

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра электрооборудования и энергоснабжения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:

Заведующая кафедрой ЭС

_____ А.О. Прокубовская

«_____» _____ 2017 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОТТЕДЖА

Исполнитель:

студент группы ЭС-402 _____

(подпись)

В.В.Крякунов

Руководитель:

старший преподаватель РГППУ _____

(подпись)

Ю.А.Юксеев

Нормоконтролер:

ст.преподаватель кафедры ЭС _____ Т.В. Лискова

(подпись)

Екатеринбург 2017

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 68 страницах, содержит 8 рисунков, 16 таблиц, 29 источников литературы, а также 4 приложения на 8 страницах.

Ключевые слова: ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, КОТТЕДЖ, ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА.

Крякунов В. В. Проектирование энергоснабжения коттеджа: выпускная квалификационная работа / В. В. Крякунов; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. электрооборудования и энергоснабжения. – Екатеринбург, 2017. – 68 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование энергоснабжения коттеджа».

2. Цель работы: спроектировать систему энергоснабжения коттеджа.

3. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы выполнен расчет электрических нагрузок, выбраны провода, произведен расчет и выбор устройств защитной аппаратуры, произведен расчет заземляющего устройства и выбор молнии защиты, выбраны источники теплоснабжения, произведено технико-экономическое сравнение выбранных источников теплоснабжения.

4. Выполнена в современном электрооборудованием с применением надежных средств защиты от поражения электрическим током. Материалы которые используются в проекте обладают высокими характеристиками, длительными сроками службы и просты в эксплуатации.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	7
2 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМ СОВРЕМЕННЫХ КОТТЕДЖЕЙ	10
2.1.1 Электрическое освещение	12
2.1.2 Электротехническая часть	13
2.1.3 Расчет электрических нагрузок	14
2.1.4 Общие принципы выбора проводов и кабелей	17
2.1.5 Выбор сечения токопроводящих жил и марок кабелей	18
2.1.6 Проверка проводников по потере напряжения	21
2.1.7 Общие принципы выбора защитной аппаратуры	24
2.1.8 Расчет и выбор аппаратов защиты	25
2.1.9 Расчет аппаратуры и линии внешнего электроснабжения	28
2.1.10 Расчет токов трехфазного короткого замыкания	30
2.1.11 Расчет токов однофазного короткого замыкания	34
2.1.12 Проверка правильности выбора защитной аппаратуры	36
2.1.13 Основные принципы учета электроэнергии	38
2.1.14 Учет электроэнергии индивидуальных коттеджей	39
2.1.15 Основные требования к установке приборов учета	40
2.1.16 Выбор счетчика электрической энергии	41
2.2.1 Выбор автономного источника теплоснабжения	42
2.3.1 Техничко-экономический расчет	45
2.4.1 Составление сметы капиталовложений	45
2.4.2 Техничко-экономическое сравнение установки и обслуживания котлов	47
2.4.3 Техничко-экономическое сравнение эксплуатации котлов	48
2.4.4 Техничко-экономическое сравнение вариантов	49

3	РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ КОТТЕДЖА	51
3.1	Устройство защитного отключения	54
3.2	Защитное заземление и уравнивание потенциалов	58
3.3	Расчет заземляющего устройства коттеджа	61
3.3.1	Расчет заземляющего устройства котельной	62
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65
	Приложение А - Схемы электрические	69
	Приложение Б - План прокладки сети освещения	72
	Приложение В - План прокладки розеточной сети	74
	Приложение Г - Молниезащита и система заземления	76

ВВЕДЕНИЕ

Коттедж является основой комфортного проживания людей. В понятие «жилище» входят помещения различного назначения, приусадебные постройки и наружные установки.

Важнейшим условием реализации комфортности является оснащение коттеджа различными устройствами, работа которых основана на использовании электрической и тепловой энергии. Украшением любого интерьера являются художественно оформленные светильники, электрокамины и другие электробытовые приборы, обеспечивающие удобство быта, комфорт и уют. Телевизоры, холодильники, стиральные машины, электрические или газовые плиты, пылесосы, кухонные комбайны и другие приборы являются неотъемлемой частью быта людей. Кондиционеры, вентиляторы, система отопления, горячее и холодное водоснабжение создают комфортные условия проживания в жилище.

Исключению или сокращению негативных последствий электрификации быта способствует выполнение для каждого коттеджа проекта электрооборудования, в котором, наряду с выполнением функционального назначения электроустановки, учитываются требования по обеспечению электро-безопасности.

Объектом исследования является коттедж.

Предметом исследования является электрооборудование коттеджа.

Цель работы - выполнить проект энергоснабжения коттеджа.

Задачи работы:

- произвести расчет электрических нагрузок коттеджа;
- выбрать провода и кабельные линии для внешних и внутренних электропроводок;
- произвести расчет и выбор устройств защитной аппаратуры;
- выполнить проверку выбранной защитной аппаратуры;
- произвести расчет заземляющего устройства;

- произвести расчет и выбор молниезащиты;
- выбрать источники теплоснабжения коттеджа;
- произвести технико-экономическое сравнение выбранных источников теплоснабжения коттеджа.

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В выпускной квалификационной работе требуется рассчитать энергоснабжение двухэтажного коттеджа с газовой плитой, площадь под здание - $134,31\text{м}^2$, общая площадь всех помещений – $165,78\text{м}^2$.

Электроснабжение группы домов поселка, где расположен проектируемый коттедж, осуществляется по воздушной линии ВЛ-0,4кВ проводом марки СИП от ТП 10/0,4кВ, который находится от проектируемого коттеджа на расстоянии 100м. Электроснабжение самого жилого дома (так называемая «точка подключения») осуществляется от щита нагрузки ЩН, установленного на опоре ВЛ-0,4кВ, на расстоянии от коттеджа на расстоянии 5м.

В коттедже находится собственная котельная. Электроснабжение котельной осуществляется от отдельного щита, подключенного к электрощиту коттеджа.

Отопление коттеджа производится от собственной автономной котельной установки. Водоснабжение осуществляется из автономной системы. Водоотведение производится в автономную систему канализации со сбором сточных вод в накопитель. Газоснабжение всех потребителей поселка производится централизованно от газораспределительной станции.

По климатическим показателям поселок относится к третьему климатическому району, который характеризуется как умеренно теплый, незначительно засушливый. Грунт в поселке – глина и чернозем.

Проектируемый коттедж представляет собой двухэтажное строение без подвального помещения. Планировка проектируемого коттеджа показана рисунках 1, 2.

На первом этаже расположены котельная, прихожая, кабинет, гостиная, столовая, кухня, санузел. Пол первого этажа находится на отметке +0,530.

На втором этаже расположены три спальни, холл, санузел и лоджия.

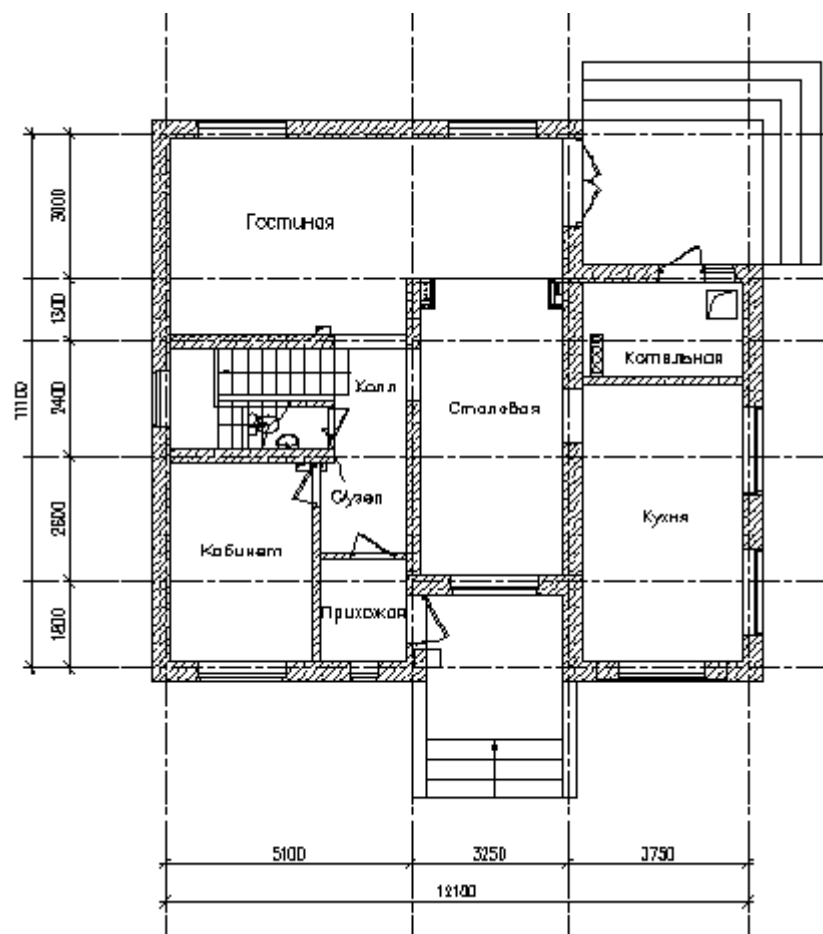


Рисунок 1 – План первого этажа

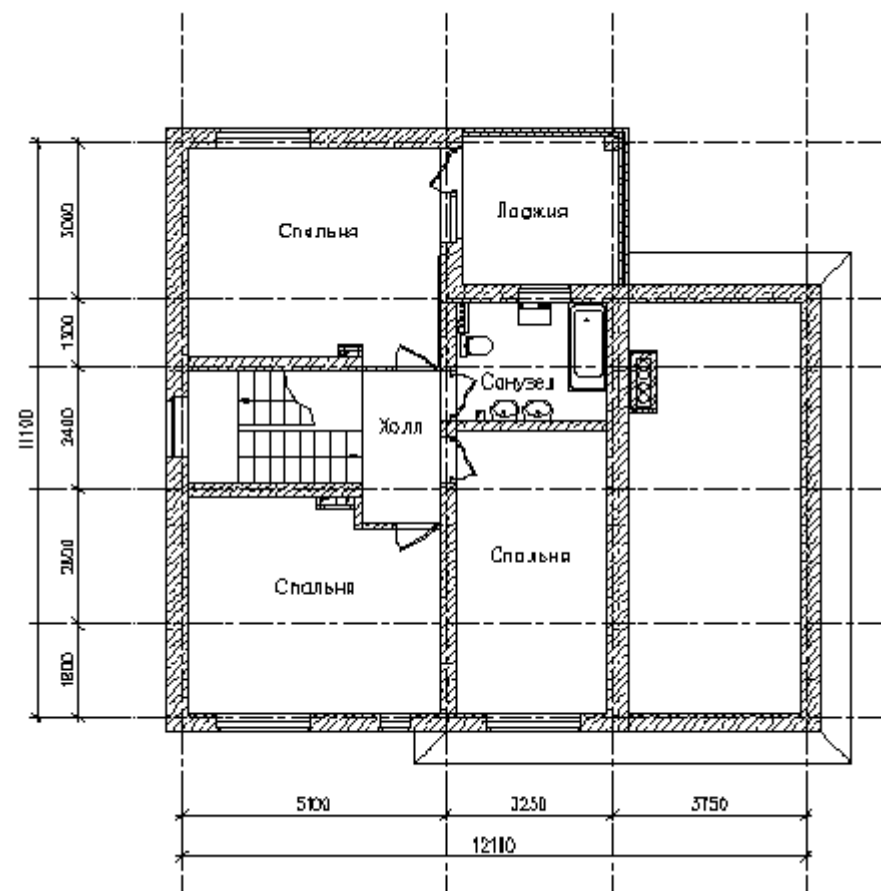


Рисунок 2 – План второго этажа

Проектирование электроустановок коттеджа осуществляется в соответствии с заданием заказчика. При этом все технические решения в проекте электротехнической части должны удовлетворять требованиям действующих нормативных документов.

В таблице 1 представлено техническое задание на проектирование электрооборудования коттеджа, согласованное с заказчиком.

Таблица 1 – Техническое задание на проектирование электрооборудования

Потребители электроэнергии	Помещения 1 этажа									
	вход	прихожая	холл	кабинет	столовая	гостиная	кухня	санузел	тераса	котельная
Электрическое освещение, кВт	0,06	0,1	0,1	0,3	0,3	0,75	0,6	0,1	0,06	0,072
Число розеток на ток 10(16)А	1	-	1	2	3	3	6	-	1	8
Холодильник с морозильной камерой	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Духовой шкаф	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Посудомоечная машина	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Микроволновая печь	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Вытяжной вентилятор	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Домашний кинотеатр	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Персональный компьютер	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Газовый котел, кВт	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12
Электрический котел, кВт	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
Потребители электроэнергии	Помещения 2 этажа									
	л/клетка	спальня 1	спальня 2	спальня 3	санузел	лоджия				
Электрическое освещение, кВт	0,1	0,3	0,3	0,3	0,08	0,12				
Число розеток на ток 10(16)А	-	2	2	3	1	-				
Телевизор	-	+	+	+	-	-				
Персональный компьютер	-	+	+	+	-	-				
Стиральная машина	-	-	-	-	+	-				

2 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМ СОВРЕМЕННЫХ КОТТЕДЖЕЙ

Основные требования к электроустановкам коттеджей отражены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ), стандартах России и МЭК, Строительных нормах и правилах (СНиП), сводах правил (СП), инструкциях, рекомендациях, указаниях, выпускаемых Госстроем РФ, Ростехнадзором, Энергосбытом и другими уполномоченными государственными органами.

Все требования направлены на обеспечение надежности, электро-, пожаробезопасности и экономичности электроустановок при соблюдении условий комфортного проживания людей.

Надежность электроснабжения коттеджей должна соответствовать требованиям ПУЭ, СП31-110-2003 и других нормативных документов. По классификации ПУЭ это, как правило, потребители II и III категорий надежности.

Электроснабжение коттеджей с установленной мощностью электроприемников более 11кВт следует, как правило, осуществлять от трехфазной сети. Неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам не должна превышать 15%.

Всё электрооборудование, применяемое в отдельных помещениях коттеджа или в постройках на приусадебных участках по степени защищенности от влаги, пыли, химически активных веществ, и от поражения людей электрическим током должно соответствовать международному классификатору - IP-коду, который определен в ГОСТ 14254-96 (стандарт МЭК 529-89).

Коттеджи должны быть оборудованы молниезащитой.

Проект электроснабжения должен обеспечивать энергоэффективность, эстетичность и функциональность электроустановки коттеджа.

Под энергоэффективностью подразумевается рациональное использование электроэнергии в быту.

Под эстетичностью жилища понимается архитектурно-художественное оформление интерьеров помещений, поэтому электроустановки в этих помещениях не должны нарушать общих дизайнерских решений.

Функциональность электроустановок определяется удобством их использования в быту.

При проектировании электроустановки в коттедже важную роль играет знание режимов работы бытовых потребителей. В таблице 2 приведены данные, характеризующие режимы работы бытовых электроприборов.

Таблица 2 – Режимы работы бытовых электроприборов

Режим работы	Параметры, характеризующие режим работы	Примеры	Примечание
Длительный непрерывный	Постоянно (более 1 ч) включен в электрическую сеть и потребляет электроэнергию	Электрическое освещение, телерадиоаппаратура, компьютеры	
Длительный прерывистый	Постоянно (более 1 ч) включен в электрическую сеть; электроэнергию потребляет при отклонениях заданного параметра	Насосные установки - на период заполнения или опорожнения емкости Водонагревательные и отопительные приборы – на период нагрева до заданной температуры; Холодильники - на период включения компрессора до заданной температуры.	Работа в автоматическом режиме
Длительный эпизодический	Включен в электрическую сеть более 30 мин и потребляет электроэнергию	Пылесосы, стиральные машины, утюги, газонокосилки, сауны и т.п.	
Кратковременный эпизодический	Включен в электрическую сеть менее 30 мин и потребляет электроэнергию	Чайники, кофеварки, электрофены, электробритвы и т.п.	

2.1.1 Электрическое освещение

Освещение является одним из важнейших факторов, характеризующих комфортность коттеджа. Электрическое освещение обеспечивает возможность нормальной жизни и деятельности людей в быту при отсутствии или недостаточности естественного освещения.

В данной работе на основании технического задания, согласованного с заказчиком, были приняты следующие решения:

- во всех помещениях применена система общего освещения;
- для верхнего освещения жилых помещений, кухни, гостиной, столовой приняты трехламповые люстры со степенью защиты IP-20 с светодиодными лампами 10Вт каждая;
- для бокового освещения кухни и гостиной выбраны настенные одноламповые светильники со степенью защиты IP-20 с светодиодными лампами 7Вт;
- для освещения прихожей, холла, лестничной клетки выбраны потолочные одноламповые светильники со степенью защиты IP-20 со светодиодными лампами 10Вт;
- для освещения санузла первого этажа выбран одноламповый потолочный светильник со степенью защиты IP-20 с светодиодной лампой 10Вт, для освещения санузла второго этажа выбраны четыре точечных потолочных светильника со степенью защиты IP-44 с светодиодными лампами 5Вт;
- для освещения входа, террасы и лоджии выбраны одноламповые потолочные светильники со степенью защиты IP-44 и климатического исполнения УХЛ2 с светодиодными лампами 10Вт;
- для освещения котельной выбран один потолочный светильник со степенью защиты IP-44 с двумя люминесцентными лампами мощностью 15Вт

Управление освещением коттеджей и нежилых помещений - местное, осуществляется однополюсными выключателями и переключателями, установленными в помещениях со стороны дверных ручек.

