

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

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

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код - наименование направления

Электроснабжение частного жилого дома по адресу: Республика Хакасия, г.
Саяногорск, ул. Речная д. 11»
тема

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

Выпускник _____ 20__ г. А.И. Изовский
подпись дата инициалы, фамилия

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

Абакан 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Теоретическая часть.....	8
1.1 Общие данные.....	8
2 Аналитическая часть.....	16
2.1 Анализ тарифов на электроэнергию для населения.....	16
2.2 Анализ способов построения распределительных электрических сетей.....	21
3 Практическая часть.....	24
3.1 Расчет электрических нагрузок.....	24
3.2 Расчет токов в питающих кабелях групп электропотребителей.....	31
3.3 Выбор марок и сечения кабелей.....	33
3.4 Проверка кабелей по потере напряжения.....	40
3.5 Выбор аппаратов защиты линий к электропотребителям.....	46
3.6 Расчет токов короткого замыкания.....	55
3.7 Узел учета электроэнергии.....	58
3.8 Разработка основных принципов обеспечения электробезопасности при работе в электроустановках жилого дома.....	61
3.9 Расчет заземляющего устройства жилого дома.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	75
Приложение А План системы заземления и молниезащиты	79
Приложение Б Система уравнивания потенциалов	80

ВВЕДЕНИЕ

Для стабильной работы электропотребителя к системе электроснабжения выдвигается ряд требований, начиная от надежности системы электроснабжения и ее резервирования, до качества электроэнергии и защиты отдельных элементов. Все требования возможно учесть на этапе проектирования системы электроснабжения, рассмотрев ряд вопросов, а именно:

- 1) перспектива развития энергосистемы в рассматриваемом районе, основываясь на взаимосвязи вновь сооружаемых электрических сетей с уже действующими;
- 2) обеспечение надежного электроснабжения всех потребителей, расположенных в зоне действия электрических сетей в рассматриваемом районе;
- 3) ограничение токов короткого замыкания соответствующей защитой с учетом перспективы развития рассматриваемого района;
- 4) снижение потерь электроэнергии путем применения рациональных схем электроснабжения и современных материалов.

От выбранной схемы электроснабжения зависит не только надежность работы электроустановки, но и ее удобство эксплуатации, а также безопасность обслуживания.

В выпускной квалификационной работе рассматривается система электроснабжения частного жилого дома по адресу: Республика Хакасия, г. Саяногорск, ул. Речная д. 11.

Процесс проектирования системы электроснабжения основывается на применении типовых проектных решений с учетом современных требований нормативной документации, действующей на территории РФ. Главная задача любого проекта - проектирование схемы электроснабжения, отвечающей заданному уровню надежности, обеспечивающей всех электропотребителей напряжением, соответствующего качества, экономически выгодной, и при этом удовлетворяющей современному своду правил проектирования и монтажа электроустановок.

1 Теоретическая часть

1.1 Общие данные

Проект выполняется на основании технического задания, технических условий и в соответствии со строительной частью проекта, [4] и другими действующими нормативными документами.

Основной источник электроснабжения – районная электрическая сеть. Питание жилого дома осуществляется от воздушной линией 0,4 кВ. Резервным источником электроснабжения для электропотребителей II категории, является дизельгенераторная установка.

Главный распределительный щит дома состоит из двух секций: 1 секция – нагрузки III категории надежности электроснабжения, 2 секция – нагрузки I категории надежности электроснабжения, подключенные через устройство автоматического ввода резерва (АВР). В нормальном режиме питание всех потребителей происходит от основного источника (электрической сети). В случае отсутствия напряжения на основном вводе, срабатывает устройство АВР и электропитание секции I категории осуществляется от ДГУ.

Оборудование, чувствительное к кратковременному перерыву электроснабжения, иметь в составе своего щита управления и автоматики аккумуляторную батарею (ИБП).

Расчет электрических нагрузок силовой, осветительной и розеточной сети выполняется в соответствии с СНиП 23-05-95 и СП 31-110-2003. Установленная и расчетная нагрузка: $P_y = 24,38$ кВт, $P_p = 15$, кВт, $I_p = 26,7$ А, $\cos\phi = 0,85$. Из них расчетная нагрузка I категории составляет $P_{p,I} = 5,49$ кВт ; расчетная нагрузка III категории – $P_{p,III} = 9,51$ кВт. Общая категория надежности электроснабжения – III,

Режим работы нейтрали - глухое заземление, система TN-C-S.

Учет потребляемой электроэнергии осуществляется счетчиком электрической энергии, расположенным в щите учета на опоре воздушной линии электропередачи. Счетчик электрической энергии – трехфазный, прямого включения. Класс точности – 1,0.

Все помещения объекта, в отношении поражения людей электрическим током относятся к помещениям без повышенной опасности.

Степени защиты электропотребителей определяется классом помещений:

IP21 – нормальная среда в помещениях;

IP44 – влажная среда в помещениях;

IP54 – особо сырые помещения;

IP65 – наружное размещение электропотребителей.

Основными потребителями электроэнергии в жилом доме являются электроосвещение и электрооборудование.

В соответствии с п. 7.1.38 [4], все электрические сети, прокладываемые за непроходными подвесными потолками и в перегородках, рассматриваются как скрытые электропроводки. Прокладка таких электрических сетей осуществляется за потолками и в пустотах перегородок из горючих материалов в металлических трубах, обладающих локализационной способностью, и в металлических глухих коробах. За потолками и в перегородках из негорючих материалов прокладка скрытых электропроводок выполняется в трубах и коробах из негорючих материалов, а также кабелями, не распространяющими горение. При этом должна быть обеспечена возможность замены проводов и кабелей.

Групповые сети электроосвещения и электрооборудования выполняются трехжильными кабелями марки ВВГнг-LS. Соединение проводов в распаечных коробках выполнить с помощью пайки.

Расстановку светильников и розеток выполнить в соответствии с дизайнерским проектом. Тип светильников необходимо уточнить в соответствии с характеристикой среды в помещениях и их назначением.

Проходы кабелей через стены необходимо выполнять в ВГП-трубах с заделкой пустот легко удаляемой массой из негоряемого материала.

Места соединений и ответвлений проводов кабелей не должны испытывать механических нагрузок. В местах соединений и ответвлений жилы кабелей должны иметь изоляцию, равноценную изоляции жил целых мест этих кабелей.

Опуски и подъемы к выключателям, светильникам и штепсельным розеткам следует выполнять тем же кабелем, что и основную сеть. Прокладка опусков и подъемов осуществляется вертикально на расстоянии не менее 100 мм от дверных и оконных проемов, а также углов помещений, если иное не определено дизайнпроектом.

Монтаж выполняется в соответствии с [4] и СНиП 3.05.06-85.

На вводе в жилой дом необходимо выполнить повторное заземление совмещенного проводника PEN. Данное действие является одним из мероприятий по обеспечению электробезопасности. Для этого необходимо организовать контур повторного заземления, состоящего из вертикальных электродов. Электроды представляют собой уголок 50×50×5 мм. Для соединения электродов используется стальная полоса 40×4 мм. Вывод стальной полосы проложить по стене жилого дома на высоту не менее 200 мм над уровнем земли. Соединения вертикальных электродов и стальной полосы между собой выполнить сваркой.

В жилом доме следует выполнить систему уравнивания потенциалов согласно п. 1.7.82 [4].

В дополнение к главной системе уравнивания потенциалов жилого дома необходимо выполнить дополнительную систему уравнивания потенциалов. Подключение ее к главной системе уравнивания потенциалов осуществить присоединением РЕ-проводников к шине РЕ распределительного щита, соединенной с контуром заземления объекта согласно п.п. 1.7.82, 1.7.83, 7.1.87[4].

К дополнительной системе уравнивания потенциалов подключаются все доступные для соприкосновения открытые проводящие части электроустановок и электрооборудования, сторонние проводящие части и нулевые защитные проводники всего электрооборудования, в том числе и штепсельных розеток. При питании нескольких штепсельных розеток от одной групповой линии, ответвления защитного проводника РЕ выполняются в ответвительных или установочных коробках без разрезания жилы путем пайки, сварки, опрессовки и т.д.

Последовательное включение в защитный проводник заземляющих контактов розеток согласно п.п. 1.7.83, 1.7.139, 1.7.142, 1.7.144, 7.1.88 [4] запрещено.

В соответствии с назначением зданий принимается III категория по молниезащите. Защита от прямых ударов молнии выполняется молниеприемником в виде оцинкованного стального прутка (сталь катанка $\varnothing 8$ мм), расположенного на крыше, присоединенного к контуру защитного заземления. Для соединения электродов используется полосовая сталь 40×5 мм и сталь катанка $\varnothing 8$ мм. Монтаж молниезащиты выполняется согласно СО-153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций».

В главном распределительном щите устанавливается ограничитель перенапряжения, предназначенный для защиты электрического и электронного оборудования от перенапряжений и импульсных токов.

Границей балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности являются изоляторы опоры воздушной линии электропередачи, от которой выполнено ответвление в жилой дом.

Допуск в эксплуатацию электрооборудования осуществляет энергоснабжающая организация. Эксплуатация должна проводиться в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок.

Собственнику жилого дома, с которым заключен договор поставки электроэнергии, запрещается производить самостоятельные изменения электрической схемы. Данные действия возможны только после согласования с энергоснабжающей организацией.

Противопожарная безопасность жилого дома обеспечивается выбором аппаратов защиты электрических сетей от токов короткого замыкания и перегрузок.

В качестве противопожарной меры безопасности использован режим работы нейтрали TN-C-S, при котором нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно.

Рассматриваемый жилой дом представляет собой двухэтажное строение. Планировка жилого дома показана рисунках 1.1 и 1.2.

На первом этаже жилого дома расположены 11 помещений (рисунок 1.1), перечень которых приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Экспликация помещений первого этажа

№ на плане	Наименование	№ на плане	Наименование
1	2	3	4
1	Прихожая	7	Тамбур
2	Санузел	8	Гостиная с лестничным холлом
3	Гардеробная	9	Кухня-столовая
4	Хозяйственное техническое помещение	10	Терраса
5	Хозяйственное техническое помещение	11	Терраса
6	Гостевая		

На втором этаже жилого дома расположены 11 помещений (рисунок 1.2), перечень которых приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Экспликация помещений второго этажа

№ на плане	Наименование	№ на плане	Наименование
1	2	3	4
1	Холл	7	Тамбур
2	Санузел	8	Игровая комната
3	Зал	9	Спальня
4	Детская комната	10	Санузел
5	Спальня	11	Балкон
6	Гардеробная		

