabey S. An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems : A case study for a university campus [Электронный ресурс]. Istanbul, Turkey, 2020. URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620311070> (дата обращения: 21.12.2021).

35. Ivanova V.R., Ivanov I.Y., Kiselev I.N. Calculation and Diagnostic System of the Technical Condition of Grounding Devices of Electrical Installations // Proceedings of ICEPP. 2021. pp. 64–75.

36. Scheffler J. Operation of low voltage distribution networks with decentralised combined heat and power fuel cell systems for residential application Transmission and Distribution Conference and Exposition [Электронный ресурс] : Developing New Perspectives. Atlanta, GA, USA, pp. 759-763 vol.2. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/971333> (дата обращения: 08.12.2021).

37. Wang P., Xu J. Q. and Su J. The research of urban distribution network high-reliability power supply construction International Conference on Advanced Power System Automation and Protection [Электронный ресурс]. Beijing, China, 2011, pp. 1497-1500. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6180744> (дата обращения: 27.11.2021).