Высота установки светильников, выключателей и переключателей указана на чертежах (лист 2 графической части).

2.1.2 Электротехническая часть

Для питания светильников коттеджей предусматриваются групповые сети. Групповая сеть - это сеть от щитков до светильников, штепсельных розеток и других электроприемников.

Групповые линии освещения могут быть одно-, двух- и трехфазными в зависимости от их протяженности и числа присоединенных светильников. Однофазные групповые линии следует выполнять трехпроводными, двухфазные - четырехпроводными и трехфазные - пятипроводными с отдельным N- и РЕ-проводниками.

Прокладку групповой сети следует, как правило, выполнять скрытой, установленной в каналах, пустотах строительных конструкций, в пластмассовых или стальных трубах.

На основании всего вышеизложенного, в работе были приняты следующие решения:

- горизонтальные участки кабелей групповых сетей прокладывать по стенам скрыто под слоем ГК (штукатурки), по потолку - в гофрированных ПВХ трубах, прикрепленных к потолку при помощи пластиковой скобы 16мм через каждые 1-1,2м.

- вертикальные участки кабелей групповой сети прокладывать скрыто под слоем ГК (штукатурки), - в гофрированных ПВХ трубах, прикрепленных к стенам при помощи пластиковой скобы 16мм через каждые 1-1,2м.

- крепление кабельных линий к стенам осуществить при помощи дюпель-хомута 5-10мм через каждые 0,3-0,5м.

Напряжение рабочего освещения 220В.

В коттедже предусмотрена установка встраиваемых розеток, а также предусмотрены спуски кабеля с потолка и выходы из пола для подключения стационарного электрооборудования. В зоне ванных комнат, котельной и у входов/выходов предусмотрена установка встраиваемых розеток со степенью защиты не ниже IP-44. Розеточная сеть защищена от токов утечки установкой дифференциальных автоматов на ток утечки 30мА.

Высота установки розеток указана на чертежах (лист 3 графической части).

Система питания - трехпроводная с защитным (РЕ) и нулевым (N) проводниками.

Щит учетно-распределительный (ЩР-Д) устанавливается в нишу стены на высоте 1,6м от уровня пола, а распределительный (ЩР-Кот) - на стену на высоте 1,6м от уровня пола.

2.1.3 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок производим на основании технического задания (таблица 1). Для этого составляется сводная ведомость нагрузок (таблица 3) по коттеджу с учетом коэффициентов спроса K_c , использования $K_{и}$, и мощности $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$.

Под *коэффициентом спроса* по нагрузке понимается отношение расчетной электрической нагрузки к номинальной (установленной) мощности электроприемников:

$$K_c = P_p / P_y , \quad (1)$$

где P_p - расчетная электрическая нагрузка, кВт (30-мин максимум);

P_y - установленная мощность электроприемников, кВт.

Под *коэффициентом использования* активной мощности одного или группы электроприемников понимается отношение фактически потребляемой мощности P к номинальной мощности P_H :

$$K_H = P / P_H. \quad (2)$$

Расчетная активная мощность (кВт) каждого электроприемника определяется по формуле:

$$P_p = P_y \cdot K_C. \quad (3)$$

Расчетная реактивная мощность (квар) каждого электроприемника определяется по формуле:

$$Q = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

Полная мощность (кВА) каждого электроприемника определяется по формуле:

$$S = P_p / \cos \varphi. \quad (5)$$

Так как все электроприёмники (кроме электрического котла) однофазные, а питающая сеть трехфазная, то расчетный ток (А) для каждого электроприёмника определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi}. \quad (6)$$

Величина максимального расчетного тока (А) для каждого электроприёмника определяется по формуле:

$$I_{p.\max} = \frac{P_y}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{P_y}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi}. \quad (7)$$

Для группы электроприёмников:

- коэффициент спроса

$$K_C = \frac{\Sigma P_p}{\Sigma P_y}; \quad (8)$$

- коэффициенты мощности

$$\cos \varphi = \frac{\Sigma P_p}{\Sigma S}; \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos \varphi). \quad (10)$$

Таблица 3 – Сводная ведомость нагрузок по коттеджу

Обозначение	Потребители электроэнергии	Число фаз	Установленная (номинальная) мощность P_y , кВт	Расчетные коэффициенты			Расчетная мощность			Расчетный ток	
				спроса K_C	мощности		активная, P_p , кВт	реактивная, Q , квар	полная, S , кВА	I_p , А	$I_{p,max}$, А
					$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$					
	ЩР-Кот										
QF1	Электрический котел	3	9	0,8	0,95	0,33	7,2	2,38	7,58	11,53	14,41
QF2	Газовый котел	1	0,12	0,8	0,9	0,48	0,1	0,05	0,11	0,17	0,20
QF3	Розетки насосов	1	2,0	0,8	0,75	0,88	1,6	1,41	2,13	3,25	4,06
QF4	Наружное освещение (терраса)	1	0,06	0,6	1,0	0	0,04	0	0,04	0,06	0,09
	ИТОГО по ЩР-Кот	-	11,18	0,8	0,91	0,46	8,94	3,84	9,86	15,01	18,76
	ЩР-Д										
QF1	ЩР-Кот.	3	11,18	0,8	0,91	0,46	8,94	3,84	9,86	15,01	18,76
QF2	Освещение 1 этаж	1	2,38	1,0	1,0	0	2,38	0	2,38	3,62	3,62
QF3	Освещение 2 этаж	1	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0	1,2	1,83	1,83
QF4	Розетка духового шкафа	1	2,2	0,5	0,95	0,33	1,1	0,36	1,16	1,76	3,52
QSF5	Розетки кухни	1	2,0	0,5	0,85	0,62	1,0	0,62	1,18	1,79	3,58
QSF6	Розетка посудомоечной машины	1	2,2	0,5	0,8	0,75	1,1	0,83	1,38	2,09	4,18
QSF7	Розетки 1 этаж	1	2,0	0,6	0,85	0,62	1,2	0,74	1,41	2,15	3,58
QSF8	Розетки 2 этаж	1	1,9	0,6	0,85	0,62	1,14	0,71	1,34	2,04	3,40
QSF9	Розетки вход/выход	1	1,0	0,5	0,85	0,62	0,5	0,31	0,59	0,89	1,79
QSF10	Розетка стиральной машины (ванная 2 этаж)	1	1,6	0,5	0,8	0,75	0,8	0,6	1,0	1,52	3,04
QF11	Вентиляторы	1	1,0	0,5	0,8	0,75	0,5	0,38	0,63	0,95	1,90
	ИТОГО по ЩР-Д	-	28,66	0,69	0,90	0,48	19,86	8,39	22,13	33,65	49,20

2.1.4 Общие принципы выбора проводов и кабелей

Проектирование электропроводок заключается в выборе типа используемого провода или кабеля и сечения токопроводящего проводника, а также способов их прокладки. В пределах коттеджей используются, как правило, изолированные провода и кабели с медными жилами напряжением до 1000В.

Типы проводов или кабелей определяют:

- вид изоляции токоведущих жил (резиновая, поливинилхлоридная, полиэтиленовая и пр.);
- наличие общих оболочки и оплетки;
- горючесть изоляционного материала провода или кабеля;
- материал токоведущих жил (медь, алюминий);
- гибкость материала токоведущей жилы;
- конструктивное выполнение (круглый, плоский, самонесущий и др.);
- специальное назначение (например: для водопогружных насосов; повышенной термической стойкости и др.);
- напряжение (220, 380, 660 и 1000В);
- число токоведущих жил.

Выбор типа провода или кабеля зависит от следующих факторов:

- от предполагаемого места прокладки и способа монтажа (в земле, в воздухе, в трубах, в коробах, на лотках и кронштейнах, открыто без крепления, открыто на изоляторах, скрыто);
- от категории помещений (сухие, влажные, сырые, особо сырые, особо сырые с химически активной средой);
- от влияния внешних воздействий (температура окружающей среды; наличие воды, пыли, коррозионно-активных и загрязняющих веществ; механические внешние воздействия; наличие флоры и фауны; солнечное излучение; конструкция здания);
- от уровня напряжения питающей сети.

Выбранные проводники и защищающие их устройства должны удовлетворять следующим условиям:

- проводить, не перегреваясь, расчетный ток нагрузки, а также выдерживать кратковременные перегрузки;
- падение напряжения в проводнике не должно превышать нормированных значений;
- защитные устройства (автоматические выключатели, предохранители) должны защищать проводники от перегрузки и коротких замыканий.

2.1.5 Выбор сечения токопроводящих жил и марок кабелей

В ПУЭ [23, пп. 7.1.34, 7.1.36] для внутренних электропроводок коттеджей предписывается использование проводов и кабелей с медными жилами, выполненными по трех- либо пяти проводной системе. В соответствии с этим, а также с учетом рекомендаций технической коллекции Schneider Electric [29, стр. 91, табл. 5.15] для внутренней электропроводки коттеджа выбираем:

- для трёхфазных электроприёмников – кабель марки ВВГнгLS с пятью медными жилами, характеризующийся по изоляции как «винил-винил-голый», нг – пониженной горючести; LS – при попадании в открытый огонь выделяет в атмосферу малую концентрацию отравляющих веществ от плавления изоляции.

- для однофазных электроприёмников – кабель марки ВВГнг-LS-П с тремя медными жилами, характеристики по изоляции – те же, что у ВВГнг-LS, «П» - плоский.

Для внешнего электроснабжения коттеджа, осуществляемого от щита ЩН, установленного на опоре 0,4 кВ, учитывая прокладку в земле, в соответствии с рекомендациями Шеховцова [31, табл. 3.1.2], выбираем кабель с медными жилами марки ВББШв.

При прокладке внутри коттеджа сечение выбирается по максимальному расчетному току нагрузки:

$$I_{д.н} \geq I_{р.маx}, \quad (11)$$

где $I_{д.н}$ - допустимый номинальный ток нагрузки проводника при расчетной температуре, А (для отечественных кабелей $+25^{\circ}\text{C}$);

$I_{р.маx}$ - максимальный расчетный ток нагрузки, А.

В реальных условиях при прокладке внутри коттеджа допустимый ток проводника зависит от:

- температуры окружающей среды;
- способа прокладки;
- взаимного влияния проложенных рядом электрических цепей.

Учет каждого из этих факторов производится с помощью коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 , определяющих их влияние на величину допустимого тока, откуда формула для расчета тока нагрузки проводника принимает вид:

$$I_{д.н} \geq \frac{I_{р.маx}}{K_1 K_2 K_3}, \quad (12)$$

где K_1 - учитывает влияние температуры окружающей среды отличной от $+25^{\circ}\text{C}$, в зависимости от типа изоляции;

K_2 - учитывает влияние способа прокладки;

K_3 - учитывает взаимное влияние проложенных рядом кабелей

При выборе сечения жил кабеля, прокладываемого в земле, формула для расчета тока нагрузки проводника:

$$I_{д.н} \geq \frac{I_{р.маx}}{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4}, \quad (13)$$

где β_1 - коэффициент, учитывающий температуру почвы, отличную от $+20^{\circ}\text{C}$;

β_2 - коэффициент, учитывающий влияние способа прокладки;

β_3 - коэффициент, учитывающий взаимное влияние проложенных рядом кабелей (расстояние между кабелями менее двух диаметров большего из двух кабелей);

β_4 – коэффициент, учитывающий влияние свойств и состояния почвы, определяющих ее теплопроводность.

Производим выбор сечения проводников. Для этого принимаем температуру окружающей среды в котельной $t_{o.c}=+40^{\circ}\text{C}$, температуру окружающей среды в коттедже $t_{o.c}=+25^{\circ}\text{C}$, температуру почвы $t_{п}=+15^{\circ}\text{C}$.

Производим выбор коэффициентов:

- для кабелей в поливинилхлоридной изоляции при $t_{o.c}=+40^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 0,79$ [29, стр. 81, табл. 5.3], а при $t_{o.c}=+25^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 1,0$ [29, стр. 81, табл. 5.3];

- для кабелей в трубах, проложенных в термоизолирующем материале (штукатурке) $K_2 = 0,77$ [29, стр. 81];

- для одного кабеля, проложен в стене $K_3 = 1,0$ [29, стр. 81, табл. 5.4];

- для двух кабелей, проложен в стене $K_3 = 0,8$ [29, стр. 81, табл. 5.4].

- для кабелей в поливинилхлоридной изоляции при температуре почвы $t_{п}=+15^{\circ}\text{C}$ $\beta_1 = 1,05$ [29, стр. 83, табл. 5.5];

- для кабелей, непосредственно проложенных в земле $\beta_2 = 1,0$ [29, стр. 83];

- для одного кабеля, замоноличен в один слой $\beta_3 = 1,0$ [29, стр. 83];

- для очень сухой почвы проложен $\beta_4 = 0,86$ [29, стр. 84].

С учетом выбранных коэффициентов формулы для расчета токов нагрузки проводников принимают вид:

- для проводников котельной

$$I_{д.н} \geq \frac{I_{р.маx}}{0,79 \cdot 0,77 \cdot 1,0}; \quad (14)$$

- для проводников коттеджа

$$I_{д.н} \geq \frac{I_{р.маx}}{1,0 \cdot 0,77 \cdot 0,8}; \quad (15)$$

- для кабеля внешнего электроснабжения

$$I_{д.н} \geq \frac{I_{р.маx}}{1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,86}. \quad (16)$$

Произведем расчет и выбор проводников по полученным формулам. Максимальный расчетный ток нагрузки $I_{р.маx}$ определяем по таблице 3.

Сечения проводников определяем по ПУЭ [23, таблицы 1.3.4, 1.3.6].
 Результаты расчетов и выбор проводников сведём в таблицу 4.

Таблица 4 - Выбор проводников

Обозначение	Потребители электроэнергии	I _{д.н.} , А	Марка кабеля, кол-во и сечение жил, мм ²	I _{доп.} , А
ЩР-Кот				
QF1	Электрический котел	23,69	ВВГнг-LS 5x4	27
QF2	Газовый котел	0,33	ВВГнг-LS 3x1,5	15
QF3	Розетки насосов	6,67	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QF4	Наружное освещение (терраса)	0,15	ВВГнг-LS 3x1,5	15
ЩР-Д				
QF1	ЩР-Кот.	30,45	ВВГнг-LS 5x6	34
QF2	Освещение 1 этаж	5,88	ВВГнг-LS 3x1,5	15
QF3	Освещение 2 этаж	2,97	ВВГнг-LS 3x1,5	15
QF4	Розетка духового шкафа	5,71	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QSF5	Розетки кухни	5,81	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QSF6	Розетка посудомоечной машины	6,79	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QSF7	Розетки 1 этаж	5,81	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QSF8	Розетки 2 этаж	5,52	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QSF9	Розетки вход/выход	2,91	ВВГнг-LS 3x1,5	15
QSF10	Розетка стиральной машины (ванная 2 этаж)	4,94	ВВГнг-LS 3x2,5	21
QF11	Вентиляторы	3,08	ВВГнг-LS 3x1,5	15
QF12	Розетка в щите	---	ВВГнг-LS 3x2,5	21
ЩН				
QF-Н	ЩР-Д	54,49	ВББШв 4x6	60

2.1.6 Проверка проводников по потере напряжения

Проверка выбранных проводников по потере напряжения из условия обеспечения необходимых (регламентированных стандартами) уровней напряжения у самых удаленных от источника питания потребителей осуществляется следующим образом.

Выполняется расчет потери напряжения (%) по формулам:

- для однофазной сети:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_{p.\max} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \cdot 100}{U_n}, \quad (17)$$

- для симметричной трёхфазной сети:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p.\max} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \cdot 100}{U_n}, \quad (18)$$

где ΔU - потеря напряжения, % от номинального;

$I_{p.\max}$ - максимальный расчетный ток нагрузки, А;

R - активное сопротивление проводника, Ом;

X - индуктивное сопротивление проводника, Ом;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки;

U_n - номинальное напряжение, В (220В - однофазной сети, 380В - симметричной трехфазной сети).

Без учета индуктивного сопротивления линии на потерю напряжения, как правило, рассчитываются:

- сети постоянного тока;

- линии сети переменного тока, для которых коэффициент мощности $\cos \varphi = 1$;

- сети, выполненные проводами внутри коттеджей или кабелями, если их сечения не превосходят 25мм^2 [29, стр. 85, табл. 5.6].

Таким образом, индуктивным сопротивлением проводников сечением менее 25мм^2 можно пренебречь, т.е. $X \approx 0$, откуда формулы для расчета потерь напряжения принимают вид:

- для однофазной сети

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_{p.\max} \cdot R \cdot \cos \varphi \cdot 100}{U_n}, \quad (19)$$

- для симметричной трёхфазной сети

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{p.\max} \cdot R \cdot \cos \varphi \cdot 100}{U_n}. \quad (20)$$

Активное сопротивление проводников (Ом) определяется по формуле

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}; \quad (21)$$

где ρ - удельное сопротивление проводника, Ом·мм²/м,

для медных проводников $\rho_m = 0,0189$ Ом·мм²/м [29, стр. 85];

l - длина проводника, м;

S - сечение проводника, мм²

Далее рассчитанные потери напряжения сравниваются с допустимыми потерями напряжения по условию:

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп.}}, \quad (22)$$

где $\Delta U_{\text{доп.}}$ - допустимые потери напряжения, %

Для двигателей и аппаратов управления нормально допустимое отклонение напряжения составляет $\pm 5\%$, предельно допустимое - $\pm 10\%$; для источников света нормально допустимое отклонение напряжения составляет $\pm 5\%$ [29, стр. 86, табл. 5.9].