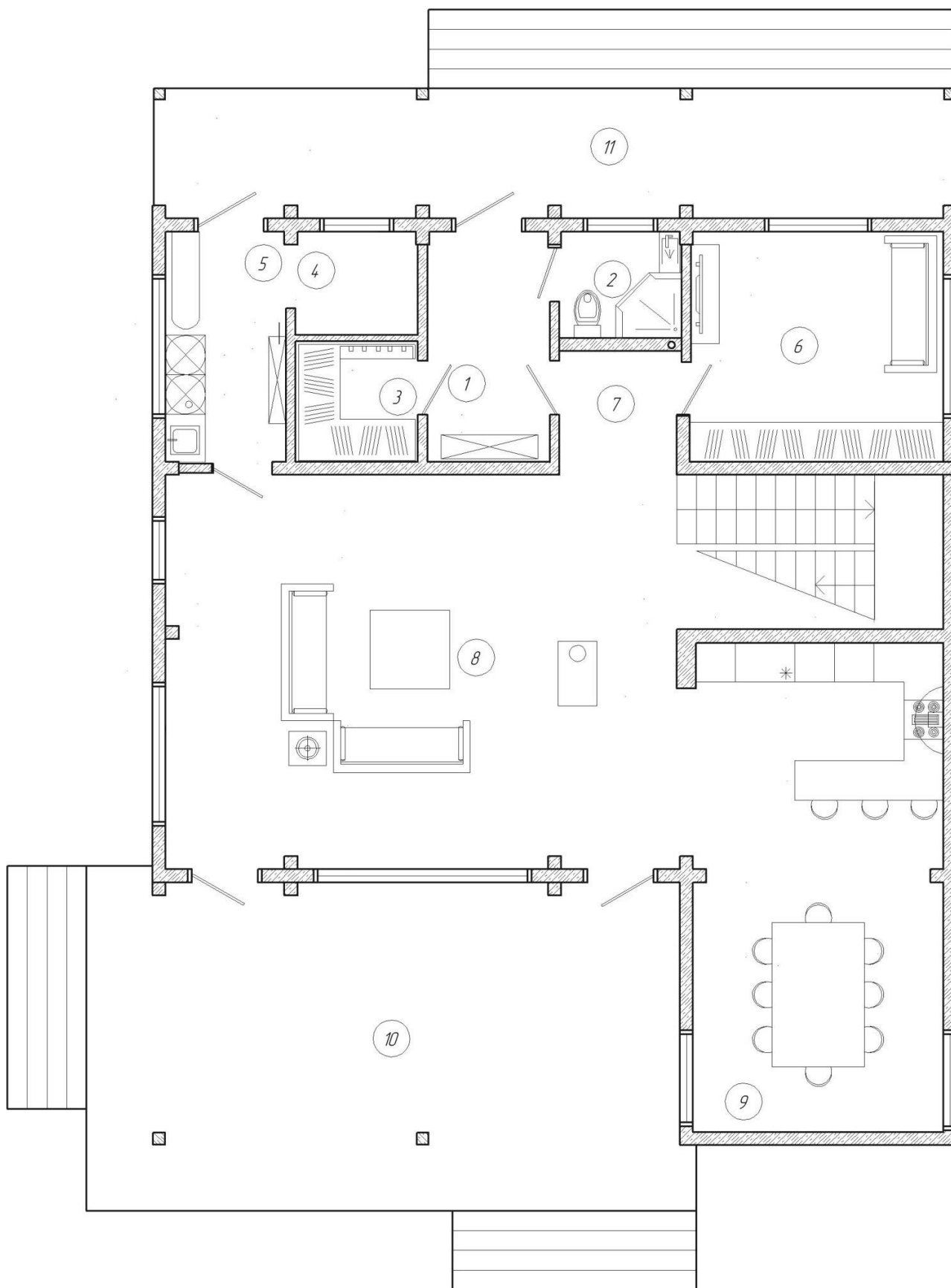


Рисунок 1.1 – План первого этажа

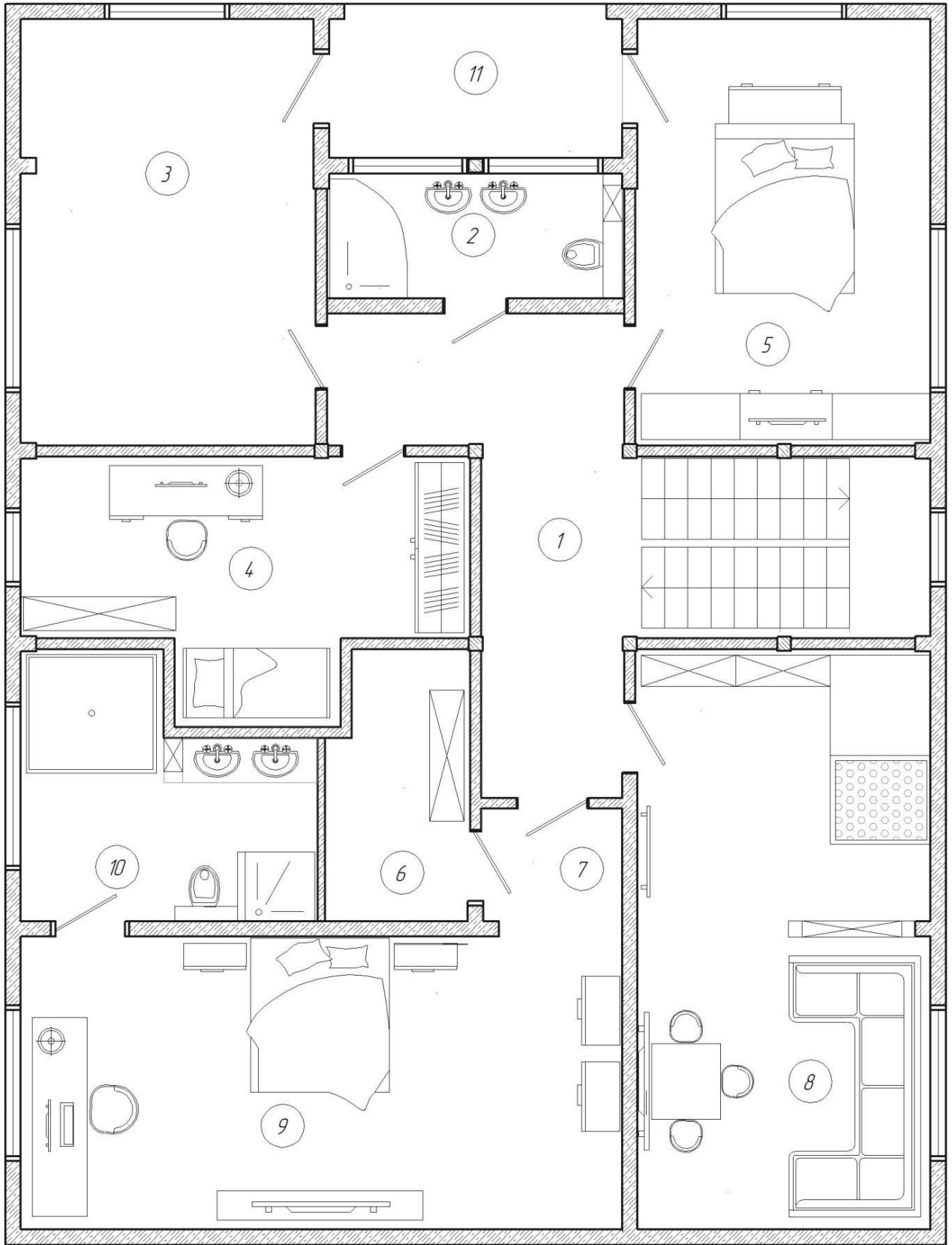


Рисунок 1.2 – План второго этажа

2 Аналитическая часть

2.1 Анализ тарифов на электроэнергию для населения

Стоимость электроэнергии для населения на 2022 год. Тарифы на электрическую энергию для населения с 1 января 2023 года - 1.92 руб. [27].

Таблица 2.1 - Тарифы на электрическую энергию для населения с 1 июля 2022 года

Показатель (группы потребителей с разбивкой тарифа по ставкам и дифференциацией по зонам суток)	руб./кВт ч	
	1 полугодие	2 полугодие
1	2	3
1. Население, за исключением указанного в пункте 2 и 3 (тарифы указываются в рублях с учетом НДС) *		
1.1 Одноставочный тариф	1,92+0,00%	1,99+3,65%
1.2 Тариф, дифференцированный по двум зонам суток		
Пиковая зона	2,2+0,00%	2,29+4,09%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
1.3 Тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
Пиковая зона	3,08+0,00%	2,87-6,82%
Полупиковая зона	1,92+0,00%	1,99+3,65%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
2. Население, проживающее в городских населенных пунктах в домах, оборудованных в установленном порядке стационарными электроплитами и (или) электроотопительными установками, и приравненные к ним		
2.1 Одноставочный тариф	1,34+0,00%	1,39+3,73%
2.2 Тариф, дифференцированный по двум зонам суток		
Пиковая зона	1,54+0,00%	1,6+3,90%
Ночная зона	0,5+0,00%	0,54+8,00%
2.3 Тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
Пиковая зона	2,16+0,00%	2,01-6,94%
Полупиковая зона	1,34+0,00%	1,39+3,73%

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Ночная зона	0,5+0,00%	0,54+8,00%
3. Население, проживающее в сельских населенных пунктах и приравненные к ним (тарифы указываются с учетом НДС) ***		
3.1 Одноставочный тариф	1,34+0,00%	1,39+3,73%
3.2 Тариф, дифференцированный по двум зонам суток		
Пиковая зона	1,54+0,00%	1,6+3,90%
Ночная зона	0,5+0,00%	0,54+8,00%
3.3 Тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
Пиковая зона	2,16+0,00%	2,01-6,94%
Полупиковая зона	1,34+0,00%	1,39+3,73%
Ночная зона	0,5+0,00%	0,54+8,00%
4.1 Потребители, приравненные к населению (тарифы указываются в рублях с учетом НДС): Садоводческие, огороднические или дачные некоммерческие объединения граждан - некоммерческие организации, учрежденные гражданами на добровольных началах для содействия ее членам в решении общих социально-хозяйственных задач ведения садоводства, огородничества и дачного хозяйства. Гарантирующие поставщики, энергосбытовые, энергоснабжающие организации, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях дальнейшей продажи приравненным к населению категориям потребителей, указанным в данном пункте2.		
4.1.1 Одноставочный тариф	1,92+0,00%	1,99+3,65%
4.1.2 Тариф, дифференцированный по двум зонам суток		
Пиковая зона	2,2+0,00%	2,29+4,09%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
4.1.3 Тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
Пиковая зона	3,08+0,00%	2,87-6,82%
Полупиковая зона	1,92+0,00%	1,99+3,65%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
4.2 Потребители, приравненные к населению (тарифы указываются в рублях с учетом НДС): Юридические лица, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях потребления осужденными в помещениях для их содержания при условии наличия отдельного учета электрической энергии для указанных помещений. Гарантирующие поставщики, энергосбытовые, энергоснабжающие организации, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях дальнейшей продажи приравненным к населению категориям потребителей, указанным в данном пункте2.		

Окончание таблицы 2.1

1	2	3
4.2.1 Одноставочный тариф	1,92+0,00%	1,99+3,65%
4.2.2 Тариф, дифференцированный по двум зонам суток		
Пиковая зона	2,2+0,00%	2,29+4,09%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
4.2.3 Тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
Пиковая зона	3,08+0,00%	2,87-6,82%
Полупиковая зона	1,92+0,00%	1,99+3,65%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
4.3 Потребители, приравненные к населению (тарифы указываются в рублях с учетом НДС): Содержащиеся за счет прихожан религиозные организации. Гарантирующие поставщики, указанным в данном пункте 2.		
4.3.1 Одноставочный тариф	1,92+0,00%	1,99+3,65%
4.3.2 Тариф, дифференцированный по двум зонам суток		
Пиковая зона	2,2+0,00%	2,29+4,09%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%
4.3.3 Тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
Пиковая зона	3,08+0,00%	2,87-6,82%
Полупиковая зона	1,92+0,00%	1,99+3,65%
Ночная зона	0,71+0,00%	0,77+8,45%

* - исполнители коммунальных услуг (товарищества собственников жилья, жилищно-строительные, жилищные или иные специализированные потребительские кооперативы либо управляющие организации), приобретающие электрическую энергию (мощность) для предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям жилых помещений и содержания общего имущества многоквартирных домов; наймодатели (или уполномоченные ими лица), предоставляющие гражданам жилые помещения специализированного жилищного фонда, включая жилые помещения в общежитиях, жилые помещения маневренного фонда, жилые помещения в домах системы социального

обслуживания населения, жилые помещения фонда для временного поселения вынужденных переселенцев, жилые помещения фонда для временного проживания лиц, признанных беженцами, а также жилые помещения для социальной защиты отдельных категорий граждан, приобретающие электрическую энергию (мощность) для предоставления коммунальных услуг пользователям таких жилых помещений в объемах потребления электрической энергии населением и содержания мест общего пользования в домах, в которых имеются жилые помещения специализированного жилого фонда;

юридические и физические лица, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях потребления на коммунально-бытовые нужды в населенных пунктах и жилых зонах при воинских частях и рассчитывающиеся по договору энергоснабжения по показаниям общего прибора учета электрической энергии.