Производим расчет потерь напряжения в выбранных проводниках, данные заносим в таблицу 5.

Таблица 5 - Потери напряжения в линиях

Обозначение	Потребители электроэнергии	Марка кабеля	Длина l , м	Активное сопротивление R , Ом	Отклонение напряжения ΔU , %		Соответствие условию $\Delta U < \Delta U_{\text{доп.}}$
					Расчетное ΔU	Нормально допустимое $\Delta U_{\text{доп.}}$	
ЦН							
QF-Н	ЩР-Д	ВБбШв 4x6	10	0,0316	0,64	5	Соотв.
	ЩР-Д						
QF1	ЩР-Кот.	ВВГнг-LS 5x6	20	0,0632	0,49	5	Соотв.
QF2	Освещение 1 этаж	ВВГнг-LS 3x1,5	100	1,26	4,15	5	Соотв.
QF3	Освещение 2 этаж	ВВГнг-LS 3x1,5	50	0,63	1,05	5	Соотв.
QF4	Розетка духового шкафа	ВВГнг-LS 3x2,5	10	0,0755	0,23	5	Соотв.
QSF5	Розетки кухни	ВВГнг-LS 3x2,5	20	0,151	0,42	5	Соотв.
QSF6	Розетка посудомоечной машины	ВВГнг-LS 3x2,5	15	0,113	0,34	5	Соотв.
QSF7	Розетки 1 этаж	ВВГнг-LS 3x2,5	60	0,453	1,25	5	Соотв.
QSF8	Розетки 2 этаж	ВВГнг-LS 3x2,5	60	0,453	1,19	5	Соотв.
QSF9	Розетки вход/выход	ВВГнг-LS 3x1,5	20	0,252	0,35	5	Соотв.
QSF10	Розетка стиральной машины (ванная 2 этаж)	ВВГнг-LS 3x2,5	25	0,189	0,42	5	Соотв.

Окончание таблицы

Обозначение	Потребители электроэнергии	Марка кабеля	Длина l , м	Активное сопротивление R , Ом	Отклонение напряжения ΔU , %		Соответствие условию $\Delta U < \Delta U_{\text{доп}}$
					Расчетное ΔU	Нормально допустимое $\Delta U_{\text{доп}}$	
QF11	Вентиляторы	ВВГнг-LS 3x1,5	60	0,756	0,55	5	Соотв.
QF12	Розетка в щите	ВВГнг-LS 3x2,5	1	0,008	0,01	5	Соотв.
	ЩР-Кот						
QF1	Электрический котел	ВВГнг-LS 5x4	10	0,0465	0,29	5	Соотв.
QF2	Газовый котел	ВВГнг-LS 3x1,5	5	0,063	0,02	5	Соотв.
QF3	Розетки насосов	ВВГнг-LS 3x2,5	15	0,113	0,31	5	Соотв.
QF4	Наружное освещение	ВВГнг-LS 3x1,5	10	0,126	0,01	5	Соотв.

2.1.7 Общие принципы выбора защитной аппаратуры

Любое электрооборудование должна быть защищена устройствами автоматического отключения в случае появления сверхтоков или недопустимых токов утечки. Под сверхтоком понимается любой ток, превышающий номинальный. Обычно сверхтоки появляются при перегрузки или короткого замыкания в электроустановках.

В качестве защитной аппаратуры автоматического отключения применяются плавкие предохранители, автоматические выключатели и дифференциальные автоматические выключатели.

Учитывая, что электрооборудование коттеджа повышенной комфортности и коттеджей в последние годы оснащаются в основном автоматическими выключателями и дифференциальными автоматическими выключателями, рассматриваем только этот вид защитной аппаратуры.

Для выполнения защитных функций автоматические выключатели оснащаются разными тепло расцепителями.

В автоматических выключателях бытового назначения применяются: максимальный тепло расцепитель тока, максимальный тепло расцепитель с

обратнозависимой выдержкой времени, максимальный расцепитель тока прямого действия и тепловой расцепитель перегрузки.

В соответствии с СПЗ1-110-2003 [27] во внутренних сетях коттеджей, как правило, следует применять автоматические выключатели с *комбинированными тепловыми расцепителями*.

В бытовом электрооборудовании в целях защиты от сверхтоков используются, как правило, автоматические выключатели, выпускаемые по ГОСТ Р 50345-2010 [9].

Стандарт формирует три типа характеристик мгновенного расцепления (таблица 6): В, С и D. Ниже приведены диапазоны мгновенного расцепления выключателя в зависимости от кратности сверхтока по отношению к номинальному току I_n :

Таблица 6 – Типы защитной характеристики.

Тип защитной характеристики В	Диапазон Свыше $3 I_n$ до $5 I_n$ включительно
С	Свыше $5 I_n$ до $10 I_n$ включительно
D	Свыше $10 I_n$ до $14 I_n$ включительно

В электрооборудовании коттеджа в основном используются автоматические выключатели с характеристиками типов В и С. При выборе автоматического выключателя необходимо учитывать предполагаемую температуру окружающей среды в месте его установки.

2.1.8 Расчет и выбор аппаратов защиты

Все защитные устройства, защищающее кабель от перегрузки, должны отвечать условию:

$$I_{н.з} \geq I_{д.н}, \quad (23)$$

где $I_{д.н}$ - допустимый номинальный ток нагрузки проводника, А;

$I_{н.з}$ - номинальный ток устройства защиты, А.

Так как в проектируемом коттедже в качестве устройств защиты приняты автоматические и дифференциальные автоматические выключатели, то условие принимает вид:

$$I_{н.а} \geq I_{д.н}, \quad (24)$$

где $I_{н.а}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А.

В каталогах приводится номинальный ток выключателя для температуры окружающей среды $+30^{\circ}\text{C}$. Повышение температуры сверх 30°C приводит к преждевременному срабатыванию терморасцепителя, так как его температура достигает уровня срабатывания при меньших значениях тока. Выбор автоматических выключателей в тех случаях, когда температура окружающей среды больше или меньше 30°C , производится с использованием температурного коэффициента K_t по формуле:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \cdot K_t \geq I_{д.н}, \quad (25)$$

$$I_{н.а} \geq \frac{I_{д.н}}{K_t}, \quad (26)$$

где $I_{н.р}$ - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А;

K_t - температурный коэффициент

Для выключателей электробытового назначения предполагаемые значения величины K_t в зависимости от температуры окружающей среды в месте установки приняты по [29, стр. 66] и приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Значения температурного коэффициента K_t

$t_{о.с}, ^{\circ}\text{C}$	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

Принятые к установке автоматические выключатели электробытового назначения являются модульного исполнения, т.е. устанавливаются в щитах рядом друг с другом на DIN-рейках (1 графической части). Вследствие этого для расчетов вместо величины K_t следует использовать величину $0,8 K_t$ [29, стр. 66], откуда формула выбора автоматического выключателя принимает вид:

$$I_{н.а} \geq \frac{I_{д.н}}{0,8 \cdot K_t}. \quad (27)$$

Делаем расчет и выбор автоматических выключателей. Данные по номинальным допустимым токам проводников берем из таблицы 4. Температура окружающей среды в котельной $t_{o.c}=+40^{\circ}\text{C}$, температура окружающей среды в коттедже $t_{o.c}=+25^{\circ}\text{C}$ (расчеты п.4.2). Выбор автоматических выключателей производим по каталогу [34, www.iek.ru/products/catalog] и сводим в таблицу 8.

В качестве примера делаем расчет вводного автоматического выключателя QS1 для щита котельной ЩР-Кот.

$$I_{н.а} \geq \frac{I_{д.н}}{0,8 \cdot K_t} = \frac{30,45}{0,8 \cdot 0,95} = 40 \text{ A} . \quad (28)$$

Выбираем по каталогу автоматический выключатель ВА47-29 3Р, характеристика «С», номинальный ток 40А.

По такому же принципу выбираются остальные автоматические выключатели щита ЩР-Кот и щита дома ЩР-Д.

Таблица 8 - Выбор автоматических выключателей

Обозначение	Наименование АВ	Номинальный ток, А	Характеристика срабатывания расцепителя	Диапазон срабатывания расцепителя
ЩР-Кот				
QS1	ВА47-29 3Р	40	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF1	ВА47-29 3Р	32	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF2	ВА47-29 1Р	1	В	$3 I_H - 5 I_H$
QF3	ВА47-29 1Р	10	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF4	ВА47-29 1Р	1	В	$3 I_H - 5 I_H$
ЩР-Д				
QS1	ВА47-100 3Р	80	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF1	ВА47-29 3Р	40	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF2	ВА47-29 1Р	10	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF3	ВА47-29 1Р	6	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF4	ВА47-29 1Р	16	С	$5 I_H - 10 I_H$
QSF5	АВДТ32 2Р 1+N	16	С	$5 I_H - 10 I_H$
QSF6	АВДТ32 2Р 1+N	16	С	$5 I_H - 10 I_H$
QSF7	АВДТ32 2Р 1+N	16	С	$5 I_H - 10 I_H$
QSF8	АВДТ32 2Р 1+N	16	С	$5 I_H - 10 I_H$
QSF9	АВДТ32 2Р 1+N	6	С	$5 I_H - 10 I_H$
QSF10	АВДТ32 2Р 1+N	16	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF11	ВА47-29 1Р	10	С	$5 I_H - 10 I_H$
QF12	ВА47-29 1Р	10	С	$5 I_H - 10 I_H$
ЩН				
QF-Н	ВА47-100 3Р	100	С	$5 I_H - 10 I_H$

Автоматический выключатель QF-Н, установленный на опоре 0,4 кВ в щите нагрузки ЩН, выбран с учетом селективности срабатывания защиты.

Селективность характеризуется предельным током. Предельный ток селективности - это предельное значение тока, ниже которого при наличии двух последовательно соединенных аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки успевает завершить процесс отключения до того, как его начнет второй аппарат, установленный со стороны питания.

2.1.9 Расчет аппаратуры и линии внешнего электроснабжения

Для расчета токов короткого замыкания необходимо определить тип трансформатора, установленного на ТП 10/0,4, автоматический выключатель, установленный на секцию шин НН на ТП, автоматический выключатель, установленный на линию, питающую группу домов поселка, где находится проектируемый коттедж, а также определить сечение воздушной ЛЭП.

Для расчетов возьмем: количество коттеджей поселка, получающих электроснабжение по воздушной ЛЭП – 5 (рисунок 3), удельная электрическая нагрузка проектируемого коттеджа $P_p = 19,86\text{кВт}$, удельную электрическую нагрузку для остальных домов принимаем $P_p = 11,5\text{кВт}$ [29, стр. 18, табл. 2.2]. Коэффициенты мощности для каждого коттеджа $\cos\varphi = 0,9$ ($\text{tg}\varphi = 0,48$).

Определяем мощность в воздушной ЛЭП:

$$P_{\text{ВЛ}} = \Sigma P_p = 19,86 + 4 \cdot 11,5 = 65,86\text{кВт}, \quad (29)$$

$$Q_{\text{ВЛ}} = \Sigma P_p \cdot \text{tg}\varphi = 65,86 \cdot 0,48 = 31,61\text{квар}, \quad (30)$$

$$S_{\text{ВЛ}} = \sqrt{P_{\text{ВЛ}}^2 + Q_{\text{ВЛ}}^2} = \sqrt{65,86^2 + 31,61^2} = 73\text{кВА}, \quad (31)$$

Определяем ток в воздушной ЛЭП:

$$I_{\text{ВЛ}} = \frac{S_{\text{ВЛ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}}} = \frac{73}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 111\text{А}. \quad (32)$$

Так как электроснабжение группы коттеджей посёлка осуществляется по воздушной ЛЭП проводом марки СИП, то на основании расчета с учетом увеличения электрической нагрузки для каждого коттеджа по каталогу [37, www.forca.ru] выбираем линию СИП-4 с четырьмя несущими жилами сечением 50 кв.мм, т.е. СИП-4 4x50, допустимый ток линии $I_{\text{доп.}} = 140\text{А}$, материал жил

провода – алюминий, ток термической стойкости (односекундный) $I_{т.ст.} = 3,2кА$.

Определяем тип трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 для электроснабжения данных пяти коттеджей посёлка. Для этого определяем потери мощности в трансформаторе по формулам из В.П. Шеховцова [30, стр. 23]:

$$\Delta P_{mp} = 0,02 \cdot S_{вЛ} = 0,02 \cdot 73 = 1,46кВт, \quad (33)$$

$$\Delta Q_{mp} = 0,1 \cdot S_{вЛ} = 0,1 \cdot 73 = 7,3квар, \quad (34)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P_{mp}^2 + \Delta Q_{mp}^2} = \sqrt{1,46^2 + 7,3^2} = 7,44кВА, \quad (35)$$

Определяем мощность трансформатора:

$$S = S_{вЛ} + \Delta S = 73 + 7,44 = 80,44кВА. \quad (36)$$

На определении расчетов с учетом увеличения электрической нагрузки для каждого коттеджа принимаем для данных коттеджей к установке на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 трансформатор ТМ-160/10/0,4 мощностью $S = 160кВА$.

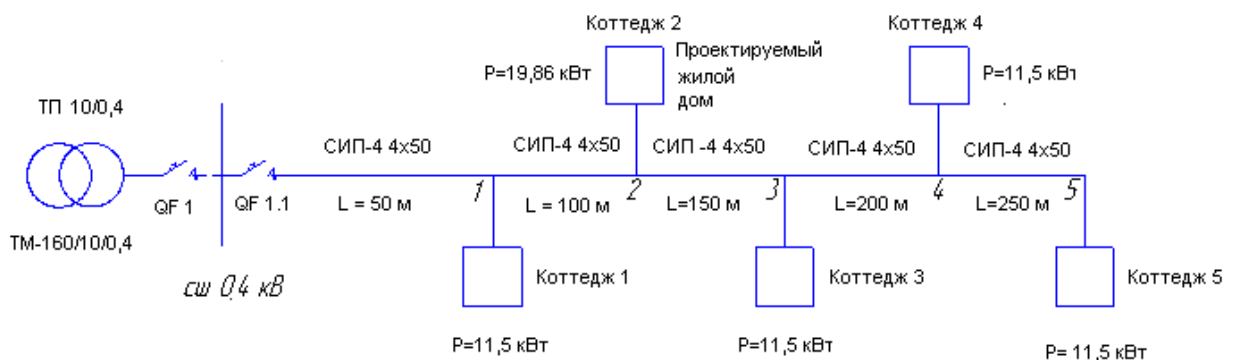


Рисунок 3 - Схема электроснабжения группы домов посёлка

Определим выбор автоматического выключателя QF1 на секцию шин НН ТП-10/0,4 (рисунок 3)

$$I_{QF1} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 231,2А. \quad (37)$$

Берем по Шеховцову [30, табл. А.6] автоматический выключатель ВА52-35-3, $I_{н.а} = 250А$, $I_{расц.} = 250А$, $K_{у(тр)} = 1,25$, $K_{у(эмр)} = 12$, $I_{откл.} = 30кА$.

Определяем выбор автоматического выключателя QF1.1 на линию, питающую группу коттеджей посёлка (рисунок 3). Как было рассчитано выше, ток в воздушной ЛЭП составляет $I_{ВЛ} = 111\text{А}$, с учетом увеличения нагрузки для каждого коттеджа по [30, табл. А.6] выбираем автоматический выключатель ВА52-33-3, $I_{н.а} = 160\text{А}$, $I_{расц.} = 125\text{А}$, $K_{у(тр)} = 1,25$, $K_{у(эмр)} = 10$, $I_{откл.} = 35\text{кА}$.

2.1.10 Расчёт токов трёхфазного короткого замыкания

Под трехфазным КЗ подразумевается короткое замыкание между тремя фазами в электрической системе.

Расчет токов трехфазного КЗ заключается в определении:

- начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ;
- апериодической составляющей тока КЗ;
- ударного тока КЗ.

Для расчёта токов короткого замыкания составляем расчетную схему (рисунок 4) и определяем точки КЗ: K_1 – секция шин НН ТП, K_2 – щит ЩН на опоре 0,4 кВ, K_3 – щит дома ЩР-Д.

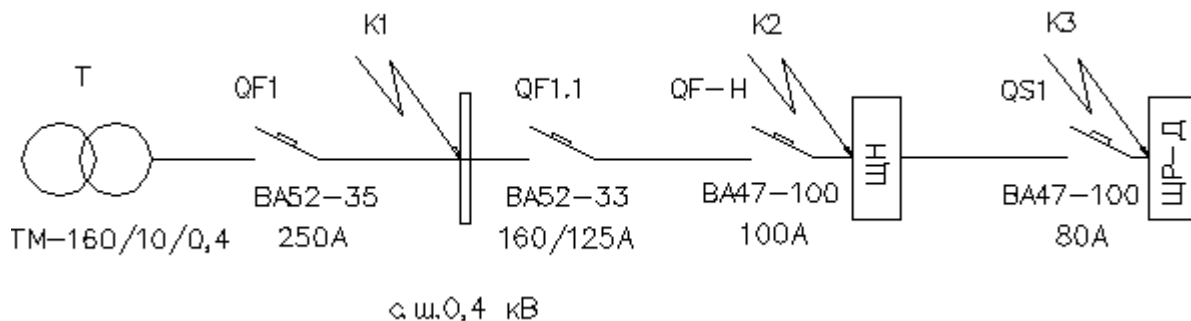


Рисунок 4 - Расчетная схема электроснабжения

На базе расчетной схемы (рисунок 4) составляем эквивалентную схему замещения (рисунок 5)

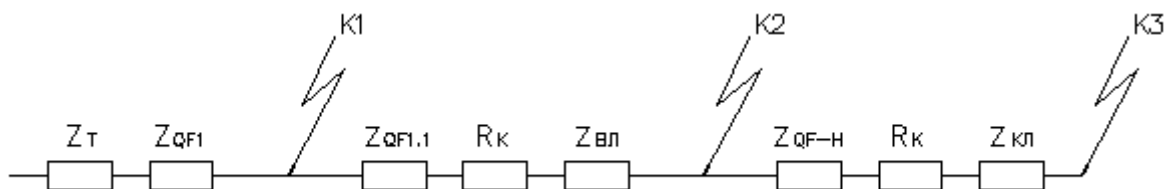


Рисунок 5 - Эквивалентная схема замещения электроснабжения

Определение сопротивлений схемы замещения

Сопротивление трансформатора ТМ-160/10/0,4 [31, табл. 5.1.1]

$$R_T = 16,6 \text{ мОм}; X_T = 41,7 \text{ мОм}; Z_T = 45 \text{ мОм}; Z_T^{(1)} = 486 \text{ мОм},$$

Переходное сопротивление электрических контактов [2, п.2.5]

$$R_K = 0,1 \text{ мОм},$$

Сопротивление автоматических выключателей [29, табл. 2.18]

$$QF1 - 250 \text{ А}; R_{QF1} = 0,99 \text{ мОм}; X_{QF1} = 0,42 \text{ мОм},$$

$$Z_{QF1} = \sqrt{R_{QF1}^2 + X_{QF1}^2} = 1,08 \text{ мОм}, \quad (38)$$

$$QF1.1 - 125 \text{ А}; R_{QF1.1} = 1,72 \text{ мОм}; X_{QF1.1} = 0,97 \text{ мОм},$$

$$Z_{QF1.1} = \sqrt{R_{QF1.1}^2 + X_{QF1.1}^2} = 1,97 \text{ мОм}, \quad (39)$$

$$QFH - 100 \text{ А}; R_{QF-H} = 2,15 \text{ мОм}; X_{QF-H} = 1,2 \text{ мОм},$$

$$Z_{QF-H} = \sqrt{R_{QF-H}^2 + X_{QF-H}^2} = 2,46 \text{ мОм}. \quad (40)$$

Сопротивление ВЛ-0,4 кВ СИП-4 4x50 [29, табл. 2.15], материал жил – алюминий, способ прокладки – открытая, длина $l = 100 \text{ м}$

$$r_0 = 0,67 \text{ мОм/м},$$

$$R_{ВЛ} = r_0 \cdot l = 0,67 \cdot 100 = 67 \text{ мОм}, \quad (41)$$

$$x_0 = 0,25 \text{ мОм/м},$$

$$X_{ВЛ} = x_0 \cdot l = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ мОм}, \quad (42)$$

где r_0 и x_0 - удельные активное и индуктивное сопротивления проводов ВЛ

Сопротивление КЛ-0,4 кВ ВББШв 4x6 [29, табл. 2.14], материал жил – медь, броня из двух стальных лент, способ прокладки – в земле, длина $l = 10 \text{ м}$

$$r_0 = 3,54 \text{ мОм/м},$$

$$R_{KL} = r_0 \cdot l = 3,54 \cdot 10 = 35,4 \text{ мОм}, \quad (43)$$

$$x_0 = 0,1 \text{ мОм} / \text{м},$$

$$X_{KL} = x_0 \cdot l = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мОм}, \quad (44)$$

где r_0 и x_0 - удельные активное и индуктивное сопротивления жил КЛ

а) Определение сопротивлений и расчёт токов КЗ в точке K_1

1) Активное сопротивление в точке K_1 :

$$R_{K1} = R_T + R_{QF1} = 16,6 + 0,99 = 17,59 \text{ мОм}. \quad (45)$$

2) Реактивное сопротивление в точке K_1 :

$$X_{K1} = X_T + X_{QF1} = 41,7 + 0,42 = 42,12 \text{ мОм}. \quad (46)$$

3) Полное сопротивление в точке K_1 :

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{17,59^2 + 42,12^2} = 45,65 \text{ мОм}. \quad (47)$$

4) Отношение R_{K1} / X_{K1} :

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{17,59}{45,65} = 0,42. \quad (48)$$

5) Для расчёта ударного тока определяем ударный коэффициент [29, стр. 35, рис. 2.1] как функцию:

$$k_{y\partial.} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(0,42) = 1,25. \quad (49)$$

6) Исходное действующее значение периодической составляющей в точке K_1 выражаем по формуле [29, стр. 30]:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_K}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 45,65} = 5,06 \text{ кА}. \quad (50)$$

7) Аперiodическую составляющую тока КЗ в точке K_1 выражаем по формуле [29, стр. 34]:

$$I_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 5,06 = 7,16 \text{ кА}. \quad (51)$$

8) Ударный ток КЗ в точке K_1 выражаем в формуле [29, стр. 34]:

$$i_{y\partial.1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)} \cdot k_{y\partial.} = \sqrt{2} \cdot 5,06 \cdot 1,25 = 8,95 \text{ кА}. \quad (52)$$

б) Определение сопротивлений и расчёт токов КЗ в точке K_2

1) Активное сопротивление в точке K_2 :

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{QF1.1} + R_K + R_{BL} = 17,59 + 1,72 + 0,1 + 67 = 86,41 \text{ мОм} . \quad (53)$$

2) Реактивное сопротивление в точке K_2 :

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{QF1.1} + X_{BL} = 42,12 + 0,97 + 25 = 68,09 \text{ мОм} . \quad (54)$$

3) Полное сопротивление в точке K_2 :

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{86,41^2 + 68,09^2} = 110 \text{ мОм} . \quad (55)$$

4) Отношение X_{K2} / R_{K2} :

$$\frac{X_{K2}}{R_{K2}} = \frac{68,09}{86,41} = 0,8 . \quad (56)$$

5) Ударный коэффициент:

$$k_{y\partial.} = F\left(\frac{X_{K2}}{R_{K2}}\right) = F(0,8) \approx 1,07 . \quad (57)$$

6) Исходное значение периодической составляющей в точке K_2 :

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_K}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 2 \text{ кА} . \quad (58)$$

7) Аперiodическая составляющая тока КЗ в точке K_2 :

$$I_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 2 = 2,83 \text{ кА} . \quad (59)$$

8) Ударный ток КЗ в точке K_2 :

$$i_{y\partial.2} = \sqrt{2} \cdot I_{K2}^{(3)} \cdot k_{y\partial.} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot 1,07 = 3,03 \text{ кА} . \quad (60)$$

в) Определение сопротивлений и расчёт токов КЗ в точке K_3

1) Активное сопротивление в точке K_3 :

$$R_{K3} = R_{K2} + R_{QF-H} + R_K + R_{KL} = 86,41 + 2,15 + 0,1 + 35,4 = 124,06 \text{ мОм} . \quad (61)$$

2) Реактивное сопротивление в точке K_3 :

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{QF-H} + X_{KL} = 68,09 + 1,2 + 1 = 70,29 \text{ мОм} . \quad (62)$$

3) Полное сопротивление в точке K_3 :

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{124,06^2 + 70,29^2} = 142,6 \text{ мОм} . \quad (63)$$

4) Отношение X_{K3} / R_{K3} :

$$\frac{X_{K3}}{R_{K3}} = \frac{70,29}{124,06} = 0,57 . \quad (64)$$

5) Ударный коэффициент:

$$k_{y\partial.} = F\left(\frac{X_{K3}}{R_{K3}}\right) = F(0,57) \approx 1,0 . \quad (65)$$

6) Исходное значение периодической составляющей в точке K_3 :

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_K}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 142,6} = 1,54 \text{ кА} . \quad (66)$$

7) Аperiodическая составляющая тока КЗ в точке K_3 :

$$I_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,54 = 2,18 \text{ кА} . \quad (67)$$

8) Ударный ток КЗ в точке K_3 :

$$i_{y\partial.2} = \sqrt{2} \cdot I_{K3}^{(3)} \cdot k_{y\partial.} = \sqrt{2} \cdot 1,54 \cdot 1,0 = 2,18 \text{ кА} . \quad (68)$$

2.1.11 Расчет токов однофазного короткого замыкания

Под однофазным коротким замыканием предполагается короткое замыкание на землю силовых элементов в трехфазной электрической системе с глухо заземленной нейтралью, при котором с землей соединяется только одна фаза.

Расчет токов однофазных коротких замыканий в сетях до 1 кВ производится для обеспечения надежной работы защиты при минимальных значениях тока КЗ в конце защищаемой линии.

Расчетные точки однофазного КЗ совпадают с расчетными точками трехфазного КЗ.

По сопоставлению с расчетом токов трехфазных КЗ, расчет токов однофазных КЗ является более сложным, т.к. в этом случае помимо учета сопротивления в прямой цепи короткого замыкания (в фазе) необходим учет сопротивления и в обратной цепи (в цепи зануления).

Данные сопротивления учитываются величиной $Z_{\text{п}}$ – полным сопротивлением петли «фаза-нуль» до точки КЗ.

Так как расчетные точки однофазного КЗ совпадают с расчетными точками трехфазного КЗ, то расчет производим по схемам, представленным на рисунках 4, 5.

Определяем сопротивления схемы замещения

Сопротивление трансформатора, переходное сопротивление электрических контактов и сопротивление автоматических выключателей определены в п.6.1.

Сопротивление автоматических выключателей с учетом переходных сопротивлений электрических контактов:

$$R_{QF1.1}^1 = R_{QF1.1} + R_K = 1,72 + 0,1 = 1,82 \text{ мОм}, \quad (69)$$

$$Z_{QF1.1} = \sqrt{R_{QF1.1}^1{}^2 + X_{QF1.1}^2} = \sqrt{1,82^2 + 0,97^2} = 2,06 \text{ мОм}; \quad (70)$$

$$R_{QF-H}^1 = R_{QF-H} + R_K = 2,15 + 0,1 = 2,25 \text{ мОм}, \quad (71)$$

$$Z_{QF-H} = \sqrt{R_{QF-H}^1{}^2 + X_{QS-H}^2} = \sqrt{2,25^2 + 1,2^2} = 2,55 \text{ мОм}. \quad (72)$$

Сопротивление петли «фаза-нуль» ВЛ-0,4 кВ СИП-4 4x50 [29, табл. 2.17]:

$$z_{0нВЛ} = 1,44 \text{ мОм} / \text{м}, \quad (73)$$

$$Z_{нВЛ} = z_{0нВЛ} \cdot l = 1,44 \cdot 100 = 144 \text{ мОм}. \quad (74)$$

Сопротивление петли «фаза-нуль» КЛ-0,4 кВ ВББШв 4x6 [29, табл. 2.17]:

$$z_{0нКЛ} = 6,12 \text{ мОм} / \text{м}, \quad (75)$$

$$Z_{нКЛ} = z_{0нКЛ} \cdot l = 6,12 \cdot 10 = 61,2 \text{ мОм}. \quad (76)$$

а) Определение сопротивлений и расчёт токов КЗ в точке К₁

1) Сопротивление петли «фаза-нуль» в точке К₁:

$$Z_{П1} = Z_T + Z_{QF1} = 45 + 1,08 = 46,08 \text{ мОм}. \quad (77)$$

2) Ток однофазного КЗ в точке К₁ определяем по формуле [30, стр. 58]:

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_K}{Z_{П1} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{46,08 + \frac{486}{3}} = 1,11 \text{ кА}. \quad (78)$$

б) Определение сопротивлений и расчёт токов КЗ в точке К₂

1) Сопротивление петли «фаза-нуль» в точке К₂:

$$Z_{П2} = Z_{П1} + Z_{QF1.1} + Z_{нВЛ} = 46,08 + 2,06 + 144 = 192,14 \text{ мОм}. \quad (79)$$

2) Ток однофазного КЗ в точке К₂:

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_K}{Z_{П2} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{192,14 + \frac{486}{3}} = 0,62 \text{ кА} . \quad (80)$$

в) Определение сопротивлений и расчёт токов КЗ в точке К₃

1) Сопротивление петли «фаза-нуль» в точке К₃:

$$Z_{П3} = Z_{П2} + Z_{QF-H} + Z_{нкл} = 192,14 + 2,55 + 61,2 = 255,89 \text{ мОм} . \quad (81)$$

2) Ток однофазного КЗ в точке К₃

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_K}{Z_{П3} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{255,89 + \frac{486}{3}} = 0,53 \text{ кА} . \quad (82)$$

2.1.12 Проверка правильности выбора защитной аппаратуры

Подставим рассчитанные токи короткого замыкания в таблицу 9 и проверим правильность выбора автоматических выключателей.

Таблица 9 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	R _к , мОм	X _к , мОм	Z _к , мОм	k _{уд.}	I _к ⁽³⁾ , кА	i _{уд.} , кА	Z _п , мОм	I _к ⁽¹⁾ , кА
К1	17,59	42,12	45,65	1,25	5,06	8,95	46,08	1,11
К2	86,41	68,09	110	1,07	2	3,03	192,14	0,62
К3	124,06	70,29	142,6	1,0	1,54	2,18	255,89	0,53

Правильность выбора автоматических выключателей выполняем по условиям:

$$I_{откл.авт.} \geq I_K^{(3)} , \quad (83)$$

$$I_{откл.авт.} \geq i_{уд.} , \quad (84)$$

$$I_K^{(1)} \geq 3 \cdot I_{ном.расч.авт.} . \quad (85)$$

а) Автоматический выключатель QF1 ВА52-35-3:

$$I_{откл.(QF1)} = 30 \text{ кА} > I_{K1}^{(3)} = 5,06 \text{ кА} , \quad (86)$$

$$I_{откл.(QF1)} = 30кА > i_{уд.1} = 8,95кА, \quad (87)$$

$$I_{K1}^{(1)} = 1,11кА = 1110А > 3 \cdot I_{ном.расц.} = 3 \cdot 250 = 750А. \quad (88)$$

Автоматический выключатель выбран верно.

б) Автоматический выключатель QF1.1 ВА52-33-3:

$$I_{откл.(QF1.1)} = 35кА > I_{K2}^{(3)} = 2кА, \quad (89)$$

$$I_{откл.(QF1.1)} = 35кА > i_{уд.2} = 3,03кА, \quad (90)$$

$$I_{K2}^{(1)} = 0,62кА = 620А > 3 \cdot I_{ном.расц.} = 3 \cdot 125 = 375А. \quad (91)$$

Автоматический выключатель выбран верно.

в) Автоматический выключатель QF-H ВА47-100 С100:

Данный автоматический выключатель предназначен для защиты коттеджа от сверхтоков (токов КЗ), вследствие чего правильность его выбора определяется по условиям:

$$I_K^{(3)} > I_{расц.}; \quad i_{уд.} > I_{расц.}; \quad I_K^{(1)} \geq 3 \cdot I_{ном.}. \quad (92)$$

Для данного автоматического выключателя диапазон срабатывания мгновенного расцепителя составляет $(5-10) \cdot I_{ном.}$, т.е. 500-1000А. Для расчетов принимаем максимальное значение в 1000А, т.е. $I_{расц.} = 1000А = 1кА$

$$I_{K3}^{(3)} = 1,54кА > I_{расц.} = 1кА, \quad (93)$$

$$i_{уд.3} = 2,18кА > I_{расц.} = 1кА, \quad (94)$$

$$I_{K3}^{(1)} = 0,53кА = 530А > 3 \cdot I_{ном.} = 3 \cdot 100 = 300А. \quad (95)$$

Автоматический выключатель выбран верно.

2.1.13 Основные принципы учета электроэнергии

Основным нормативным документом, регламентирующим учет электроэнергии в Российской Федерации, являются Правила учета электрической энергии [22]. Кроме этого, в отдельных регионах РФ для отдельных категорий потребителей выпущены дополнительные инструкции, детализирующие общероссийские нормы согласно к местным условиям. Например, в г. Москве действует Инструкция по проектированию учета электропотребления в коттеджах РМ-2559 [20].

На основании указанных выше нормативных документов созданы принципы организации учета электроэнергии в коттеджах, заключаются в следующем:

- для учета электроэнергии должны использоваться средства измерений, типы которых утверждены Госстандартом России и внесены в Государственный реестр средств измерений. Список типов счетчиков, используемых для расчетов за электроэнергию и принимаемых на баланс, устанавливается энергоснабжающей организацией.

- в проекте электрооборудования на принципиальной электрической схеме для каждого абонента должны приводиться следующие данные: по категории надежности электроснабжения, об установленных мощностях, расчетных нагрузках и коэффициентах реактивной нагрузки. Если в составе потребителя имеются нагрузки, относящиеся к разным тарификационным группам, то эти данные также должны быть приведены в проекте.

- граница раздела балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности, как правило, должна устанавливаться на вводе в здание на конечниках питающих кабелей.

- при питании нагрузок коттеджа от встроенной или пристроенной трансформаторной подстанции (ТП), граница раздела с энергоснабжающей организацией формируется проектной организацией по согласованию с заказчиком и энергоснабжающей организацией.

- если в коттедже расположено несколько потребителей, обособленных в административно-хозяйственном отношении, то на каждого потребителя, в том числе арендатора, возлагаются обязанности абонента.

- при переоборудовании и при перепланировке коттеджа владелец должен обеспечить разработку проекта электрооборудования коттеджа, предварительно получив технические условия по организации учета, разрешение на использование электроэнергии для термических целей и разрешение на присоединение мощности в энергоснабжающей организации.