Гарантирующие поставщики, энергосбытовые, энергоснабжающие организации, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях дальнейшей продажи населению и приравненным к нему категориям потребителей, указанным в данном пункте.

** - исполнители коммунальных услуг (товарищества собственников жилья, жилищно-строительные, жилищные или иные специализированные потребительские кооперативы либо управляющие организации), приобретающие электрическую энергию (мощность) для предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям жилых помещений и содержания общего имущества многоквартирных домов; наймодатели (или уполномоченные ими лица), предоставляющие гражданам жилые помещения специализированного жилищного фонда, включая жилые помещения в общежитиях, жилые помещения маневренного фонда, жилые помещения в домах системы социального обслуживания населения, жилые помещения фонда для временного поселения вынужденных переселенцев, жилые помещения фонда для временного проживания лиц, признанных беженцами, а также жилые помещения для социальной защиты отдельных категорий граждан, приобретающие

электрическую энергию (мощность) для предоставления коммунальных услуг пользователям таких жилых помещений в объемах потребления электрической энергии населением и содержания мест общего пользования в домах, в которых имеются жилые помещения специализированного жилого фонда;

юридические и физические лица, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях потребления на коммунально-бытовые нужды в населенных пунктах и жилых зонах при воинских частях и рассчитывающиеся по договору энергоснабжения по показаниям общего прибора учета электрической энергии.

Садоводческие, огороднические или дачные некоммерческие объединения граждан - некоммерческие организации, учрежденные гражданами на добровольных началах для содействия ее членам в решении общих социально-хозяйственных задач ведения садоводства, огородничества и дачного хозяйства, в отношении объема электрической энергии, приобретаемой в интересах населения, потребляющего электрическую энергию в жилых домах (жилых строениях), расположенных в сельской местности.

Гарантирующие поставщики, энергосбытовые, энергоснабжающие организации, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях дальнейшей продажи населению и приравненным к нему категориям потребителей, указанным в данном пункте.

*** - исполнители коммунальных услуг (товарищества собственников жилья, жилищно-строительные, жилищные или иные специализированные потребительские кооперативы либо управляющие организации), приобретающие электрическую энергию (мощность) для предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям жилых помещений и содержания общего имущества многоквартирных домов; наймодатели (или уполномоченные ими лица), предоставляющие гражданам жилые помещения специализированного жилищного фонда, включая жилые помещения в общежитиях, жилые помещения маневренного фонда, жилые помещения в домах системы социального обслуживания населения, жилые помещения фонда для временного поселения

вынужденных переселенцев, жилые помещения фонда для временного проживания лиц, признанных беженцами, а также жилые помещения для социальной защиты отдельных категорий граждан, приобретающие электрическую энергию (мощность) для предоставления коммунальных услуг пользователям таких жилых помещений в объемах потребления электрической энергии населением и содержания мест общего пользования в домах, в которых имеются жилые помещения специализированного жилого фонда;

юридические и физические лица, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях потребления на коммунально-бытовые нужды в населенных пунктах и жилых зонах при воинских частях и рассчитывающиеся по договору энергоснабжения по показаниям общего прибора учета электрической энергии.

Гарантирующие поставщики, энергосбытовые, энергоснабжающие организации, приобретающие электрическую энергию (мощность) в целях дальнейшей продажи населению и приравненным к нему категориям потребителей, указанным в данном пункте.

2.2 Анализ способов построения распределительных электрических сетей

Развитие РЭС связано с выполнением сетей по различным схемным принципам. Здесь различается применение трех основных типов схем:

1. Разомкнутые разветвленные сети без взаимного резервирования линий и подстанций. Такие схемы пригодны для электроснабжения потребителей, допускающих аварийные перерывы питания длительностью до 1 сут. Данный тип схем был характерен для начальных стадий развития РЭС, но применяется и в настоящее время для питания некрупных помещений и хозяйств в сельской местности и при малоэтажной застройке периферийных районов малых городов, допускающих указанные перерывы электроснабжения.

2. Петлевые (или кольцевые) сети с взаимным резервированием линий при однострансформаторных подстанциях (6)10/0,38 кВ. Резервирование линий делает возможным сократить аварийные перерывы электроснабжения до 1—3 ч; при аварийных повреждениях трансформаторов (это наиболее редкие аварии в РЭС) электроснабжение части потребителей восстанавливается по резервирующим линиям низшего напряжения, а замена поврежденного трансформатора в большинстве случаев может быть осуществлена в течение одной рабочей смены. Этот тип схемы применяется достаточно давно и является наиболее распространенным в электроснабжении жилых районов городов России и ряда европейских стран, сельскохозяйственных производств и крупных населенных пунктов, а также на промышленных предприятиях, если технологические процессы цехов допускают кратковременные перерывы питания.

3. Разветвленные радиально-магистральные электросети с взаимным автоматизированным резервированием линий и трансформаторов подстанций. При этом типе схем применяются, как правило, кабельные двухцепные линии и двухтрансформаторные понижающие подстанции; при повреждении любого элемента сети напряжением 6—10 кВ потребители испытывают перерывы подачи напряжения только на время отключения повреждения и включения резервного электрооборудования (0,1—2 с); такие сети пригодны для питания наиболее ответственных потребителей (по условиям надежности электроснабжения). Их применение получило распространение в современных условиях при появлении значительной группы промышленных потребителей, жилых многоэтажных и общественных зданий в городах, а также сельскохозяйственных производств, не допускающих перерывов электроснабжения.

По техническому назначению в структурах схем РЭС следует указать на два основных типа решения задачи передачи и распределения электроэнергии:

1. От источников питания (электростанция, понижающие подстанции 110 и 220 кВ) непосредственно отходят линии распределительных сетей, к которым

присоединены потребители электроэнергии. При этом требуется достаточно большое количество присоединений распределительных линий на источниках питания, что увеличивает соответствующие распределительные устройства питающих узлов и обуславливает большую протяженность распределительных линий.

2. К источникам питания присоединяется ограниченное число крупных (но сечениям проводов и кабелей) питающих линий, которые оканчиваются в распределительных пунктах напряжением 6 и 10 кВ или на распределительных щитах напряжением до 1000 В, к которым присоединяется необходимое количество распределительных линий. В распределительных пунктах и на щитах такого же назначения отсутствует трансформация напряжения и осуществляется только разделение потоков электроэнергии. Экономический смысл такого двухзвенного построения РЭС заключается в снижении количества коммутационного электрооборудования в распределительных устройствах источников питания, а также в уменьшении протяженности линий на участках между источником питания и районом концентрированного расположения потребителей. В РЭС напряжением 6 и 10 кВ длины питающих линий могут составлять 2—5 км, в электросетях напряжением 380/220 В — десятки метров.

В РЭС применяются как воздушные, так и кабельные линии. С начального периода развития РЭС и до настоящего времени в сельской местности применяются воздушные линии, что определяется их значительно меньшей стоимостью, но сравнению с кабельными и прохождением трасс по малонаселенной местности. В современных условиях все шире в РЭС 380 В и 10 кВ, в том числе и в районах городов используются изолированные провода, получившие за рубежом массовое применение.

3 Практическая часть

3.1 Расчет электрических нагрузок

Все оборудование объединим в общие группы электрических сетей. Разбивка электропотребителей по группам представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Группы силовых электропотребителей

Обозначение группы	Электропотребители
1	2
Гр. 1	Сушильная машина (пом. 5)
Гр. 2	Стиральная машина (пом. 5)
Гр. 3	Розеточная сеть первого этажа (пом. 5)
Гр. 4	Розеточная сеть первого этажа (пом. 1-3)
Гр. 5	Розеточная сеть первого этажа (пом. 6)
Гр. 6	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8)
Гр. 7	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8, 9)
Гр. 8	Посудомоечная машина (пом. 9)
Гр. 9	Розеточная сеть первого этажа (пом. 9)
Гр. 10	Розеточная сеть улицы
Гр. 11	Розеточная сеть второго этажа (пом. 1)
Гр. 12	Розеточная сеть второго этажа (пом. 5)
Гр. 13	Розеточная сеть второго этажа (пом. 2, 6, 10)
Гр. 14	Розеточная сеть второго этажа (пом. 3)
Гр. 15	Розеточная сеть второго этажа (пом. 4)
Гр. 16	Розеточная сеть второго этажа (пом. 7, 9)
Гр. 17	Розеточная сеть второго этажа (пом. 8)
Гр. 18	Питание панели СН ДГУ в нормальном режиме
Гр. О1	Рабочее освещение первого этажа (пом. 10, 11)
Гр. О2	Рабочее освещение первого этажа (пом. 1, 3-5)

Продолжение таблицы 3.1

1	2
Гр. О3	Рабочее освещение первого этажа (пом. 2, 6)
Гр. О4	Рабочее освещение первого этажа (пом. 7, 8)
Гр. О5	Рабочее освещение первого этажа (пом. 9)
Гр. О6	Рабочее освещение второго этажа (пом. 1, 6)
Гр. О7	Рабочее освещение второго этажа (пом. 3, 4, 11)
Гр. О8	Рабочее освещение второго этажа (пом. 2, 5, 11)
Гр. О9	Рабочее освещение второго этажа (пом. 7, 9, 10)
Гр. О10	Рабочее освещение второго этажа (пом. 8)
Гр. А1	Холодильник
Гр. А2	Оборудование котельной
Гр. А3	Система очистки сточных вод
Гр. А4	Щит слаботочных систем ЦСС
Гр. А5	Насос скважины
Гр. А6	Электропривод ворот

Расчетные электрические нагрузки по каждой из групп силовых электропотребителей сведем в таблицу 3.2. В расчетах используем коэффициент спроса на электрооборудование k_c .