2.1.14 Учет электроэнергии индивидуальных жилых домов

Как норма, на весь коттеджный участок, находящийся во владении одного абонента, должен быть предусмотрен один расчетный счетчик электроэнергии, устанавливаемый на вводе в коттедж. Однако возможны варианты, когда расчетный счетчик может устанавливаться отдельно на вводе в дом, гараж и т.п. Для коттеджей рекомендуется, как правило, применять трехфазный ввод с установкой трехфазного счетчика.

При наличии в коттедже нагрузки электро отопления более 10кВт стоит устанавливать самостоятельный расчетный счетчик на данную нагрузку.

Приборы учета должны находиться в специальных шкафах заводского изготовления. Вводной щиток должен находиться на границе участка частного владения.

Разрешается размещать вводной щиток на стене коттеджа, а также внутри коттеджа, в непосредственной близости от входа по согласованию с энерго-снабжающей организацией.

На вводе в коттедж или другое частное сооружение должен устанавливаться защитный аппарат, обеспечивающий защиту от сверхтоков, с номинальным током терморасцепителя, соответствующим расчетной нагрузке на вводе и разрешенной мощности на присоединение с учетом селективности.

2.1.15 Основные требования к установке приборов учета

Установка приборов учета должна проводиться с учетом Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и Инструкций энергоснабжающих организаций. Приборы учета покупаются и устанавливаются за счет потребителей и передаются на баланс энергоснабжающей организации безвозмездно.

Установка счетчиков должна выполняться на жестких основаниях щитков, на панелях ВРУ и на других конструкциях, не допускающих сотрясений и вибраций. Крепление счетчиков должно быть обеспечено с лицевой стороны.

В местах, где имеется опасность механических повреждений счетчиков или их загрязнения, или в местах, доступных для посторонних лиц, для счетчиков должен предусматриваться закрывающийся на замок шкаф с окошком для снятия показаний.

Разрешается установка счетчиков в неотапливаемых помещениях, а также в шкафах наружной установки, если условия эксплуатации счетчиков (технические характеристики) предусматривают возможность такой установки. Около каждого расчетного счетчика обязана быть гравировка о наименовании присоединения.

Трехфазные счетчики на вводах коттеджа и других частных сооружений следует, как норма, применять прямого включения.

Перед расчетными счетчиками, непосредственно включенными в сеть, на расстоянии не более 10м по длине проводки обязан быть установлен защитный аппарат, позволяющий снять напряжение со всех фаз для безопасной замены счетчиков и обеспечивающий защиту сети от перегрузки.

После счетчика обязан быть установлен аппарат защиты не далее чем на расстоянии 3м по длине электропроводки, если после счетчика на отходящих линиях или линии не предусмотрены защитные аппараты.

Если после счетчика выходят несколько линий, снабженных аппаратами защиты, установка общего аппарата защиты не требуется. Если после счетчика выходят несколько линий, снабженных аппаратами защиты, которые размещены за пределами помещения, где установлен счетчик, то после счетчика обязан быть установлен общий отключающий аппарат.

2.1.16 Выбор счетчика электрической энергии

Основным элементом, обеспечивающим учет электроэнергии, является счетчик электрической энергии.

Счетчик электрической энергии - интегрирующий по времени прибор, измеряющий активную и (или) реактивную энергию.

Все счетчики обладают классом точности, который представляется как число, равное пределу допустимой погрешности, выраженной в процентах, для всех значений диапазона измерений тока - от минимального до максимального значения, коэффициентом мощности, равном единице, при нормальных условиях, установленных стандартами или техническими условиями на счетчик. На щитке счетчика отмечаются цифрой в круге.

Согласно ПУЭ [23, п.1.5.15], для учета электроэнергии квартир и коттеджей следует устанавливать счетчики классом точности не ниже 2,0.

Для измерений электроэнергии переменного тока используются индукционные (механические) и электронные (цифровые) счетчики.

Индукционный (механический) счетчик - принцип его работы основан на воздействии магнитного поля неподвижных катушек, по обмоткам которых протекает ток, на подвижный элемент – диск.

Такие счетчики отличаются низкой стоимостью, а также высоким качеством и надёжностью. Недостатками таких счетчиков являются:

- плохая (очень низкая) защита от воровства электроэнергии;
- относительно низкий класс точности (высокая погрешность);
- низкая функциональность (опциональность).

Электронный (цифровой) счетчик - современное средство учёта электроэнергии. Несмотря на высокую стоимость (по сравнению с механическими счётчиками), такие счётчики имеют хорошие технические параметры и приличные сервисные функции.

Характерными отличиями данных счетчиков являются:

- высокий класс точности;
- долговечность, отсутствие подвижных деталей;
- возможность реализации многотарифной системы учета;
- возможность создания автоматизированной системы учёта потребляемой энергии (АСКУЭ);
- наличие внутренней памяти для хранения информации по потребленной электроэнергии.

На основании всего изложенного для учета электроэнергии проектируемого коттеджа по каталогу [33, www.energomera.ru] принимаем к установке трехфазный электронный счетчик прямого включения ЭНЕРГОМЕРА СЕ301-R33. Данный счётчик устанавливается в щиток на DIN-рейку, осуществляет измерение и учет активной электрической энергии в трехфазных четырехпроводных сетях переменного тока, класс точности – 1,0.

2.2.1 Выбор автономного источника теплоснабжения

Для отопления коттеджей в настоящее время используют водяное отопление с источниками теплоснабжения на жидком и газообразном топливе, а также электрические котлы.

Наиболее совершенное отопление от электрических котлов - оно более экологично, безопасно и комфортно. Капитальные затраты на установку электрического котла гораздо ниже, чем других источников тепла. Кроме того, электрический котел не требует оборудования дымохода, специального помещения (котельной), топливопроводов, дополнительный резервуар. Но,

несмотря на все совершенства, у электрических котлов есть недостатки, которые становятся главными и заставляют отказаться от использования таких котлов. Самый решающий недостаток - это высокая стоимость электроэнергии. Другой недостаток - сложность с приобретением на объект дополнительной электрической мощности.

В связи с выше изложенным, в проектируемом коттедже электрический котел устанавливаем в качестве резервного источника теплоснабжения.

Общая площадь всего коттеджа - 165,78м². Принимая к сведению, что конвекторы отопления не устанавливаются в помещениях без окон и на балконах, которыми являются холлы первого и второго этажей, санузлы первого и второго этажей и лоджия, площадь которых составляет 28м², определяем отапливаемую площадь: $S = 137,78\text{м}^2$. Следуя из отапливаемой площади помещений, в качестве резервного источника теплоснабжения принимаем к установке по каталогу [35, www.pечи96.ru] электрический котел ЭЛВИН ЭВП-9 ЭУ тепловой мощностью 9 кВт.

Данный электрический котел оснащен электронным управлением и предназначен для водяного отопления помещений коттеджа. Качеством данного электрического котла является то, что он может использоваться как автономно, так и совместно с газовыми и другими видами котлов. Технические характеристики котла представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Технические характеристики электродкотла ЭЛВИН ЭВП-9 ЭУ

Наименование параметра	Котёл ЭЛВИН ЭВП-9 ЭУ
Номинальное напряжение, В	380
Номинальная частота, Гц	50
Номинальная потребляемая мощность, кВт	9
Тепловая мощность, кВт	9
Рекомендуемая площадь отапливаемых помещений, м ²	90
Максимальная площадь отапливаемых помещений, м ²	180
Регулировка температуры воды, °С	Автоматическая 1 ⁰ - 89 ⁰ С
Теплоноситель	Вода водопроводная ГОСТ 2874
Габаритные размеры, мм	
Ширина	290
Глубина	140
Высота	670
Масса, кг, не более	13
Срок службы, лет	7

Газ - является самым дешевым видом топлива в стране. Именно этот момент изменил наиболее желательный отопительный аппарат - газовый котел.

Несмотря на то, что основные затраты на установку газового котла значительно превышают основные затраты на установку электрического, разница в стоимости газа и электроэнергии окупает газовые котлы в очень сжатые сроки.

Таким образом, в качестве основного источника теплоснабжения в проектируемом коттедже допускаем газовый котёл.

Исходя из площади отапливаемых помещений коттеджа $S = 137,78\text{м}^2$, допускаем к установке по каталогу [36, www.heating-systems.ru] настенный газовый котел BAXI ECO Four 1.14F. Данный газовый котёл служит одноконтурным, т.е. предназначен только для отопления помещений коттеджа. Технические характеристики газового котла BAXI ECO Four 1.14F представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Технические характеристики котла BAXI ECO Four 1.14F

Наименование параметра	Котёл BAXI ECO Four 1.14F
Номинальное напряжение, В	220
Потребляемая электрическая мощность, кВт	0,12
Тепловая мощность, кВт	14

Таблица 11 - Технические характеристики котла BAXI ECO Four 1.14F

Отапливаемая площадь, м ²	140
Вид топлива	Природный газ
КПД, %	92,5
Габаритные размеры, мм	
Ширина	400
Глубина	299
Высота	730
Масса, кг	29

2.3.1 Техничко-экономический расчет

В выпускной квалификационной работе необходимо сравнить затраты при установке и эксплуатации газового и электрического котлов теплоснабжения коттеджа.

В выпускной квалификационной работе в ходе расчетов были выбраны к установке два источника теплоснабжения – газовый котел BAXI ECO Four 1.14F настенного исполнения, являющийся основным источником теплоснабжения, и электрический котел ЭЛВИН ЭВП-9 ЭУ, являющийся резервным источником теплоснабжения.

2.4.1 Составление сметы капитальных вложений

Вычисляем основные вложения на установку газового котла BAXI ECO Four 1.14F и сводим их в таблицу 12 (все данные приведены в ценах 2015 года).

Таблица 12 – Смета капитальных вложений на установку газового котла

Наименование	Количество	Стоимость, руб.	Сумма, руб.
Котел газовый BAXI ECO Four 1.14F	1	44329	44329
Установка настенного газового котла (сборка, подключение к системе отопления, обвязка запорной арматурой с фильтром грубой очистки)	1	12800	12800
Монтаж дымоотводящей трубы	1	900	900
ИТОГО			58029

Основные вложения на установку электрического котла ЭЛВИН ЭВП-9 ЭУ сводим в таблицу 13 (все данные приведены в ценах 2016 года).

Убыточные расходы составляют 65% от капиталовложений, откуда формула для вычисления убыточных расходов:

$$P_H = 0,65 \cdot \Delta K, \quad (96)$$

где ΔK – сумма капиталовложений, руб.

Таблица 13 – Смета капитальных вложений на установку электрокотла

Наименование	Количество	Стоимость, руб.	Сумма, руб.
Котел электрический ЭЛВИН ЭВП-9 ЭУ	1	7940	7940
Установка электрического котла (сборка, подключение к системе отопления, обвязка запорной арматурой с фильтром грубой очистки, без подвода электропитания)	1	11500	11500
ИТОГО			19440

Определяем убыточные расходы:

- для газового котла

$$P_{НГ} = 0,65 \cdot \Delta K_{Г} = 0,65 \cdot 58029 = 37718,85 \text{ руб.}, \quad (97)$$

- для электрического котла

$$P_{НЭ} = 0,65 \cdot \Delta K_{Э} = 0,65 \cdot 19440 = 12636 \text{ руб.} \quad (98)$$

Плановые накопления составляют 40% от суммы капиталовложений и убыточных расходов, откуда формула для их вычисления:

$$H_{П} = 0,4 \cdot (\Delta K + P_{Н}). \quad (99)$$

Определяем плановые накопления:

- для газового котла

$$H_{ПГ} = 0,4 \cdot (\Delta K_{Г} + P_{НГ}) = 0,4 \cdot (58029 + 37718,85) = 38299,14 \text{ руб.}, \quad (100)$$

- для электрического котла

$$H_{ПЭ} = 0,4 \cdot (\Delta K_{Э} + P_{НЭ}) = 0,4 \cdot (19440 + 12636) = 12830,4 \text{ руб.} \quad (101)$$

Общие капиталовложения K , руб., формируются как сумма капиталовложений на оборудование, убыточных расходов и плановых накоплений.

Определим общие капиталовложения для газового и электрического котлов:

- для газового котла

$$K_{Г} = \Delta K_{Г} + P_{НГ} + H_{ПГ} = 58029 + 37718,85 + 38299,14 = 134046,99 \text{ руб.}, \quad (102)$$

- для электрического котла

$$K_{Э} = \Delta K_{Э} + P_{НЭ} + H_{ПЭ} = 19440 + 12636 + 12830,4 = 44906,4 \text{ руб.} \quad (103)$$

2.4.2 Технико-экономическое сравнение установки и обслуживания КОТЛОВ

Выбор наилучшего варианта выберем по минимуму приведенных затрат по формуле:

$$Z_{\Pi} = E_n \cdot \Delta K + I_{\text{э}}, \quad (104)$$

где Z_{Π} - минимум приведенных затрат, руб.;

E_n - нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,12$ (1/год);

ΔK – капитальные вложения (сметная стоимость), руб.;

$I_{\text{э}}$ - ежегодные эксплуатационные расходы, руб.

Ежегодные эксплуатационные расходы определяются:

$$I_{\text{э}} = A + Z_{\text{ТР}} + Z_{\text{проч.}}, \quad (105)$$

где A – затраты на амортизацию оборудования, руб.;

$Z_{\text{ТР}}$ – затраты на текущий ремонт, руб.;

$Z_{\text{проч.}}$ – прочие затраты, руб.

Затраты на амортизацию оборудования составляют $A = 16,3\%$ от капитальных вложений ΔK , затраты на текущий ремонт составляют $Z_{\text{ТР}} = 80\%$ от затрат на амортизацию, прочие затраты составляют $Z_{\text{проч.}} = 10\%$ от суммы затрат на амортизацию и текущий ремонт, откуда считаем ежегодные эксплуатационные расходы при установке и обслуживании:

- газового котла

$$A_{\Gamma} = 0,163 \cdot \Delta K_{\Gamma} = 0,163 \cdot 58029 = 9458,73 \text{ руб.}, \quad (106)$$

$$Z_{\text{ТР},\Gamma} = 0,8 \cdot A_{\Gamma} = 0,8 \cdot 9458,73 = 7566,98 \text{ руб.}, \quad (107)$$

$$Z_{\text{проч.},\Gamma} = 0,1 \cdot (A_{\Gamma} + Z_{\text{ТР},\Gamma}) = 0,1 \cdot (9458,73 + 7566,98) = 1702,57 \text{ руб.}, \quad (108)$$

$$I_{\text{э},\Gamma} = A_{\Gamma} + Z_{\text{ТР},\Gamma} + Z_{\text{проч.},\Gamma} = 9458,73 + 7566,98 + 1702,57 = 18728,28 \text{ руб.}, \quad (109)$$

- электрического котла

$$A_{\text{э}} = 0,163 \cdot \Delta K_{\text{э}} = 0,163 \cdot 19440 = 3168,72 \text{ руб.}, \quad (110)$$

$$Z_{\text{ТР},\text{э}} = 0,8 \cdot A_{\text{э}} = 0,8 \cdot 3168,72 = 2534,98 \text{ руб.}, \quad (111)$$

$$Z_{\text{проч.э}} = 0,1 \cdot (A_{\text{э}} + Z_{\text{тр.э}}) = 0,1 \cdot (3168,72 + 2534,98) = 570,37 \text{ руб.}, \quad (112)$$

$$I_{\text{э.э}} = A_{\text{э}} + Z_{\text{тр.э}} + Z_{\text{проч.э}} = 3168,72 + 2534,98 + 570,37 = 6274,07 \text{ руб.} \quad (113)$$

Сведем полученные расчетные данные в таблицу 14 и считаем минимум приведенных затрат.

Таблица 14 – Расчет приведенных затрат на установку и обслуживание котлов

Наименование оборудования	Затраты на амортизацию, А, руб.	Затраты на текущий ремонт, $Z_{\text{тр}}$, руб.	Прочие затраты, $Z_{\text{проч}}$, руб.	Ежегодные эксплуатационные расходы, $I_{\text{э}}$, руб.	Капитальные вложения, ΔK , руб.	Приведенные затраты, $Z_{\text{п}}$, руб.
Газовый котел	9458,73	7566,98	1702,57	18728,28	58029	25691,76
Электродкотел	3168,72	2534,98	570,37	6274,07	19440	8606,87

На основании расчетов определяем, что при установке и обслуживании электрического котла затраты будут меньше, чем при установке и обслуживании газового котла. Однако, в данном случае, необходимо сравнить затраты при эксплуатации котлов.

2.4.3 Техничко-экономическое сравнение эксплуатации котлов

Выбор лучшего варианта возьмем по минимуму затрат на энергию.

а) Годовые затраты на газоснабжение составляют:

$$Z_{\text{г}} = Q_{\text{г}} \cdot 24 \cdot 218 \cdot I_{\text{г}}, \quad (114)$$

где $Q_{\text{г}}$ – номинальный расход газа, м³/час;

24 – количество часов в сутках, час;

218 – число дней отопительного периода, дн.;

$I_{\text{г}}$ – стоимость 1 м³ газа, руб.

Согласно каталожным данным [36], номинальный расход газа газового котла ВАХІ ЕСО Four 1.14F составляет $Q_{\text{г}} = 1,16 \text{ м}^3/\text{час}$.