Таблица 3.2 - Расчетные электрические нагрузки

Обозначение группы	Электропотребитель	Установленная мощность, кВт	k_c	$\cos \phi$	Расчетная мощность	
					активная, кВт	полная, кВ·А
1	2	3	4	5	6	7
Секция III категории						
Гр. 1	Сушильная машина (пом. 5)	2,2	0,60	0,80	1,32	1,65
Гр. 2	Стиральная машина (пом. 5)	2,2	0,60	0,80	1,32	1,65
Гр. 3	Розеточная сеть первого этажа (пом. 5)	0,5	0,63	0,90	0,32	0,35
Гр. 4	Розеточная сеть первого этажа (пом. 1-3)	0,5	0,63	0,90	0,32	0,35
Гр. 5	Розеточная сеть первого этажа (пом. 6)	0,3	0,63	0,90	0,19	0,21
Гр. 6	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8)	1,0	0,63	0,90	0,63	0,70
Гр. 7	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8, 9)	0,7	0,63	0,90	0,44	0,49
Гр. 8	Посудомоечная машина (пом. 9)	2,2	0,60	0,80	1,32	1,65
Гр. 9	Розеточная сеть первого этажа (пом. 9)	4,0	0,30	0,90	1,20	1,33
Гр. 10	Розеточная сеть улицы	0,7	0,63	0,90	0,44	0,49
Гр. 11	Розеточная сеть второго этажа (пом. 1)	0,6	0,63	0,90	0,38	0,42

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7
Гр. 12	Розеточная сеть второго этажа (пом. 5)	0,8	0,63	0,90	0,50	0,56
Гр. 13	Розеточная сеть второго этажа (пом. 2, 6, 10)	0,6	0,63	0,90	0,38	0,42
Гр. 14	Розеточная сеть второго этажа (пом. 3)	0,8	0,63	0,90	0,50	0,56
Гр. 15	Розеточная сеть второго этажа (пом. 4)	0,5	0,63	0,90	0,32	0,35
Гр. 16	Розеточная сеть второго этажа (пом. 7, 9)	1,1	0,63	0,90	0,69	0,77
Гр. 17	Розеточная сеть второго этажа (пом. 8)	0,5	0,63	0,90	0,32	0,35
Гр. 18	Питание панели СН ДГУ в нормальном режиме	-	-	-	-	-
Итого по секции III категории		19,2	0,55	0,86	10,58	12,3
Секция АВР						
Гр. О1	Рабочее освещение первого этажа (пом. 10, 11)	0,135	1,00	0,95	0,14	0,14
Гр. О2	Рабочее освещение первого этажа (пом. 1, 3-5)	0,145	1,00	0,95	0,15	0,15
Гр. О3	Рабочее освещение первого этажа (пом. 2, 6)	0,09	1,00	0,95	0,09	0,09
Гр. О4	Рабочее освещение первого этажа (пом. 7, 8)	0,181	1,00	0,95	0,18	0,19
Гр. О5	Рабочее освещение первого этажа (пом. 9)	0,1	1,00	0,95	0,1	0,11

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7
Гр. О6	Рабочее освещение второго этажа (пом. 1, 6)	0,085	1,00	0,95	0,09	0,09
Гр. О7	Рабочее освещение второго этажа (пом. 3, 4, 11)	0,18	1,00	0,95	0,18	0,19
Гр. О8	Рабочее освещение второго этажа (пом. 2, 5, 11)	0,2	1,00	0,95	0,20	0,21
Гр. О9	Рабочее освещение второго этажа (пом. 7, 9, 10)	0,235	1,00	0,95	0,24	0,25
Гр. О10	Рабочее освещение второго этажа (пом. 8)	0,12	1,00	0,95	0,12	0,13
Гр. А1	Холодильник	0,8	0,50	0,90	0,40	0,44
Гр. А2	Оборудование котельной	0,56	1,00	0,80	0,56	0,70
Гр. А3	Система очистки сточных вод	0,7	0,80	0,80	0,56	0,70
Гр. А4	Щит слаботочных систем ЩСС	0,5	1,00	0,90	0,50	0,56
Гр. А5	Насос скважины	1,5	1,00	0,80	1,5	1,88
Гр. А6	Электропривод ворот	0,5	1,00	0,65	0,5	0,77
Итого по секции АВР		6,03	0,91	0,83	5,49	6,59
Итого по жилому дому		25,23	0,64	0,85	16,07	18,90

Коэффициент мощности на вводе в секцию III категории

$$\cos\varphi_{\text{секIII}} = \frac{\sum P_{\text{расч,секIII}}}{\sum S_{\text{расч,секIII}}} \quad (3.1)$$

$$\cos\varphi_{\text{секIII}} = \frac{10,58}{12,3} = 0,86$$

Коэффициент мощности на вводе в секцию АВР

$$\cos\varphi_{\text{секABP}} = \frac{\sum P_{\text{расч,секABP}}}{\sum S_{\text{расч,секABP}}} \quad (3.2)$$

$$\cos\varphi_{\text{секABP}} = \frac{5,49}{6,59} = 0,83$$

Коэффициент спроса на вводе в секцию III категории

$$k_{\text{с,секIII}} = \frac{\sum P_{\text{расч,секIII}}}{\sum P_{\text{уст,секIII}}} \quad (3.3)$$

$$k_{\text{с,секIII}} = \frac{10,58}{19,2} = 0,55$$

Коэффициент спроса на вводе в секцию АВР

$$k_{\text{с,секABP}} = \frac{\sum P_{\text{расч,секABP}}}{\sum P_{\text{уст,секABP}}} \quad (3.4)$$

$$k_{\text{с,секABP}} = \frac{5,49}{6,03} = 0,91$$

Коэффициент мощности на вводе в жилой дом

$$\cos\varphi_{\text{ввод}} = \frac{\sum P_{\text{расч,ввод}}}{\sum S_{\text{расч,ввод}}} \quad (3.5)$$

$$\cos\varphi_{\text{ввод}} = \frac{16,07}{18,9} = 0,85$$

Коэффициент спроса на вводе в жилой дом

$$k_{\text{с,ввод}} = \frac{\sum P_{\text{расч,ввод}}}{\sum P_{\text{уст}}} \quad (3.6)$$

$$k_{\text{с,ввод}} = \frac{16,07}{25,23} = 0,64$$

3.2 Расчет токов в питающих кабелях групп электропотребителей

Электроснабжение организовано через главный распределительный щит. Главный распределительный щит ГРЩ предназначен для распределения электроэнергии к потребителям всех этажей.

Ток в линии к группе однофазных электропотребителей определяется как

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{у}}}{U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi} \quad (3.7)$$

Ток в водной линии к главному распределительному щиту определяется как

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos\varphi} \quad (3.8)$$

Результаты расчетов рабочих токов групп электроприемников сводим в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 - Рабочие токи групп электроприемников

Обозначение группы	Электропотребитель	Ток в линии, А
1	2	3
Гр. 1	Сушильная машина (пом. 5)	12,5
Гр. 2	Стиральная машина (пом. 5)	12,5
Гр. 3	Розеточная сеть первого этажа (пом. 5)	2,5
Гр. 4	Розеточная сеть первого этажа (пом. 1-3)	2,5
Гр. 5	Розеточная сеть первого этажа (пом. 6)	1,5
Гр. 6	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8)	5,1
Гр. 7	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8, 9)	3,5

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
Гр. 8	Посудомоечная машина (пом. 9)	12,5
Гр. 9	Розеточная сеть первого этажа (пом. 9)	20,2
Гр. 10	Розеточная сеть улицы	3,5
Гр. 11	Розеточная сеть второго этажа (пом. 1)	3,0
Гр. 12	Розеточная сеть второго этажа (пом. 5)	4,0
Гр. 13	Розеточная сеть второго этажа (пом. 2, 6, 10)	3,0
Гр. 14	Розеточная сеть второго этажа (пом. 3)	4,0
Гр. 15	Розеточная сеть второго этажа (пом. 4)	2,5
Гр. 16	Розеточная сеть второго этажа (пом. 7, 9)	5,6
Гр. 17	Розеточная сеть второго этажа (пом. 8)	2,5
Гр. 18	Питание панели СН ДГУ в нормальном режиме	-
-	Секция III категории	18,7
Гр. O1	Рабочее освещение первого этажа (пом. 10, 11)	0,6
Гр. O2	Рабочее освещение первого этажа (пом. 1, 3-5)	0,7
Гр. O3	Рабочее освещение первого этажа (пом. 2, 6)	0,4
Гр. O4	Рабочее освещение первого этажа (пом. 7, 8)	0,9
Гр. O5	Рабочее освещение первого этажа (пом. 9)	0,5
Гр. O6	Рабочее освещение второго этажа (пом. 1, 6)	0,4
Гр. O7	Рабочее освещение второго этажа (пом. 3, 4, 11)	0,9
Гр. O8	Рабочее освещение второго этажа (пом. 2, 5, 11)	1,0
Гр. O9	Рабочее освещение второго этажа (пом. 7, 9, 10)	1,1
Гр. O10	Рабочее освещение второго этажа (пом. 8)	0,6
Гр. A1	Холодильник	4,0
Гр. A2	Оборудование котельной	3,2
Гр. A3	Система очистки сточных вод	4,0
Гр. A4	Щит слаботочных систем ЩСС	2,5
Гр. A5	Насос скважины	8,5
Гр. A6	Электропривод ворот	3,5
-	Секция АВР	10,0
-	Ввод в дом	28,7

3.3 Выбор марок и сечения кабелей

Кабель линии, питающий электропотребителей, выбирается в соответствии с рабочим током, учитывая при этом минимальное допустимое сечение. Для медного провода в случае питания силового электрооборудования минимально допустимое сечение проводника составляет 2,5 мм², для сети освещения - 1,5 мм², для электрических плит и духовых шкафов газовых плит - 4 мм².

Условие выбора кабеля

$$\frac{I_{\text{ном}}}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \leq I_{\text{доп}} \quad (3.9)$$

где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток, А; $I_{\text{доп}}$ - максимальный допустимый ток кабеля, А;

k_1 - коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды отличной от 30С, в зависимости от типа изоляции, $k_1 = 1$ - для кабелей с изоляцией из поливинилхлорида при температуре окружающей среды + 25С;

k_2 - коэффициент, учитывающий влияние способа прокладки, $k_2 = 0,93$ - при скрытой проводке под штукатуркой;

k_3 - коэффициент, учитывающий взаимное влияние проложенных рядом проводников, $k_3 = 1$ - при прокладке одного проводника в стене;

$k_3 = 0,95$ - при прокладке одного проводника в потолке.

$k_3 = 0,85$ - при прокладке 5-6 проводников многослойно и пучком.

Для группы Гр. 1 «Сушильная машина (пом. 5)» принимаем кабель ВВГнг - LS
3× 2,5 мм². Допустимый ток 25 А.

$$\frac{12,5}{1 \cdot 0,93 \cdot 0,95} = 14,1 \text{ A} \leq 25$$

Результаты выбора марок и сечения кабелей групп электроприемников сводим в таблицу 3.4

Таблица 3.4 - Марки и сечения кабелей групп электроприемников

Группа	Электропотребитель	Ток в линии, А	Марка кабеля	Количество и сечение жил, мм ²	Допустимый ток кабеля, А	Способ прокладки
1	2	3	4	5	6	7
-	Ввод в жилой дом	28,7	СИП 2А	4×16	100	открыто в воздухе, скрыто в стене (труба ВГП Ø32)
Гр. 1	Сушильная машина (пом. 5)	12,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 2	Стиральная машина (пом. 5)	12,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Гр. 3	Розеточная сеть первого этажа (пом. 5)	2,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 4	Розеточная сеть первого этажа (пом. 1-3)	2,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 5	Розеточная сеть первого этажа (пом. 6)	1,5	ВВГнг	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 6	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8)	5,1	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене, в полу (труба ПВХ Ø25)
Гр. 7	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8, 9)	3,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 8	Посудомоечная машина (пом. 9)	12,5	ВВГнг	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 9	Розеточная сеть первого этажа (пом. 9)	20,2	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 10	Розеточная сеть улицы	3,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Гр. 11	Розеточная сеть второго этажа (пом. 1)	3,0	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 12	Розеточная сеть второго этажа (пом. 5)	4,0	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 13	Розеточная сеть второго этажа (пом. 2, 6, 10)	3,0	ВВГнг	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 14	Розеточная сеть второго этажа (пом. 3)	4,0	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 15	Розеточная сеть второго этажа (пом. 4)	2,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 16	Розеточная сеть второго этажа (пом. 7, 9)	5,6	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене, в полу (труба ПВХ Ø25)
Гр. 17	Розеточная сеть второго этажа (пом. 8)	2,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. 18	Питание панели СН ДГУ в нормальном режиме	-	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Гр. 01	Рабочее освещение первого этажа (пом. 10, 11)	0,6	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 02	Рабочее освещение первого этажа (пом. 1, 3-5)	0,7	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 03	Рабочее освещение первого этажа (пом. 2, 6)	0,4	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 04	Рабочее освещение первого этажа (пом. 7, 8)	0,9	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 05	Рабочее освещение первого этажа (пом. 9)	0,5	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Гр. 06	Рабочее освещение второго этажа (пом. 1, 6)	0,4	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 07	Рабочее освещение второго этажа (пом. 3, 4, 11)	0,9	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 08	Рабочее освещение второго этажа (пом. 2, 5, 11)	1,0	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 09	Рабочее освещение второго этажа (пом. 7, 9, 10)	1,1	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)
Гр. 010	Рабочее освещение второго этажа (пом. 8)	0,6	ВВГнг -LS	3×1,5	19	скрыто в стене, скрыто в потолке (труба ПВХ Ø20)

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Гр. А1	Холодильник	4,0	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. А2	Оборудование котельной	3,2	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. А3	Система очистки сточных вод	4,0	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. А4	Щит слаботочных систем ЦСС	2,5	ВВГнг -LS	3×2,5	25	скрыто в стене (труба ПВХ Ø25)
Гр. А5	Насос скважины	8,5	ВББШв	3×2,5	27	скрыто (труба Ø25)
Гр. А6	Электропривод ворот	3,5	ВББШв	3×2,5	36	скрыто в земле (труба Ø25)

3.4 Проверка кабелей по потере напряжения

Проверка проводников по потере напряжения производится для соблюдения условия обеспечения необходимого уровня напряжения у самых удаленных от источника питания потребителей электрической энергии. Данная проверка производится в соответствии со следующими формулами, определяющими процент потери напряжения в зависимости от типа сети:

- в случае однофазной сети

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_{p,max} \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{U_n} \cdot 100 \quad (3.10)$$

- в случае трехфазной сети (при соблюдении условия симметричности нагрузки по фазам)

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p,max} \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{U_n} \cdot 100 \quad (3.11)$$

где ΔU - потеря напряжения в процентном выражении от величины номинального напряжения;

$I_{p,max}$ - максимальный расчетный ток в линии, А;

R – активное сопротивление проводника, Ом ;

X – индуктивное сопротивление проводника, Ом ;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки;

U_n – номинальное напряжение сети, В;

В вышеприведенных формулах величиной индуктивного сопротивления можно пренебречь, если соблюдается одно из следующих условий:

- сеть постоянного тока;
- сеть переменного тока при $\cos\phi=1$;
- внутренняя сеть переменного тока, выполненная проводами сечением менее 25 мм^2 .

В соответствии с третьим условием, принимаем $X \approx 0$. Таким образом, ранее приведенные формулы преобразуются:

- в случае однофазной сети

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_{p,max} \cdot R \cdot \cos\phi}{U_H} \cdot 100 \quad (3.12)$$

- в случае трехфазной сети

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p,max} \cdot R \cdot \cos\phi}{U_H} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Активное сопротивление проводника питающей линии определяется в соответствии с его длиной и удельным сопротивлением материала проводника по следующей формуле

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (3.14)$$

где ρ - удельное сопротивление проводника, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Для медных проводников $\rho = 0,0189 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, для алюминиевых проводников $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l - длина проводника, м;

S - сечение проводника, мм^2 .

Для силовых сетей допустимое отклонение напряжения составляет $\pm 5\%$ от номинального напряжения, предельно допустимое отклонение напряжения $\pm 10\%$. Для сетей освещения допустимое отклонение напряжения составляет $\pm 5\%$.

Результаты расчета отклонений напряжения и их сравнение с допустимыми значениями сводим в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Потери напряжения в питающих линиях электропотребителей

Группа	Электропотребитель	Расчетный ток, А	Марка кабеля, сечение жилы	Длина, м	Активное сопр., Ом	Отклонение напряжения, %		Соответствие условию
						Расч., %	Доп., %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
-	Ввод в жилой дом	28,7	СИП 2А 4×16	20	0,04	0,78	5	Да
Гр. 1	Сушильная машина (пом. 5)	12,5	ВВГнг-LS 3×2,5	7	0,05	0,48	5	Да
Гр. 2	Стиральная машина (пом. 5)	12,5	ВВГнг-LS 3×2,5	7,5	0,06	0,52	5	Да
Гр. 3	Розеточная сеть первого этажа (пом. 5)	2,5	ВВГнг-LS 3×2,5	15	0,11	0,23	5	Да
Гр. 4	Розеточная сеть первого этажа (пом. 1-3)	2,5	ВВГнг-LS 3×2,5	13	0,10	0,20	5	Да
Гр. 5	Розеточная сеть первого этажа (пом. 6)	1,5	ВВГнг-LS 3×2,5	17	0,13	0,16	5	Да

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр. 6	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8)	5,1	ВВГнг-LS 3×2,5	15	0,11	0,47	5	Да
Гр. 7	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8, 9)	3,5	ВВГнг-LS 3×2,5	17	0,13	0,37	5	Да
Гр. 8	Посудомоечная машина (пом. 9)	12,5	ВВГнг-LS 3×2,5	13	0,10	0,89	5	Да
Гр. 9	Розеточная сеть первого этажа (пом. 9)	20,2	ВВГнг-LS 3×2,5	26	0,20	3,25	5	Да
Гр. 10	Розеточная сеть улицы	3,5	ВВГнг-LS 3×2,5	13	0,10	0,28	5	Да
Гр. 11	Розеточная сеть второго этажа (пом. 1)	3,0	ВВГнг-LS 3×2,5	20	0,15	0,37	5	Да
Гр. 12	Розеточная сеть второго этажа (пом. 5)	4,0	ВВГнг-LS 3×2,5	24	0,18	0,60	5	Да
Гр. 13	Розеточная сеть второго этажа (пом. 2, 6, 10)	3,0	ВВГнг-LS 3×2,5	25	0,19	0,47	5	Да
Гр. 14	Розеточная сеть второго этажа (пом. 3)	4,0	ВВГнг-LS 3×2,5	15	0,11	0,37	5	Да

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр. 15	Розеточная сеть второго этажа (пом. 4)	2,5	ВВГнг-LS 3×2,5	11	0,08	0,17	5	Да
Гр. 16	Розеточная сеть второго этажа (пом. 7, 9)	5,6	ВВГнг-LS 3×2,5	20	0,15	0,69	5	Да
Гр. 17	Розеточная сеть второго этажа (пом. 8)	2,5	ВВГнг-LS 3×2,5	18	0,14	0,28	5	Да
Гр. 18	Питание панели СН ДГУ в нормальном режиме	-	ВВГнг-LS 3×2,5	15	0,11	-	-	-
Гр. О1	Рабочее освещение первого этажа (пом. 10, 11)	0,6	ВВГнг-LS 3×1,5	35	0,44	0,25	5	Да
Гр. О2	Рабочее освещение первого этажа (пом. 1, 3-5)	0,7	ВВГнг-LS 3×1,5	16	0,20	0,12	5	Да
Гр. О3	Рабочее освещение первого этажа (пом. 2, 6)	0,4	ВВГнг-LS 3×1,5	30	0,38	0,14	5	Да
Гр. О4	Рабочее освещение первого этажа (пом. 7, 8)	0,9	ВВГнг-LS 3×1,5	45	0,57	0,42	5	Да

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр. О5	Рабочее освещение первого этажа (пом. 9)	0,5	ВВГнг-LS 3×1,5	25	0,32	0,13	5	Да
Гр. О6	Рабочее освещение второго этажа (пом. 1, 6)	0,4	ВВГнг-LS 3×1,5	20	0,25	0,09	5	Да
Гр. О7	Рабочее освещение второго этажа (пом. 3, 4, 11)	0,9	ВВГнг-LS 3×1,5	20	0,25	0,19	5	Да
Гр. О8	Рабочее освещение второго этажа (пом. 2, 5, 11)	1,0	ВВГнг-LS 3×1,5	25	0,32	0,26	5	Да
Гр. О9	Рабочее освещение второго этажа (пом. 7, 9, 10)	1,1	ВВГнг-LS 3×1,5	28	0,35	0,34	5	Да
Гр. О10	Рабочее освещение второго этажа (пом. 8)	0,6	ВВГнг-LS 3×1,5	25	0,32	0,16	5	Да
Гр. А1	Холодильник	4,0	ВВГнг-LS 3×2,5	10	0,08	0,25	5	Да
Гр. А2	Оборудование котельной	3,2	ВВГ нг-LS 3×2,5	25	0,19	0,44	5	Да
Гр. А3	Система очистки сточных вод	4,0	ВВГ нг-LS 3×2,5	20	0,15	0,44	5	Да

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр. А4	Щит слаботочных систем ЦСС	2,5	ВВГнг-LS 3×2,5	5	0,04	0,08	5	Да
Гр. А5	Насос скважины	8,5	ВББШв 3×2,5	50	0,38	2,34	5	Да
Гр. А6	Электропривод ворот	3,5	ВББШв 3×2,5	30	0,23	0,47	5	Да

3.5 Выбор аппаратов защиты линий к электропотребителям

В любой электрической цепи возможны режимы работы, которые могут привести к аварийной ситуации и выходу электрооборудования из строя. Такие режимы работы сопровождаются токами, превышающими номинальные значения, иначе сверхтоками. С целью недопущения выхода электрооборудования из строя, все электроприемники должны быть защищены либо устройствами защитного отключения (при возникновении токов утечки), либо устройствами автоматического отключения (при возникновении сверхтоков вследствие перегрузки или короткого замыкания).

Защитной аппаратурой для автоматического отключения электропотребителя, в случае возникновения аварийного режима работы, являются:

- плавкие вставки (предохранители);
- автоматические выключатели;
- дифференциальные автоматические выключатели.

Предохранители, как элемент защиты при построении схем электроснабжения жилых домов, в настоящее время уже не используется. Учитывая это, в выпускной квалификационной работе рассмотрим построение схем защиты электропотребителей жилого дома с применением автоматических выключателей и дифференциальных автоматических выключателей.

Автоматический выключатель представляет собой коммутационное устройство, назначением которого является защита электрической цепи от токовых перегрузок и коротких замыканий, путем принудительного обесточивания электропотребителей при возникновении аварийного режима работы вследствие короткого замыкания или длительного тока перегрузки.

Конструктивно автоматический выключатель состоит из:

- корпуса, который выполняется из диэлектрического материала;
- контактов, предназначенных для коммутации электрической цепи;
- теплового и электромагнитного расцепителей, предназначенных для коммутации контактов вследствие увеличения тока нагрузки и обеспечивающих автоматическое отключение электропотребителей;
- рычага, предназначенного для ручной коммутации электрической цепи.

Контакты, для обеспечения минимального сопротивления и уменьшения переходного сопротивления в месте соприкосновения, покрываются специальным сплавом на основе серебра. Один контакт обязательно является подвижным, второй - неподвижным. При воздействии на рукоятку управления

автоматом усилие посредством системы рычагов передается на контакты, что приводит к их коммутации (соединению или разъединению).

Автоматическое отключение выключателя происходит за счет действия одного из расцепителей - теплового или электромагнитного.

Тепловой расцепитель является биметаллической пластиной, которая при длительном прохождении тока выше номинального нагревается и изгибается. Образующимся изгибом пластина воздействует на защелку, что приводит к быстрому размыканию силовых контактов. Происходит срабатывание автоматического выключателя.

Электромагнитный расцепитель – это соленоид, через который протекает ток нагрузки. При резком скачке тока, который возникает при коротком замыкании, сердечник втягивается в соленоид под действием магнитного поля, образующегося в катушке. Происходит срабатывание автоматического выключателя. Время срабатывания электромагнитного расцепителя минимально.

Дугогасительная камера предназначена для быстрого гашения электрической дуги, которая возникает в автоматическом выключателе при отключении. Камера представляет собой решетку из медных пластин.