Стоимость 1 м³ газа на 2015 год составляет $I_{\text{г}} = 4,55 \text{ руб.}$, откуда затраты на газоснабжение:

$$Z_{\text{г}} = Q_{\text{г}} \cdot 24 \cdot 218 \cdot I_{\text{г}} = 1,16 \cdot 24 \cdot 218 \cdot 4,55 = 27614,5 \text{ руб.} \quad (115)$$

б) Годовые затраты на электроэнергию составляют:

$$Z_э = P \cdot 24 \cdot 218 \cdot I_э, \quad (116)$$

где P – мощность электродвигателя, кВт;

$I_э$ – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Тариф на электроэнергию в 2016 году составляет $I_э=3,30$ руб. за кВт·ч, откуда затраты на электроэнергию:

$$Z_э = P \cdot 24 \cdot 218 \cdot I_э = 9 \cdot 24 \cdot 218 \cdot 3,3 = 155390,4 \text{ руб.} \quad (117)$$

Сведем полученные расчетные данные в таблицу 15.

Таблица 15 – Затраты на потребляемую энергию

Потребитель энергии	Годовые затраты на потребляемую энергию, З, руб.
Газовый котел	27614,5
Электрический котел	155390,4

На основании проведенных расчетов определяем, что при эксплуатации более выгоден газовый котел.

2.4.4 Технико-экономическое сравнение вариантов

Определим общие затраты на установку, обслуживание и эксплуатацию котлов. Данные сводим в таблицу 16.

Таблица 16 – Общие затраты

Параметр	Газовый котел	Электрический котел
Капитальные вложения, ΔК, руб.	58029	19440
Ежегодные эксплуатационные расходы, $I_э$, руб.	18728,28	6274,07
Годовые затраты на потребляемую энергию, З, руб.	27614,5	155390,4
ИТОГО, руб.	104371,78	181104,47

Как видно из таблицы 16, общие затраты на установку, обслуживание и эксплуатацию у газового котла меньше, чем те же затраты у электрического

котла. Кроме того, за счет разницы затрат на электроэнергию и на газ при установке газового котла возникает дополнительный доход.

Дополнительный доход получается за счет разницы годовых затрат на потребляемую энергию:

$$D_{\text{доп}} = Z_{\text{э}} - Z_{\text{г}} = 155390,4 - 27614,5 = 127775,9 \text{ руб./год} . \quad (118)$$

Годовая экономия при установке газового котла составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (I_{\text{э,г}} - I_{\text{э,э}}) + D_{\text{доп}} , \quad (119)$$

где $I_{\text{э}}$ - ежегодные эксплуатационные расходы, руб;

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = I_{\text{э,г}} - I_{\text{э,э}} + D_{\text{доп}} = (18728,28 - 6274,07) + 127775,9 = 140230,11 \text{ руб./год} . \quad (120)$$

Срок окупаемости капитальных вложений газового котла за счет годовой экономии:

$$T = \frac{\Delta K_{\text{г}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}} = \frac{58029}{140230,11} = 0,41 \text{ года} , \quad (121)$$

то есть газовый котел окупится уже через 0,41 года (4,92 месяца).

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений показывает, какова доходность с каждого вложенного рубля:

$$E_{\text{пр}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,41} = 2,44 > E_{\text{н}} = 0,12 . \quad (122)$$

На основании произведенных расчетов окончательно определяем, что к установке в коттедже в качестве основного источника теплоснабжения необходим быть выбран газовый котел BAXI ECO Four 1.14F.

3 РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ КОТТЕДЖА.

Широкая эксплуатация электроэнергии во всех областях деятельности человека и в первую очередь в быту, связанное с увеличением количества и разнообразия электроприборов в коттеджах и на приусадебных участках, естественным образом влечет за собой повышение опасности поражения человека электрическим током.

С положения электробезопасности человек является проводником электрического тока. Электрический ток, проходящий через тело человека, причиняет термическое, электротермическое и биологическое воздействие. Величина электрического тока, проходящего через тело человека, является основным фактором, выражающим вид поражения.

В ГОСТ Р 50571.3-2009 [11] приведены требования к основным мерам защиты человека от поражения электрическим током, которые должны соблюдаться в электроустановках коттеджей. Все разнообразие опасных для здоровья и жизни человека контактов с электроустановкой коттеджей подразделяется в стандарте на «прямое прикосновение» и «косвенное прикосновение», которым соответствуют два вида защиты: защита от прямого прикосновения и защита от косвенного прикосновения.

ГОСТ Р 50571.3-2009 содержит требования к следующим мерам защиты от прямого прикосновения:

- к изоляции токоведущих частей;
- к применению ограждений и оболочек;
- к применению барьеров;
- к размещению вне зоны досягаемости;
- к дополнительной защите с помощью устройств защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения требованиями стандарта предусмотрены следующие меры:

- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией;
- изолирующие помещения, зоны и площадки;
- система местного уравнивания потенциалов;
- электрическое разделение цепей.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50В переменного тока и 120В постоянного тока.

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25В переменного тока и 60В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6В переменного или 15В постоянного тока - во всех остальных случаях.

Электрооборудование, применяемое для внутренней установки в коттеджах, в соответствии с ГОСТ ИЕС 61140-2012 [17] по способам защиты от поражения электрическим током разделяют на четыре класса:

Оборудование класса 0. Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией, при этом отсутствует электрическое соединение открытых проводящих частей, если таковые имеются, с защитным проводником стационарной проводки. При пробое

основной изоляции защита должна обеспечиваться окружающей средой (воздух, изоляция пола и т.п.).

Оборудование класса I. Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и соединением открытых проводящих частей, доступных прикосновению, с защитным проводником стационарной проводки.

В этом случае открытые проводящие части, доступные прикосновению, не могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции после срабатывания соответствующей защиты.

Оборудование класса II. Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается применением двойной или усиленной изоляции. В этом случае отсутствуют средства защитного заземления и защитные свойства окружающей среды не используются в качестве меры обеспечения безопасности.

Оборудование класса III. Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током основана на питании от источника безопасного сверхнизкого напряжения и в котором не возникают напряжения выше безопасного сверхнизкого напряжения. В оборудовании класса III не должно быть заземляющего зажима.

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

Дополнительная защита от электропоражения при прямом прикосновении, как уже отмечалось выше, достигается путем применения УЗО.

Устройство защитного отключения является предупреждающим электрозащитным мероприятием и в сочетании с современными системами заземления (TN-S, TN-C-S) обеспечивает высокий уровень электробезопасности при эксплуатации электроустановок.

Защита от поражения при косвенном прикосновении (ГОСТ Р 50571.3-2009) обеспечивается следующими мероприятиями:

- применением УЗО;
- применением нулевых защитных проводников в электроустановках котеджей с системой заземления TN в комплексе с устройствами защиты от сверхтоков - предохранителями, автоматическими выключателями.

Все проанализированные выше принципы обеспечения электробезопасности в полной мере относятся как непосредственно к коттеджу, так и к приусадебным участкам.

3.1 Устройство защитного отключения

Устройства защитного отключения (УЗО), реагирующие на дифференциальный ток или ток небаланса, одинаково с устройствами защиты от сверхтока относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения электрическим током при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

Устройство защитного отключения является единым средством, обеспечивающим автоматическую защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на ток небаланса в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Принцип работы УЗО основан на сравнении величины тока на входе и выходе защищаемого объекта. При равенстве этих токов ($I_{\text{вх.}} = I_{\text{вых.}}$) УЗО не реагирует, если $I_{\text{вх.}} > I_{\text{вых.}}$ УЗО чувствует утечку и срабатывает; то есть токи, протекающие по фазному и нейтральному проводникам должны быть равны (для однофазной сети, для трехфазной сети ток в нейтральном проводнике равен сумме токов, которые протекают в фазных проводниках).

Основным элементом конструкции УЗО является дифференциальный трансформатор тока, который изображает собой тороидальный сердечник, на

который намотаны обмотки. Схема и принцип действия УЗО представлены на рисунке 6.

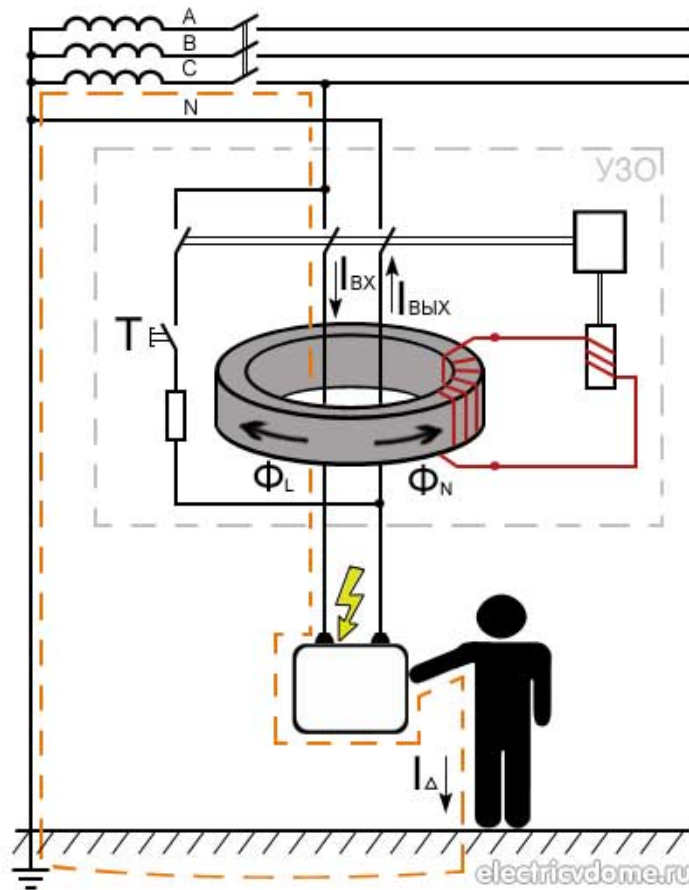


Рисунок 6 - Принцип работы устройства защитного отключения

При нормальной работе сети электрический ток, протекающий в фазном и нулевом проводниках, создает в этих обмотках переменные магнитные потоки, равные по величине, но противоположные по направлению. Результирующий магнитный поток в тороидальном сердечнике будет равен:

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_L - \Phi_N = 0; \quad (123)$$

Как видно, магнитный поток в сердечнике будет равен нулю, следовательно, ЭДС в контрольной обмотке наводиться не будет, ток в ней, соответственно, тоже. УЗО в этом случае не срабатывает.

Теперь представим, что человек коснулся электроприбора с поврежденной изоляцией и оказался под напряжением. В этом случае через УЗО кроме тока нагрузки будет протекать дополнительный ток – ток утечки

через человека (см. рисунок 6). Таким образом, токи в фазном и нулевом проводниках не будут равны, и, соответственно, результирующий магнитный поток также не будет равен нулю:

$$\Phi_{\Sigma} \neq 0; \quad (124)$$

Под воздействием магнитного потока в контрольной обмотке возбуждается ЭДС, под действием ЭДС в ней возникает ток. Данный ток контрольной обмотки приводит в действие магнитоэлектрическое реле, которое отключает силовые контакты УЗО.

Для осуществления периодического осмотра исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования (кнопка «Т» на рисунке 6). При нажатии кнопки «Тест» неестественно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно исправно.

По условиям функционирования УЗО подразделяются на типы:

УЗО типа АС - устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий неожиданно либо медленно возрастающий.

УЗО типа А - устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие неожиданно либо медленно возрастающие.

УЗО типа В - устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный токи небаланса.

УЗО типа S - устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения).

УЗО типа G - то же, что и типа S, но с меньшей выдержкой времени.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60755-2012 [16], ГОСТ Р 51326.1-99 [14] и ГОСТ Р 51327.1-2010 [15] УЗО характеризуются нижеуказанными нормируемыми параметрами.

Номинальное напряжение - действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО:

$$U_n = 220, 380\text{В.}$$

Номинальный ток I_n - ток, который УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы:

$$I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125\text{А.}$$

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ - дифференциальный ток, который вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации:

$$I_{\Delta n} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5\text{А.}$$

Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$ - дифференциальный ток, который не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации:

$$I_{\Delta n0} = 0,5 \cdot I_{\Delta n}. \quad (125)$$

В соответствии с ГОСТ Р 50571.3-2009 [11] необходимым условием нормального функционирования УЗО в электроустановке коттеджа является отсутствие в зоне действия УЗО любых соединений нулевого рабочего проводника N с заземленными элементами электроустановки и нулевым защитным проводником PE..

Поскольку повреждение и старение изоляции возможны и в фазных, и в нулевом рабочем проводниках, а УЗО реагирует на утечку на землю с любого из них, в схемах TN-C-S на отходящих линиях следует устанавливать двух- и четырехполюсные автоматические выключатели. Только в этом случае можно методом поочередного включения линий найти и отключить неисправную цепь для обеспечения работы остальной части электроустановки без демонтажа вводно-распределительного устройства.

Применение УЗО обязательно:

- для групповых линий, питающих электроприемники наружной установки (ГОСТ Р 50571.3-2009);

- для мобильных сооружений (инвентарных зданий из металла или с металлическим каркасом) (ГОСТ Р 50699-94);

- для защиты штепсельных розеток ванных и душевых помещений (ГОСТ Р 50571.11-96).

Установка УЗО рекомендуется в разных случаях, связанных с вероятностью возникновения увеличенной опасности, например, при применении нагревательных элементов, встроенных в пол.

Кроме рассмотренных ранее УЗО без защиты от сверхтоков существуют также УЗО со встроенной защитой от сверхтоков – дифференциальные автоматы. Дифференциальный автоматический выключатель – это устройство, в котором одновременно совмещаются функции автоматического выключателя и защитные свойства УЗО.

В данной работе в целях обеспечения электробезопасности для защиты людей от попадания под действие электрического тока на всех розеточных сетях щита дома ЩР-Д установлены дифференциальные автоматы с характеристикой по УЗО типа АС на ток утечки 30мА.

3.2 Защитное заземление и уравнивание потенциалов

По определению ПУЭ, заземление - сознательное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством, а защитное заземление - заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

В ГОСТ Р 50571.2-94 и в разделе 1.7 ПУЭ приведена классификация систем заземления, которые назначают общую характеристику питающей сети и электроустановки коттеджа. В соответствии с указанной классификацией принятая система заземления проектируемого коттеджа имеет обозначение TN-C-S. Электрическая схема данной системы представлена на рисунке 7.

В системе TN-C-S источник питания имеет непосредственную связь токоведущих частей с землей. Все открытые проводящие части

электроустановки коттеджа имеют непосредственную связь с точкой заземления источника питания.

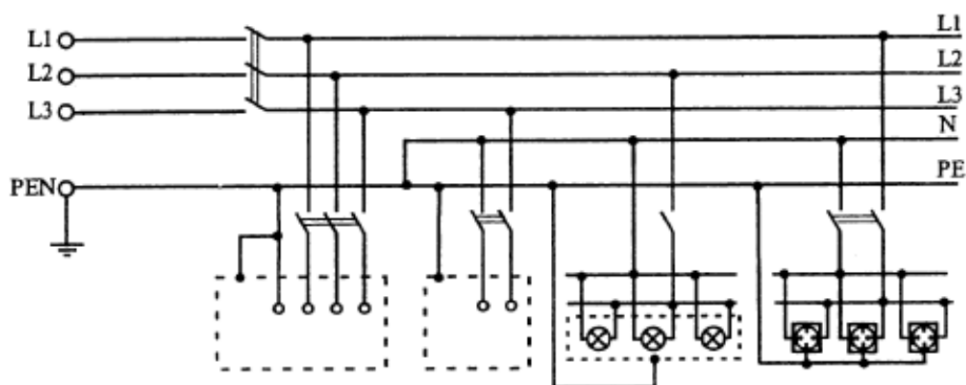


Рисунок 7 - Система TN-C-S

Для обеспечения этой связи на участке питающей электрической сети и (или) электрической цепи применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник (PEN), в остальной части электрической цепи - отдельный нулевой защитный проводник (PE).

С точки зрения электробезопасности данная система заземления при применении УЗО имеет такое преимущество: при пробое изоляции на корпус электроприёмника УЗО мгновенно отключит электропитание, поскольку корпус электроприёмника имеет надежное соединение с защитным проводником.

В системе TN-C-S совмещенный нулевой и рабочий проводник PEN разделяется на нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники во вводном устройстве (в проектируемом коттедже вводным устройством является щит дома ЩР-Д). При этом нулевой защитный проводник PE соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, в то время как нулевой рабочий проводник N не должен иметь соединения с землей.

Важным условием обеспечения электробезопасности является наличие системы *уравнивания потенциалов*, заключающейся в подсоединении всех подлежащих заземлению проводящих частей к общей шине (ГЗШ) для достижения равенства их потенциалов.

Системы заземления и уравнивания потенциалов осуществляются с помощью заземляющих устройств, являющихся собой совокупность заземлителя 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 работе в качестве заземлителя приняты два контура заземления (см. лист 4 графической части):

- контур заземления коттеджа (щита ЩР-Д) – замкнутый;
- контур заземления котельной (щита ЩР-Кот) – рядный.

В качестве ГЗШ в работе предусмотрено использование шин РЕ щитов ЩР-Д и ЩР-Кот.

Система *уравнивания потенциалов коттеджа* включает в себя подключение к шине РЕ щита ЩР-Д следующих проводников:

- проводника PEN питающего кабеля ВБбШв 4х6;
- заземляющего проводника, подключенного к контуру заземления коттеджа;
- защитных проводников осветительных установок;
- защитных проводников встроенных розеток;
- защитного проводника ванной второго этажа.

Система *уравнивания потенциалов котельной* включает в себя подключение к шине РЕ щита ЩР-Кот следующих проводников:

- проводника РЕ питающего кабеля;
- заземляющего проводника, подключенного к контуру заземления котельной;
- заземляющего проводника трубы газоснабжения;
- заземляющих проводников труб отопления;
- заземляющего проводника трубы водоснабжения;
- защитного проводника электрического котла (в составе кабеля);
- защитного проводника газового котла (в составе кабеля).