Автоматический выключатель снабжается клеммами для подключения к нему электрических проводов или шин. Затяжка клемм производится винтом.

На лицевой стороне автоматического выключателя указываются его основные характеристики:

- номинальный ток;
- характеристика электромагнитного расцепителя;

- максимальный кратковременный ток, который способен отключить выключатель без повреждений (динамическая стойкость).

Согласно ГОСТ Р 50345-2010 в бытовом электрооборудовании используются автоматические выключатели с тремя типами характеристик электромагнитного расцепителя:

- тип В, диапазон свыше $3I_n$ до $5I_n$ включительно; - тип С, диапазон свыше $5I_n$ до $10I_n$ включительно; - тип D, диапазон свыше $10I_n$ до $14I_n$ включительно.

В схемах защиты электропотребителей жилых домов в основном используются автоматические выключатели с характеристиками типов В и С.

Автоматический выключатель дифференциального тока представляет собой устройство, объединяющее функции автоматического выключателя и устройства защитного отключения. Автоматический выключатель дифференциального тока производит защиту от токов перегрузки и токов короткого замыкания (функции автоматического выключателя) и от токов утечки (функции устройства защитного отключения), позволяя защитить человека от возможного поражения электрическим током вследствие соприкосновения с токоведущими частями и предотвратить возможность возгорания в результате нарушения изоляции токоведущих частей.

Дифференциальная защита представляет собой дифференциальный трансформатор тока, через который проходят фазный и нулевой проводники.

В нормальном режиме работы через фазный проводник проходит ток к нагрузке, а через нулевой проводник от нагрузки. Таким образом соблюдается равенство токов. Токи направлены встречно, геометрическая сумма равна

нулю. Наводимые токами магнитные потоки в обмотке трансформатора тока взаимно компенсируют друг друга, и результирующий магнитный поток равен нулю.

При возникновении тока утечки, нарушается баланс токов. Происходит это из-за протекания в фазном проводе вместе с током нагрузки тока утечки. Баланс токов нарушается, что приводит к возникновению разных по величине магнитных потоков. В тороидальном сердечнике трансформатора тока возникает разностный магнитный поток. Под действием разностного магнитного потока во вторичной обмотке управления возникает ток. Когда величина этого тока превышает пороговое значение, происходит срабатывание механизма расцепления и контакты автоматического выключателя дифференциального тока отключаются от питающей сети.

При выборе защитных устройств необходимо руководствоваться следующими условиями

$$U_{н,а} \geq U_c, \quad (3.15)$$

где $U_{н,а}$ - номинальное напряжение устройства защиты, В;

U_c - напряжение сети, В

(3.16)

$$I_{н,а} \geq I_{н,р},$$

где $I_{н,а}$ - номинальный ток устройства защиты, А;

$I_{н,р}$ - номинальный ток расцепителя, А.

$$I_{н,р} = \frac{I_{дл}}{k_t} \quad (3.17)$$

где $I_{дл}$ - длительный ток в линии, А;

k_t - температурный коэффициент, принимаемый по таблице 3.6

Таблица 3.6 – Значения температурного коэффициента k_t

$t_{окр, среды}$	20	30	35	40	45	50	55	60
k_t	1,05	1	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84

В качестве примера рассмотрим выбор аппарата защиты для Гр. 1 «Сушильная машина (пом. 5)».

К установке в распределительном щите в качестве аппарата защиты принимаем автоматический выключатель фирмы АВВ S201-C16 16А 1Р. Автоматический выключатель – однополюсный, номинальный ток - 16 А, характеристика защиты - С.

Проверяем выполнение условий

$$U_{н,а} = 220 \text{ В} = U_{н,а} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{н,а} = 16 \text{ А} > I_{н,р} = 1,05 \cdot 12,5 \text{ А} = 13,1 \text{ А} \text{ при } t_{окр, среды} = 20 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

Условия выполняются. Аппарат защиты выбран верно.

Результаты выбора устройств защиты представлены в таблице 3.7

Таблица 3.7 – Аппараты защиты

Группа	Электропотребитель	Ток в линии, А	Защитный аппарат	
			Марка	Хар-ка
1	2	3	4	5
-	Ввод в жилой дом	28,7	S203-C40 40A 3P	С
Гр. 1	Сушильная машина (пом. 5)	12,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 2	Стиральная машина (пом. 5)	12,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 3	Розеточная сеть первого этажа (пом. 5)	2,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 4	Розеточная сеть первого этажа (пом. 1-3)	2,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 5	Розеточная сеть первого этажа (пом. 6)	1,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 6	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8)	5,1	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 7	Розеточная сеть первого этажа (пом. 8, 9)	3,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 8	Посудомоечная машина (пом. 9)	12,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 9	Розеточная сеть первого этажа (пом. 9)	20,2	BMR415C16 16 А 1P+N	С
Гр. 10	Розеточная сеть улицы	3,5	BMR415C16 16 А 1P+N	С

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5
Гр. 11	Розеточная сеть второго этажа (пом. 1)	3,0	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 12	Розеточная сеть второго этажа (пом. 5)	4,0	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 13	Розеточная сеть второго этажа (пом. 2, 6, 10)	3,0	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 14	Розеточная сеть второго этажа (пом. 3)	4,0	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 15	Розеточная сеть второго этажа (пом. 4)	2,5	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 16	Розеточная сеть второго этажа (пом. 7, 9)	5,6	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 17	Розеточная сеть второго этажа (пом. 8)	2,5	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. 18	Питание панели СН ДГУ в нормальном режиме	-	BMR415C16 16 A 1P+N	C
Гр. O1	Рабочее освещение первого этажа (пом. 10, 11)	0,6	S201-C10 10A 1P	C
Гр. O2	Рабочее освещение первого этажа (пом. 1, 3-5)	0,7	S201-C10 10A 1P	C
Гр. O3	Рабочее освещение первого этажа (пом. 2, 6)	0,4	S201-C10 10A 1P	C
Гр. O4	Рабочее освещение первого этажа (пом. 7, 8)	0,9	S201-C10 10A 1P	C
Гр. O5	Рабочее освещение первого этажа (пом. 9)	0,5	S201-C10 10A 1P	C

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5
Гр. О6	Рабочее освещение второго этажа (пом. 1, 6)	0,4	S201-C10 10A 1P	С
Гр. О7	Рабочее освещение второго этажа (пом. 3, 4, 11)	0,9	S201-C10 10A 1P	С
Гр. О8	Рабочее освещение второго этажа (пом. 2, 5, 11)	1,0	S201-C10 10A 1P	С
Гр. О9	Рабочее освещение второго этажа (пом. 7, 9, 10)	1,1	S201-C10 10A 1P	С
Гр. О10	Рабочее освещение второго этажа (пом. 8)	0,6	S201-C10 10A 1P	С
Гр. А1	Холодильник	4,0	BMR415C16 16 A 1P+N	С
Гр. А2	Оборудование котельной	3,2	BMR415C16 16 A 1P+N	С
Гр. А3	Система очистки сточных вод	4,0	S201-C10 10A 1P	С
Гр. А4	Щит слаботочных систем ЩСС	2,5	S201-C10 10A 1P	С
Гр. А5	Насос скважины	8,5	S201-C16 16A 1P	С
Гр. А6	Электропривод ворот	3,5	S201-C10 10A 1P	С

3.6 Расчет токов короткого замыкания

В соответствии с [4] при расчете токов однофазного короткого замыкания на землю необходимо учитывать сопротивление всех кабелей и сопротивление контактов от места короткого замыкания до трансформатора.

Ток однофазного короткого замыкания определяется по формуле

$$I_k^{(1)} = \frac{U}{Z_{\Pi} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} \quad (3.18)$$

где U - напряжение сети, кВ;

Z_{Π} - полное сопротивление петли "фаза - ноль" до точки короткого замыкания, Ом ;

$Z_T^{(1)}$ - полное сопротивление трансформатора однофазному короткому замыканию, Ом .

Для примера расчета тока короткого замыкания произведем расчет тока короткого замыкания для Гр. 9 «Посудомоечная машина (пом. 9)». Расчет будем вести в соответствии с ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ».

Согласно однолинейной схеме электроснабжения имеем 3 участка питающей сети, разделенных устройствами с размыкаемыми контактами. На участках установлены в общей сумме 4 таких устройства.

Сопротивление петли «фаза-ноль» определяется согласно формуле

$$R_{L-N} = \frac{Z_T}{3} + R_{\Sigma \text{пер}} + R_{\Sigma \text{авт}} + \sum_1^n (R_n \cdot L_n) + R_{\text{дуги}} \quad (3.19)$$

где $Z_T/3$ - сопротивление трансформатора, Ом ;

$Z_T/3 = 0,03$ Ом для силового трансформатора мощностью 250 кВ·А;

$R_{\Sigma \text{пер}}$ - суммарное переходное сопротивление контактов, Ом ;

$R_{\Sigma \text{пер}} = 0,04$ Ом;

$R_{\Sigma \text{авт}}$ - суммарное сопротивление всех автоматических выключателей,

Ом; $R_{\Sigma \text{авт}} = 0,019$ Ом;

R_n - удельное сопротивление n - го участка цепи, Ом/км

;

L_n - длина n - го участка цепи, км;

$$\sum_1^n (R_n \cdot L_n) = 0,4 \text{ Ом}$$

$R_{\text{дуги}}$ - сопротивление дуги в месте короткого замыкания, Ом;

$R_{\text{дуги}} = 0,052$ Ом.

Токи однофазного короткого замыкания в розетке стиральной машины

$$I_{k,I}^{(1)} = \frac{U_H}{R_{L-N}} \quad (3.20)$$

$$I_{k,I}^{(1)} = \frac{220}{0,541} = 407 \text{ А}$$

В Правилах устройства электроустановок [4] наибольшее время отключения цепей при коротком замыкании в сетях с глухозаземленной нейтралью определяется как:

- 0,2 с при напряжении 380 В;

- 0,4 секунды при напряжении 220 В.

Для устройств защит с комбинированным расцепителем, ток короткого замыкания должен превысить ток срабатывания электромагнитного расцепителя не менее чем в 1,25 раза.

Проверим правильность выбора автомата защиты для отходящей линии
Гр. 9

«Посудомоечная машина (пом. 9)»

$$I_{k,l}^{(1)} = 407 \text{ А выше пределов } 1,25 \cdot (5 \div 10) I_n = 100 \div 200 \text{ А.}$$

Таким образом, для автоматического выключателя дифференциального тока ВМР415С16, который защищает отходящую линию, и имеющего номинальный ток 16 А, выполняется условие по времени отключения.

Для исключения возможности одновременного срабатывания аппарата защиты отходящей линии и аппарата защиты главного распределительного щита ГРЩ, проверим селективность защиты.

Для автоматического выключателя S203-С40, который защищает главный распределительный щит ГРЩ, и имеющего номинальный ток 40 А, выполняется условие селективности.

$$I_{k,l}^{(1)} = 407 \text{ А находится в пределах } 1,25 \cdot (5 \div 10) I_n = 250 \div 500 \text{ А.}$$

Таким образом, выключатель дифференциального тока ВМР415С16, в соответствии с токовременной характеристикой, произведет отключение тока

короткого замыкания быстрее, чем автоматический выключатель S203-C40. Остальные группы потребителей, кроме Гр. 9 «Посудомоечная машина (пом. 9)», останутся в работе.

По результатам проведенных расчетов, делаем вывод, что устройства защиты удовлетворяют требованиям по отключению аварийного режима и селективности, а, следовательно, выбраны верно.