3.3 Расчет заземляющего устройства коттеджа

Произведем расчёт заземляющего устройства (ЗУ) коттеджа (лист 4 графической части). Для расчета используем методику, представленную В.П. Шеховцовым [30].

Для расчета ЗУ коттеджа используем следующие данные:

- используем только искусственные заземлители;
- тип ЗУ – контурное, у стены коттеджа на расстоянии 1м от стены дома;
- климатическая зона – III (исходные данные);
- грунт – глина, чернозем (исходные данные), $\rho = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- вертикальный заземлитель – стальной уголок 50x50x5мм, $L=2\text{м}$;
- количество вертикальных заземлителей $N_v = 4$;
- горизонтальный заземлитель – стальная полоса 40x5мм,
- глубина заложения ЗУ в грунт $t = 0,5\text{м}$.

Устанавливаем необходимое по ПУЭ допустимое сопротивление заземляющего устройства. Контур заземления коттеджа является контуром повторного заземления PEN-проводника питающей линии, и поэтому, согласно ПУЭ [23, п.1.7.61] его величина не нормируется. Однако, согласно тем же правилам ПУЭ [23, п.1.7.103], общее сопротивление растеканию заземлителей всех повторных заземлений PEN-проводника в любое время года должно быть не более 100 Ом при линейном напряжении 380В источника трехфазного тока. Окончательно принимаем:

$$R_{\text{и}} = 100 \text{ Ом};$$

Определяем расчётное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициента сезонности $K_{\text{сез}} = 1,5$ [30, табл. 1.13.2]

$$\rho_p = K_{\text{сез}} \cdot \rho = 1,5 \cdot 40 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м} . \quad (126)$$

Определяем расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$r_e = 0,3 \cdot \rho_p = 0,3 \cdot 60 = 18 \text{ Ом} . \quad (127)$$

Выбираем отношение $a/L = 1$, откуда для $N_e = 4$ и контурного ЗУ определяем

$$\eta_g = 0,69 \text{ [30, табл. 1.13.5]}$$

Определяем длину горизонтального заземлителя (полосы)

Так как отношение $a/L = 1$, то расстояние между вертикальными электродами $a = 1 \times L = 1 \times 2 = 2 \text{ м}$, откуда длина полосы для контурного ЗУ

$$L_{II} = 4 \cdot a = 4 \cdot 2 = 8 \text{ м}. \quad (128)$$

Определяем коэффициент использования горизонтального заземлителя

Для контурного ЗУ при $N_g = 4$ и $a/L = 1$ $\eta_r = 0,45$ [30, табл. 1.13.5]

Определяем коэффициент сезонности для горизонтального заземлителя

Для климатической зоны III $K_{сез.г.} = 2,3$ [30, табл. 1.13.2]

Определяем сопротивления электродов

Сопротивление вертикальных электродов

$$R_B = \frac{r_g}{N_g \cdot \eta_g} = \frac{18}{4 \cdot 0,69} = 6,52 \text{ Ом}. \quad (129)$$

Сопротивление горизонтального заземлителя (полосы)

$$R_r = \frac{0,4}{L_{II} \eta_r} \cdot \rho \cdot K_{сез.г.} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{II}^2}{bt} = \frac{0,4}{8 \cdot 0,45} \cdot 40 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{2 \cdot 8^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5} = 38,9 \text{ Ом}, \quad (130)$$

где b – ширина горизонтального заземлителя (полосы), м

Определяем фактическое значение контура заземления

$$R_{3У} = \frac{R_B R_r}{R_B + R_r} = \frac{6,52 \cdot 38,9}{6,52 + 38,9} = 5,58 \text{ Ом}, \quad (131)$$

$$R_{3У} = 5,58 \text{ Ом} < R_{II} = 10 \text{ Ом}. \quad (132)$$

3.3.1 Расчет заземляющего устройства котельной

Выполним расчет заземляющего устройства (контура заземления) котельной. Методика расчета та же, что и в пп.10.3.1.

Для расчета ЗУ котельной используем следующие данные:

- используем только искусственные заземлители;
- тип ЗУ – рядное;
- количество вертикальных заземлителей $N_B = 4$.

Остальные данные для расчёта те же, что и в пп.10.3.1.

Устанавливаем необходимое по ПУЭ допустимое сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{\text{н}} = 10 \text{ Ом};$$

Определяем расчётное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициента сезонности $K_{\text{сез}} = 1,5$

$$\rho_p = K_{\text{сез}} \cdot \rho = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}. \quad (133)$$

Выбираем отношение $a/L = 1$, откуда по [30, табл. 1.13.5] для $N_{\text{г}} = 4$ и рядного ЗУ определяем $\eta_{\text{г}} = 0,74$.

Определяем длину горизонтального заземлителя (полосы)

Так как отношение $a/L = 1$, то расстояние между вертикальными электродами $a = 1 \times L = 1 \times 2 = 2 \text{ м}$, откуда длина полосы для рядного ЗУ

$$L_{\text{II}} = a \cdot (N_{\text{г}} - 1) = 2 \cdot (4 - 1) = 6 \text{ м}. \quad (134)$$

Определяем коэффициент использования горизонтального заземлителя

Для рядного ЗУ при $N_{\text{г}} = 4$ и $a/L = 1$ $\eta_{\text{г}} = 0,77$

Определяем коэффициент сезонности для горизонтального заземлителя

Для климатической зоны III $K_{\text{сез.г.}} = 2,3$

Определяем сопротивления электродов

Сопротивление вертикальных электродов

$$R_{\text{В}} = \frac{r_{\text{г}}}{N_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{г}}} = \frac{18}{4 \cdot 0,74} = 6,08 \text{ Ом}. \quad (135)$$

Сопротивление горизонтального заземлителя (полосы)

$$R_{\text{Г}} = \frac{0,4}{L_{\text{II}} \eta_{\text{Г}}} \cdot \rho \cdot K_{\text{сез.г.}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\text{II}}^2}{bt} = \frac{0,4}{6 \cdot 0,77} \cdot 40 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{2 \times 6^2}{40 \times 10^{-3} \times 0,5} = 28,32 \text{ Ом}. \quad (136)$$

Определяем фактическое значение контура заземления

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{R_{\text{В}} R_{\text{Г}}}{R_{\text{В}} + R_{\text{Г}}} = \frac{6,08 \cdot 28,32}{6,08 + 28,32} = 5,01 \text{ Ом}, \quad (137)$$

$$R_{\text{ЗУ}} = 5,01 \text{ Ом} < R_{\text{н}} = 10 \text{ Ом}. \quad (138)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей выпускной квалификационной работе разработана система энергоснабжения коттеджа. В ходе работы произведен расчет электрических нагрузок, выбраны электроустановочные изделия (светильники, розетки). Произведен выбор проводов и кабелей для внешнего и внутреннего электроснабжения коттеджа, выбраны аппараты защиты для сетей внешнего и внутреннего электроснабжения. Произведен расчет токов короткого замыкания в линиях электроснабжения, на основании которого выполнена проверка правильности выбора защитной аппаратуры. Произведен выбор средства учета электроэнергии, а также выбор автономных источников теплоснабжения (как рабочего, так и резервного). Определена категория надежности электроснабжения коттеджа.

В выпускной квалификационной работе также отражены вопросы, касающиеся электробезопасности человека. В вопросах электробезопасности обоснован выбор защитной аппаратуры линий электроснабжения с применением устройств защитного отключения (УЗО). Произведен расчет и выбор заземляющих устройств коттеджа и котельной, а также расчет и выбор молниезащиты коттеджа. В вопросах пожарной безопасности обоснован выбор марок кабелей, применяемых для системы внутреннего электроснабжения коттеджа. В разделе безопасности жизнедеятельности отражены вопросы, касающиеся правильности монтажа и эксплуатации выбранных автономных источников теплоснабжения (газового и электрического котлов).

Таким образом, задачи, поставленные в данной выпускной квалификационной работе, выполнены. Спроектированная система энергоснабжения коттеджа удовлетворяет всем требованиям действующей нормативно-технической документации с учетом требований правил безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. АО «Электротехнические заводы «Энергомера»// каталог продукции 2015 года [электронный ресурс]. – URL: <http://www.energomera.ru>
2. ГОСТ 28249-93 (2003). 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, 1993
3. 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
4. ГОСТ 7.0.12-2011. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила. – Введ. 01.09.2011. – Москва: Национальный стандарт Российской Федерации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2012
5. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание Общие требования и правила составления. – Введ. 30.06.2004 (переиздан 01.2010).–Москва: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2010
6. ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления. – Введ. 30.06.2002. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; ИПК изд-во стандартов, 2001
7. ГОСТ Р 50345-2010. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. – Введ. 01.01.2012. – Москва: Национальный стандарт Российской Федерации; Москва.: Изд-во Стандартиформ, 2011

8. ГОСТ Р 50571.3-2009. Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током. – Введ. 01.01.2011. – Москва: Национальный стандарт Российской Федерации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2011

9. ГОСТ Р 51326.1-99. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. – Введ. 30.06.2000. – Москва: Госстандарт РФ; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2010 – 86 с.

10. 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.

11. 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

12. ГОСТ ИЕС 61140-2012. Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования. – Введ. 01.07.2014. Москва: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Москва: Изд-во Стандартиформ, 2014

13. Группа компаний ИЕК//каталог продукции 2015 года [электронный ресурс]. – URL: <http://www.iek.ru/products/catalog>

14. Интернет-магазин печей и отопительного оборудования //каталог 2015 года [электронный ресурс]. – URL: <http://www.pechi96.ru>

15. Компания «Инженерный центр «Хитинг-Системс». Отопительное оборудование//каталог 2015 года [электронный ресурс]. – URL: <http://www.heating-systems.ru>

16. Котел отопительный Eco Four 1.14F. Руководство по эксплуатации. Паспорт. – Компания «BAHI» (Бакси). – 40с., ил.

17. Постановление правительства РФ от 25.04.2012 № 390 «О противопожарном режиме» (с изменениями № 113 от 17.02.2014, № 581 от 23.06.2014, № 201 от 6.03.2015, № 1213 от 10.11.2015). – Вступило в силу 01.09.2012. – Постановления правительства Российской Федерации. – 2012

18. 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

19. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск, Сиб.унив.изд-во, 2010. – 464 с., ил.

20. РД 106/4-04.14. Индивидуальный жилой дом. Раздел ЭОМ. Электроосвещение. Силовое электрооборудование. – ИП Черепанов И.В. / ГИП П.П. Киселёв. – Екатеринбург, 2015 (неопубликованная литература)

21. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – Утвержд. 23.03.1998. – М: РАО «ЕЭС России»; Москва: «Издательство НЦ ЭНАС», 2002. – 152 с.

22. СО-153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – Введ. 30.06.2003. – Москва: Минэнерго России, приказ № 380 от 30.06.2003

23. 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.

25. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 11 «Проектирование электроустановок квартир с улучшенной планировкой и коттеджей». Компания «Schneider Electric». – октябрь, 2007. – 240с., ил.

26. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 214 с., ил.

27. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электро- снабжению. – 2-е изд. – Москва: ФОРУМ, 2011 – 136с.

28. Электроводонагреватели ЭВП-3, ЭВП-4,5, ЭВП-6, ЭВП-9, ЭВП-15 с электронным управлением. Паспорт. Руководство по эксплуатации. – Компания «ЭЛВИН». – 32с., ил.

29. Энергетика. Оборудование. Документация.//Оборудование // ВЛ и провода [электронный ресурс]. – URL: [http:// www.forca.ru](http://www.forca.ru)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схемы электрические

ПРИЛОЖЕНИЕ А.1

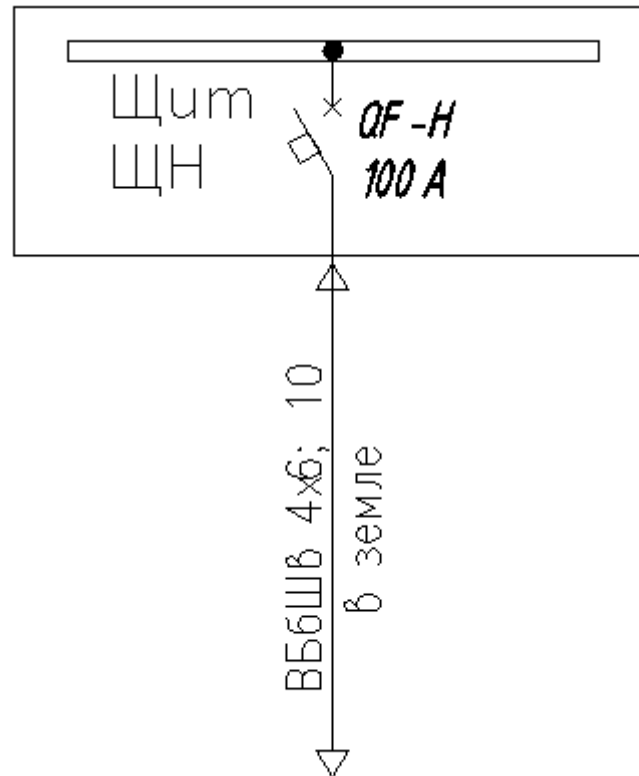
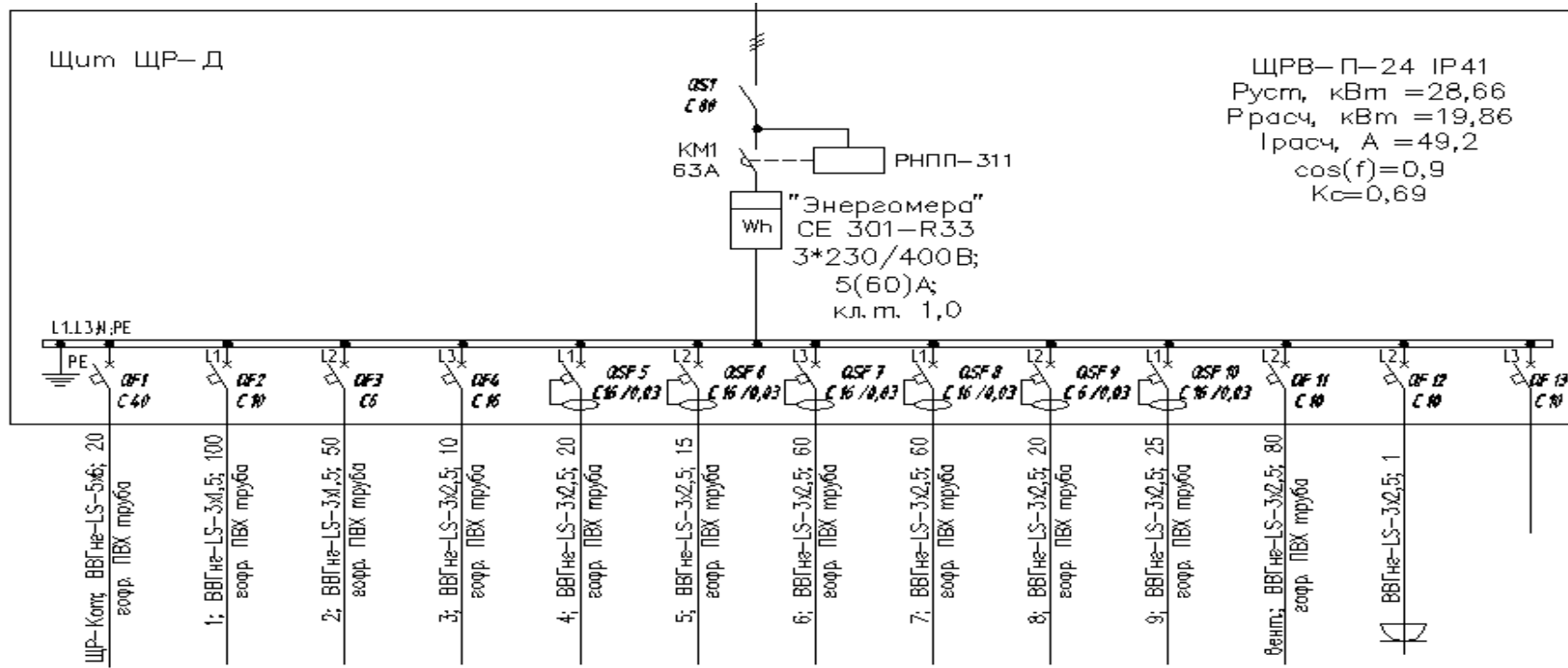


Рисунок А.1 – Схема электрическая щита подключения дома ЩН, установленного на опоре 0,4 кВ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.2



Обозначение	ЩР-Котл	1	2	3	4	5	6	7	8	9	вент.	Розетка	Резерв
P _у , кВт	11,18	2,38	1,20	2,2	2,0	2,2	2,0	1,9	1,0	1,6	1,0		
P _р , кВт	8,94	2,38	1,20	1,1	1,0	1,1	1,2	1,14	0,5	0,8	0,5		
I _р , А	18,76	3,62	1,83	3,52	3,58	4,18	3,58	3,40	1,79	3,04	1,9		
cos (φ)	0,91	1,0	1,0	0,95	0,85	0,8	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8		
Наименование	Щит котельной	Освещение 1 этажа	Освещение 2 этажа	Духовой шкаф	Розетки кухни	Посудомоечная машина	Розеточная сеть 1 этажа	Розеточная сеть 2 этажа	Розеточная сеть вход/выход	Розеточная сеть ванная 2 этаж	Система вентиляции		