3.7 Узел учета электроэнергии

В современном мире, электроэнергия является продуктом. А любой продукт, в свою очередь, является товаром. Как следствие, отпущенная потребителю электроэнергия, должна учитываться для дальнейшей оплаты.

Электрическим прибором, позволяющий выполнить операции по учету, является прибор учета электрической энергии или, как еще принято называть, счетчик электрической энергии. Современные приборы учета обладают множеством характеристик, как технических, так функциональных. Поэтому подход к выбору прибора учета должен быть осознанным, т. к. от правильного выбора зависят не только расходы, понесенные на оплату потребленной электрической энергии, но и безопасность здания, в котором данный прибор учета установлен.

ГОСТ Р 52320-2005 «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть 11. Счетчики электрической энергии» определяет метрологические и технические характеристики приборов учета. Для учета электрической энергии необходимо использовать средства измерения, утвержденные

Госстандартом России и внесены в Государственный реестр средств измерений. Список типов счетчиков, используемых для расчетов за электроэнергию и принимаемых на баланс, устанавливается энергоснабжающей организацией.

Одной из характеристик любого прибора учета, влияющей на измерение потребленной электрической энергии, является класс точности электросчетчика. Классом точности прибора учета называют максимально-допустимую погрешность при измерении электрической энергии. Данная величина выражается в процентах, отображается на лицевой панели прибора учета (цифра в круге) и паспорте на прибор. Классы точности, а также категории потребителей, где те или иные классы точности могут применяться, определены Постановлением Правительства РФ № 442 от 04.05.2012 [5].

Другой, не менее важной характеристикой прибора учета, является его тарифность. Тарифность прибора учета определяет способность данного прибора вести отдельный учет электрической энергии по зонам суток. В основной массе для расчета за потребленную электрическую энергию в быту применяются однотарифные приборы учета. Тем не менее, в регионах РФ, где на законодательном уровне закреплено использование нескольких тарифных зон для бытовых потребителей, возможно использование современных приборов учета, позволяющих вести учет по нескольким зонам в сутках, а также по временам года. При этом рабочий ток прибора учета электроэнергии определяется величиной нагрузки, энергопотребление которой учитывается в текущий момент времени.

Следующей характеристикой прибора учета электроэнергии является межповерочный интервал. Межповерочным интервалом называют промежуток времени, в течение которого гарантируется работа прибора учета

в пределах заявленной изготовителем погрешности. Межповерочный интервал измеряется в годах и, в зависимости от типа прибора учета и его модификации, бывает от 6 до 16 лет. Точкой отсчета начала межповерочного интервала является месяц и год поверки счетчика. Данная дата указывается в формуляре к прибору учета электроэнергии и на его пломбе.

В качестве узла учета электроэнергии выбираем для установки в щите учета на опоре воздушной линии электропередачи трехфазный однотарифный электронный прибор учета прямого включения СКАТ 301Э 1-10(100) Ш Р производителя ЕКФ серии PROxima.

Прибор учета позволяет производить измерения активной мощности в трехфазных четырехпроводных сетях, рассчитан на напряжение 220/380 В, обладает цифровой индикацией показаний, защитой от вмешательства в схему измерения и световую индикацию, сигнализирующую о попытке хищения электроэнергии. Прибор учета монтируется на DIN-рейку. Класс точности данного прибора учета – 1,0.



Рисунок 3.1 – Внешний вид прибора учета СКАТ 301Э 1-10(100) Ш Р

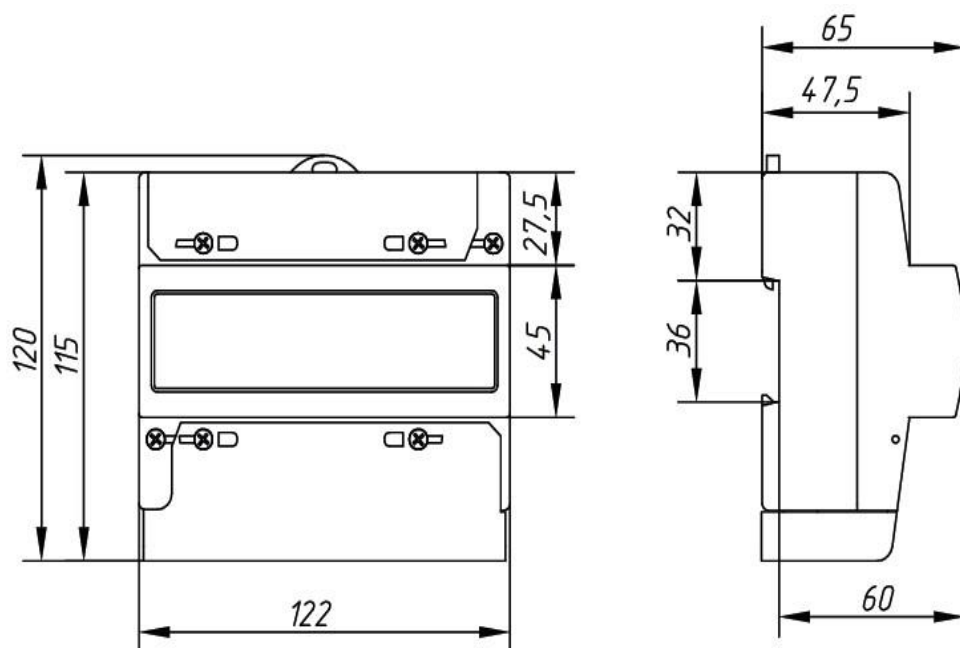


Рисунок 3.2 – Габаритные и установочные размеры прибора учета
СКАТ 301Э 1-10(100) Ш Р

3.8 Разработка основных принципов обеспечения электробезопасности при работе в электроустановках жилого дома

Повсеместная эксплуатация электроэнергии во всех областях деятельности человека, в том числе и в быту, в связи резким с увеличением количества и разнообразия электроприборов, влечет за собой повышение вероятности поражения человека электрическим током.

С точки зрения физики, человеческое тело является проводником электрического тока. Электрический ток, при прохождении через тело человека, вызывает термическое, электротермическое и биологическое

воздействие. Основным фактом, который определяет степень поражения, является величина электрического тока.

ГОСТ Р 50571.3-2009 содержит требования к основным мерам защиты человека от поражения электрическим током. Все контакты с электроустановкой в жилом доме, которые могут произойти в быту, подразделяются на прямые прикосновения и косвенные прикосновения. Каждому из этих видов соответствуют два вида защиты:

- защита от прямого прикосновения; - защита от косвенного прикосновения.

ГОСТ Р 50571.3-2009 предусматривает меры по защите от прямого прикосновения:

- изоляция токоведущих частей;
- применение ограждений и оболочек;
- применение барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- дополнительная защита с помощью устройств защитного отключения.

С целью защиты от косвенного прикосновения ГОСТ Р 50571.3-2009 предусмотрены следующие меры:

- автоматическое отключение питания;
- систему уравнивания потенциалов;
- применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией;

- изолирующие помещения, зоны и площадки; - электрическое разделение цепей.

Под косвенным прикосновением понимается соприкосновение человека с открытыми проводящим частям оборудования, которые в нормальном режиме работы электроустановки не находятся под напряжением. То есть на них отсутствует электрический потенциал. Однако, при каких-либо аварийных режимах работы, вызванных нарушением изоляции или ее пробоем на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека разности потенциалов.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять в случаях: - напряжение электроустановки превышает 50 В переменного тока; - напряжение электроустановки превышает 120 В постоянного тока.

Защита от прямого прикосновения не требуется в случаях:

- электрооборудование в обязательном порядке находится в зоне системы уравнивания потенциалов;
- наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного тока (помещение без повышенной опасности);
- наибольшее рабочее напряжение не превышает 60 В постоянного тока (помещениях без повышенной опасности);
- наибольшее рабочее напряжение не превышает 6 В переменного тока (во всех остальных случаях);
- наибольшее рабочее напряжение не превышает 15В постоянного тока (во всех остальных случаях).

Все электрооборудование по способам защиты от поражения электрическим током можно разделить на четыре класса.

1. Оборудование класса 0. В данном виде оборудования защиту от поражения электрическим током обеспечивает основная изоляция. При этом отсутствует электрическое соединение открытых проводящих частей с защитным проводником. В случае возникновения аварийной ситуации, защита обеспечивается окружающей средой (воздух, изоляция пола и т.п.);

2. Оборудование класса I. В данном виде оборудования защиту от поражения электрическим током обеспечивает основная изоляция и соединение открытых проводящих частей с защитным проводником. В этом случае открытые проводящие части, с которыми возможно соприкосновение, не могут оказаться под напряжением, вследствие срабатывания защиты.

3. Оборудование класса II. В данном виде оборудования защиту от поражения электрическим током обеспечивает применение двойной или усиленной изоляции. В этом случае отсутствуют средства защитного заземления. Защитные свойства окружающей среды не используются в качестве меры обеспечения безопасности;

4. Оборудование класса III. В данном виде оборудования защита от поражения электрическим током обеспечивается питанием от источника безопасного сверхнизкого напряжения. В оборудовании класса III отсутствует заземляющий зажим.

Степень защищенности электрооборудования от пыли, влаги и доступа нормируется ГОСТ Р 14254-96 (МЭК 529-89).

Дополнительная защита от поражения электрическим током достигается путем применения УЗО, и в сочетании с системами заземления типа TN-S, TN-C-S обеспечивает высокий уровень электробезопасности при эксплуатации электроустановок.

Защита от поражения электрическим током при косвенном соприкосновении с токоведущими частями должна обеспечиваться следующими мероприятиями:

- применением УЗО;
- применением нулевых защитных проводников в электроустановках с системой заземления TN совместно с автоматическими выключателями.

В соответствии с ГОСТ Р 50571.3-2009, ГОСТ Р 50699-94 и ГОСТ Р 50571.1196, применение УЗО обязательно:

- для групповых линий, питающих электроприемники наружной установки;
- для мобильных сооружений (здания из металла или с металлическим каркасом);
- для защиты штепсельных розеток влажных помещений (ванных, душевых и т. д.);
- для защиты штепсельных розеток в помещениях с постоянным пребыванием детей.

Установка УЗО также рекомендуется в случаях, связанных с вероятностью возникновения увеличенной опасности. Примером может служить применение нагревательных элементов, встроенных в пол.

Кроме рассмотренных УЗО без защиты от сверхтоков, существуют также УЗО со встроенной защитой от сверхтоков – автоматические выключатели дифференциального тока.

В выпускной квалификационной работе основным видом защитных устройств, обеспечивающих безопасность в случае попадания под действие электрического тока, являются автоматические выключатели дифференциального тока с характеристикой отключения АС на номинальном током утечки 30 мА.

В соответствии с определением, заземление – это сознательное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством. Защитное заземление – это заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

В соответствии с классификацией [4] и ГОСТ Р 50571.2-94, в выпускной квалификационной работе принята система заземления TN-C-S. Электрическая схема данной системы представлена на рисунке 3.3.

В системе TN-C-S источник питания имеет непосредственную связь токоведущих частей с землей. Все открытые проводящие части электроустановок в жилом доме имеют непосредственную связь с точкой заземления источника питания.

Данная связь обеспечивается применением совмещенного нулевого защитного и рабочего проводников в части питающей чети, так называемый PEN-проводник. В части распределительной электрической цепи используется отдельный нулевой защитный проводник, так называемый PE-проводник.



Рисунок 3.3- Система заземления TN-C-S

С точки зрения электробезопасности, система TN-C-S при использовании УЗО имеет такое важное преимущество. При появлении потенциала на корпусе электроприёмника, УЗО мгновенно отключит электропитание, так как корпус электроприёмника имеет соединение с защитным проводником.

В рассматриваемой системе TN-C-S PEN-проводник разделяется на нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники во вводном устройстве. В выпускной квалификационной работе вводным устройством служит главный распределительный щит ГРЩ, установленный в прихожей на первом этаже. При этом нулевой защитный проводник PE повторно заземлен, а нулевой рабочий проводник N не имеет соединения с землей.

Одним из условий обеспечения электробезопасности, является наличие системы уравнивания потенциалов. Уравнивание потенциалов заключается в присоединении всех подлежащих заземлению проводящих частей к общей шине заземления с целью достижения равенства их потенциалов.

Построение системы уравнивания потенциалов производится путем монтажа заземляющих устройств, представляющих собой комплекс заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлитель - это проводящая часть или комплекс соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

В выпускной квалификационной работе в качестве заземлителя принят контур заземления из расположенных в ряд стальных уголков. В качестве главной заземляющей шины используется шина РЕ главного распределительного щита ГРЩ.

3.9 Расчет заземляющего устройства жилого дома

На всех объектах, где используется электрическая энергия, необходима защита людей от поражения электрическим током. Свой путь до конечного потребителя электроэнергия начинает от источника, передается по линиям электропередачи до подстанций, где происходит ее трансформация на другой уровень напряжения, и только после этого распределяется к потребителям. Для передачи электроэнергии применяются провода с тремя фазными проводниками (в случае трехфазной сети) или одним (в случае однофазной сети). Четвертым или, соответственно, вторым проводником в данных проводах является так называемый проводник PEN - одновременно рабочий и защитный «ноль».

На понизительных подстанциях обмотки силового трансформатора соединяются по схеме «звезда». При этом общая точка (нейтраль) заземляется. Такое заземление называется рабочим.

В жилой дом подается напряжение 220/380 В. Далее, через распределительный щит, провода расходятся к электропотребителям во всех помещениях. Разделение PEN-проводника на рабочий и защитный «ноль» осуществляется в распределительном щите. Защитный «ноль» присоединяется к внешнему контуру повторного заземления. Для защиты человека от поражения электрическим током, вместе с проводниками фазным и рабочим «нулем», от распределительного щита к каждому электропотребителю прокладывается еще один проводник – защитный «ноль».

Для расчета заземляющего устройства жилого дома используем данные, представленные в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Исходные данные для расчета заземления

Показатель	Значение
1	2
Тип заземлителя	Искусственный контурный
Климатическая зона	III
Грунт	Чернозем, глина, $\rho = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Вертикальный заземлитель	Стальной уголок $50 \times 50 \times 5 \text{ мм}$, $L = 3 \text{ м}$
Горизонтальный заземлитель	Стальная полоса $40 \times 4 \text{ мм}$
Глубина заложения заземлителя в грунт	$t = 0,7 \text{ м}$

Так как проектируемый контур заземления жилого дома является контуром повторного заземления, то согласно [4] его величина не нормируется. Тем не менее, в соответствие с [4], общее сопротивление растеканию заземлителей всех повторных заземлений PEN-проводника в любое время года должно быть не более 10 Ом при напряжении 0,4 кВ. Таким образом, принимаем $R_H = 10 \text{ Ом}$.

Расчётное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициента сезонности

$$\rho_p = k_{сез} \cdot \rho \quad (3.21)$$

где $k_{сез}$ - коэффициент сезонности для вертикального заземлителя в зависи-

мости от климатической

зоны; $k_{сез}=1,5$.

$$\rho_p = 1,5 \cdot 40 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$R_0 = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot L}{d_{y,экв}} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot T + L}{4 \cdot T - L} \right) \right) \quad (3.22)$$

где $d_{y,экв}$ - эквивалентный диаметр уголка, м;

$$d_{y,экв} = 0,95 \cdot b, \quad (3.23)$$

где b - ширина стороны уголка, м; $b = 0,04$ м.

$$d_{y,экв} = 0,95 \cdot 0,04 = 0,038 \text{ м}.$$

T - расстояние от поверхности земли до середины стержня, м; $T = 2,2$ м.

$$R_0 = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,038} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) \right) = 17,2 \text{ Ом}$$

Предварительное количество вертикальных электродов без учета сопротивления горизонтального электродов

$$n_0 = \frac{R_0}{R_H} \quad (3.24)$$

где R_H - нормативное сопротивление вторичного заземлителя,
Ом; $R_H = 10$ Ом.

$$n_0 = \frac{17,2}{10} = 2 \text{ шт}$$

Уточняем количество вертикальных электродов с учетом расстояния между вертикальными электродами $a = 5$ м и длины вертикального электрода $L = 3$ м

$$n_B = \frac{R_0}{R_H \cdot \eta_B} \quad (3.25)$$

где η_B - коэффициент спроса вертикальных заземлителей;

$$\eta_B = 0,87.$$

$$n_B = \frac{17,2}{10 \cdot 0,87} = 1,97 \approx 2 \text{ шт}$$

Принимаем количество вертикальных электродов $n_B = 2$ шт .

Длина горизонтального электрода

$$L_T = a \cdot (n_B - 1); \quad (3.26)$$

$$L_T = 5 \cdot (2 - 1) = 5 \text{ м.}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{\rho \cdot \psi}{L_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot L_{\Gamma}^2}{b \cdot t} \right) \quad (3.27)$$

где ψ - коэффициент сезонности горизонтального заземлителя; $\psi=2,3$;

b - ширина горизонтального заземлителя, м; $b=0,04$ м;

η_{Γ} - коэффициент спроса горизонтальных заземлителей;

$$\eta_{\Gamma} = 0,89.$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{40 \cdot 2,3}{5 \cdot 0,89} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 5^2}{0,04 \cdot 0,07} \right) = 32,2 \text{ Ом}$$

Фактическое сопротивление контура заземления

$$R_{\text{зy}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n} \quad (3.28)$$

где $\eta_{\text{в}}$ - уточненный коэффициент спроса вертикальных заземлителей при количестве электродов $n_{\text{в}} = 2$ шт ;

$$\eta_{\text{в}} = 0,91.$$

$$R_{\text{зy}} = \frac{17,2 \cdot 32,2}{17,2 \cdot 0,89 + 32,2 \cdot 0,91 \cdot 2} = 7,5 \text{ Ом}$$

Полученное расчетное значение сопротивления контура заземления удовлетворяет принятому ранее условию

$$R_{\text{зy}} = 7,5 \text{ Ом} < R_{\text{н}} = 10 \text{ Ом} .$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработана система электроснабжения жилого дома по адресу: Республика Хакасия, г. Саяногорск, ул. Речная д. 11

В работе решены все поставленные задачи, а именно:

- 1) определены электрические нагрузки всех электропотребителей жилого дома;
- 2) разработана система электроснабжения жилого дома;
- 3) рассчитана распределительная сеть, применяемая для электроснабжения всех электропотребителей жилого дома;
- 4) выбраны марки кабелей электрической распределительной сети.
- 5) выбрана защитная аппаратура в виде автоматических выключателей и автоматических выключателей дифференциального тока производителя АВВ;
- 6) прибор учета электрической энергии СКАТ 301Э 1-10(100) Ш Р определен, как прибор учета для расчета за потребленную электрическую энергию;
- 7) спроектирован контур повторного заземления, обеспечивающий должную безопасность для человека, при возникновении режима работы электрооборудования, отличного от нормального.

Все примененное в проекте электрооборудование выбрано с учетом номенклатуры продукции, изготавливаемой на территории РФ. Данное обстоятельство обеспечит легкий поиск на рынке и должную доступность для закупки. Таким образом, задачи, поставленные в данной выпускной квалификационной работе, выполнены в полном объеме. Спроектированная система электроснабжения жилого дома удовлетворяет всем требованиям действующей нормативнотехнической документации с учетом требований правил безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 11 «Проектирование электроустановок квартир с улучшенной планировкой и коттеджей». Компания «Schneider Electric». – октябрь, 2017. – 240с., ил.
- 2 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014. – 214 с., ил.
- 3 Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – 2-е изд. – Москва: ФОРУМ, 2011 – 136 с.
- 4 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск, Сиб.унив.изд-во, 2010. – 464 с., ил.
- 5 Постановление правительства РФ от 04.05.2012 № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» (с изменениями № 941 от 4.09.2015). – Утвержд. 04.05.2012. – Постановления правительства Российской Федерации. – 2012.
- 6 ГОСТ 28249-93 (2013). Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – Введ. 01.01.95, переиздан 08.2003. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М: Изд-во стандартов, 2013
- 7 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.06.2014. – Москва: Межгос. Совет

по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2014.

8 ГОСТ Р 50571.4.41-2022. Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током. – Введ. 01.01.2022. – Москва: Национальный стандарт Российской Федерации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2022.

9 ГОСТ Р 51327.1-2010. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защиты от сверхтоков. – Введ. 30.10.2010. – Москва: Национальный стандарт Российской Федерации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2011 – 100 с.

10 ГОСТ Р МЭК 60755-2012. Общие требования к защитным устройствам, управляемым дифференциальным (остаточным) током. – Введ. 01.01.2013. – Москва: Национальный стандарт Российской Федерации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2013.

11 СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. – Введ. 01.01.2004. – Москва: Госстрой России, 2004 24. СП 52.13330.2010. Естественное и искусственное освещение. – Введ. 20.05.2011. – Москва: Минрегион РФ, приказ № 783 от 27.12.2010. – 74 с.

12 Группа АВВ - Цифровые технологии для промышленности и энергетики [электронный ресурс]. – URL: <https://new.abb.com/ru>.

13 Приказ ФСТ России от 11.10.2022 N 733/22 "О предельных минимальных и максимальных уровнях тарифов на электрическую энергию (мощность), поставляемую населению и приравненным к нему категориям

потребителей, по субъектам Российской Федерации на 2023 год (Зарегистрировано в Минюсте России 11.10.2022 N 733/22) [Электронный ресурс]. Приложение N 4 к приказу Федеральной службы по тарифам от 11 октября 2022 г. N 733/22// Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

14 РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.

15 РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2018. – 27 с.

16 Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования. ТПК 45-4.04-149-2009 (02250)

17 Солдаткина, Л.А. Электрические системы и сети. М.: Энергия, 2013. - 216 с.

18 СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий; дата введ. 01.01.2004. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2014. – 65 с.

19 Тарифы на электроэнергию– Режим доступа: <https://energo.ru/authors/energo-24/12823.html>

20 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. – Москва: Изд-во НЦЭНАС, 2012. -320с.

21 Фёдоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2т./ под общ. ред. А. А. Фёдорова.– Москва : Энергоатомиздат, 2014. – Т.2. – 592 с.

22 Фёдоров, А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2т./ под общ. ред. А. А. Фёдорова.– Москва : Энергоатомиздат, 2014. – Т.1. – 568 с.

23 Федоров, А.А Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация. 2-е изд. перераб. и доп./ Под общ. ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновского. – М.: Энергия, 2015. – 624 с.

24 Федоров, А.А. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Промышленные электрические сети. 2-е изд. перераб. и доп./ Под общ. ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновского. – М.: Энергия, 2016. – 576 с.

25 Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов/ А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – Москва: Энергоатомиздат, 2017. – 368 с.

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

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.С. Торопов
подпись инициалы, фамилия
« 30 » 06 2023г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код - наименование направления

Электроснабжение частного жилого дома по адресу: Республика Хакасия,
г. Саяногорск, ул. Речная д. 11
тема

Руководитель Г.Н. Чистяков 28.06.2023г. доцент каф. ЭМиАТ, к.т.н. Г.Н. Чистяков
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник А.И. Изовский 26.06.2023г. А.И. Изовский
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А. Кычакова «26»06 2023г. И.А. Кычакова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Абакан 2023