Рисунок А.2 – Схема электрическая щита дома ЩР-Д

ПРИЛОЖЕНИЕ А.3

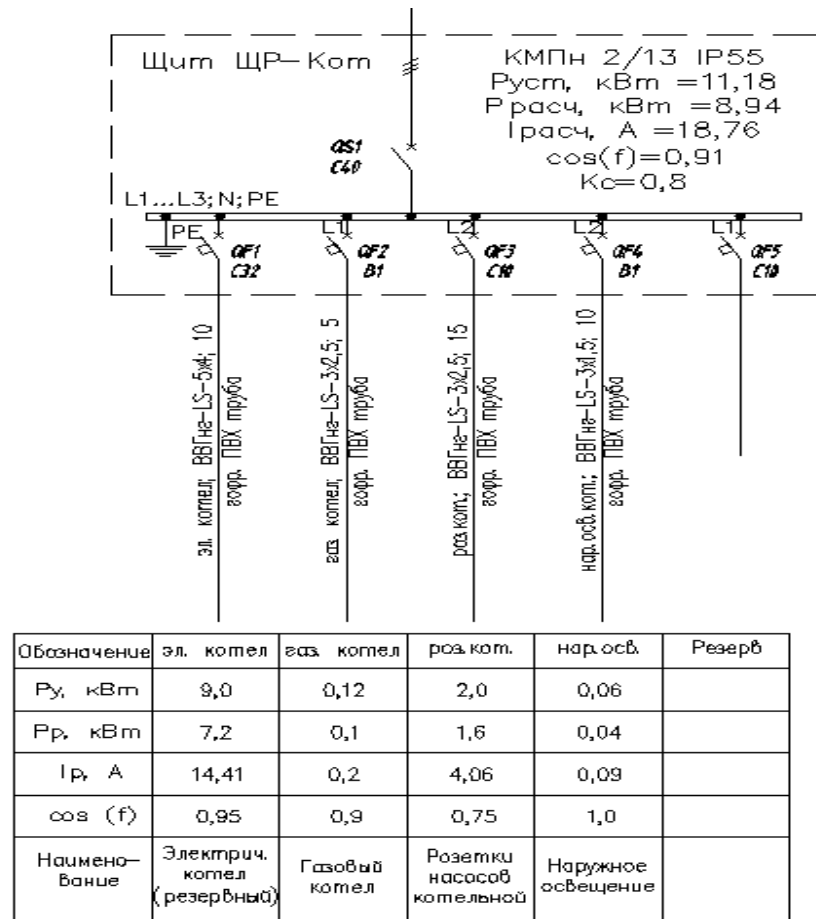


Рисунок А.3 – Схема электрическая щита котельной ЩР-Кот

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

План прокладки сети освещения

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.1

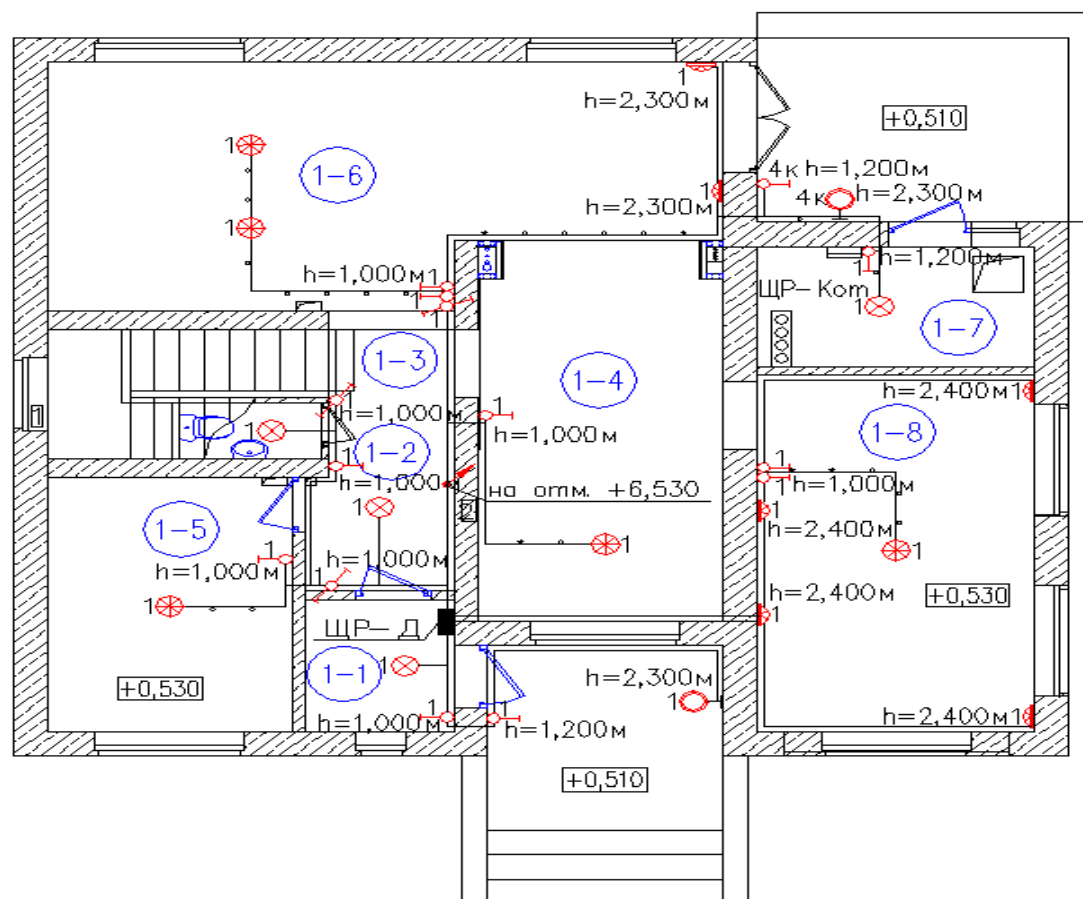


Рисунок Б.1 – План прокладки групповой сети освещения первого этажа

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.2

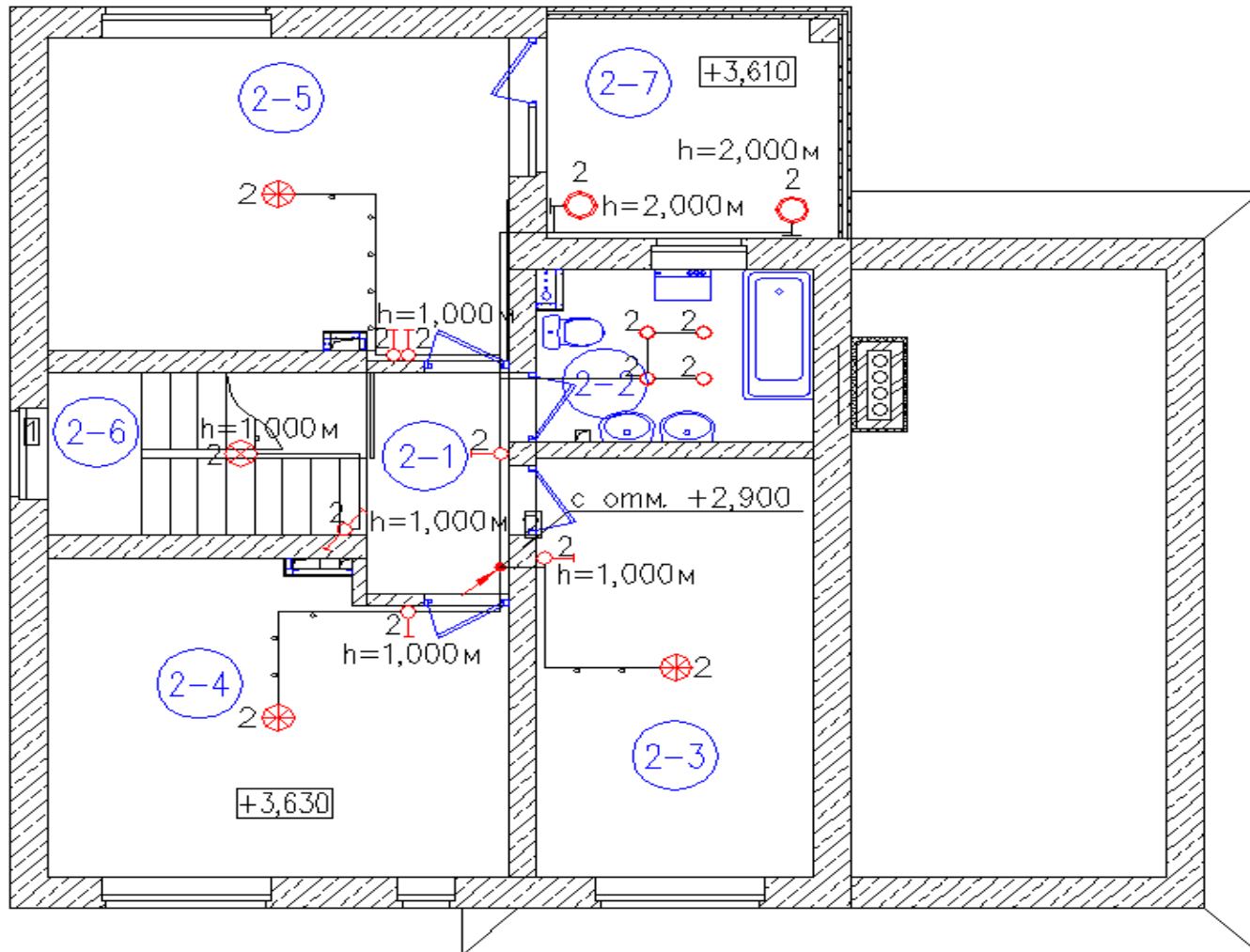


Рисунок Б.2 – План прокладки групповой сети освещения второго этажа

ПРИЛОЖЕНИЕ В

План прокладки розеточной сети

ПРИЛОЖЕНИЕ В.1

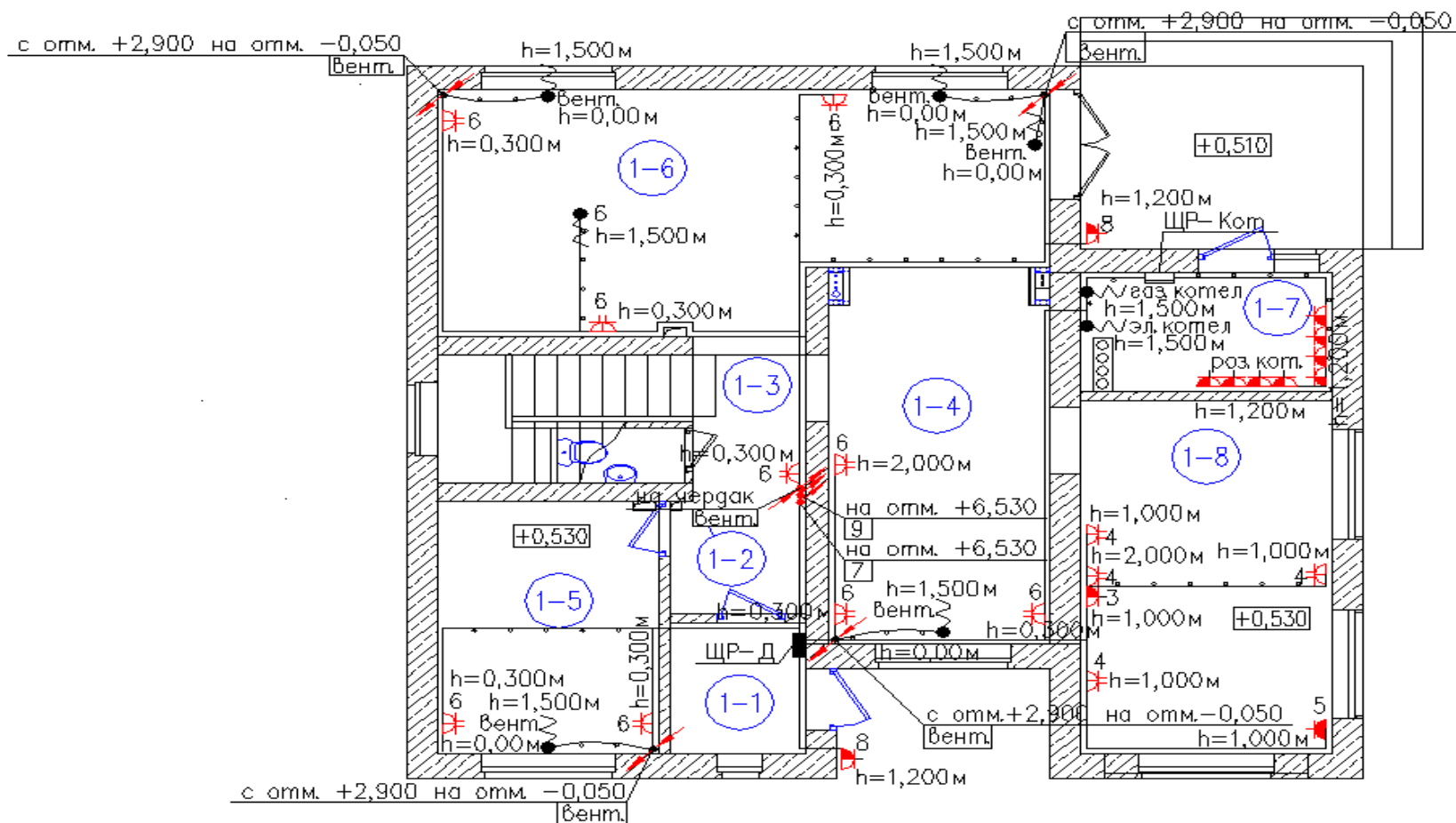


Рисунок В.1 – План прокладки групповой розеточной сети и сети вентиляции первого этажа

ПРИЛОЖЕНИЕ В.2

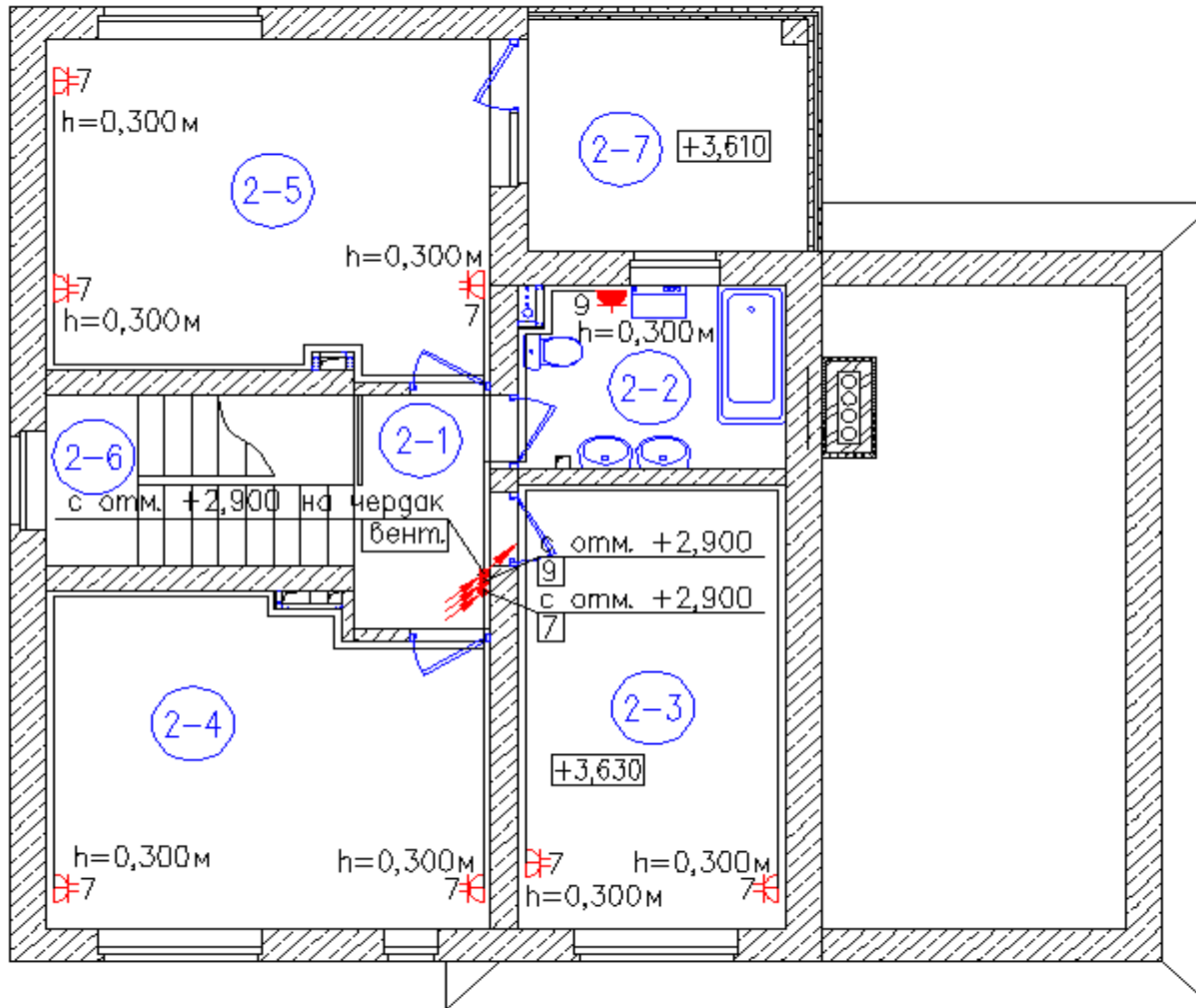
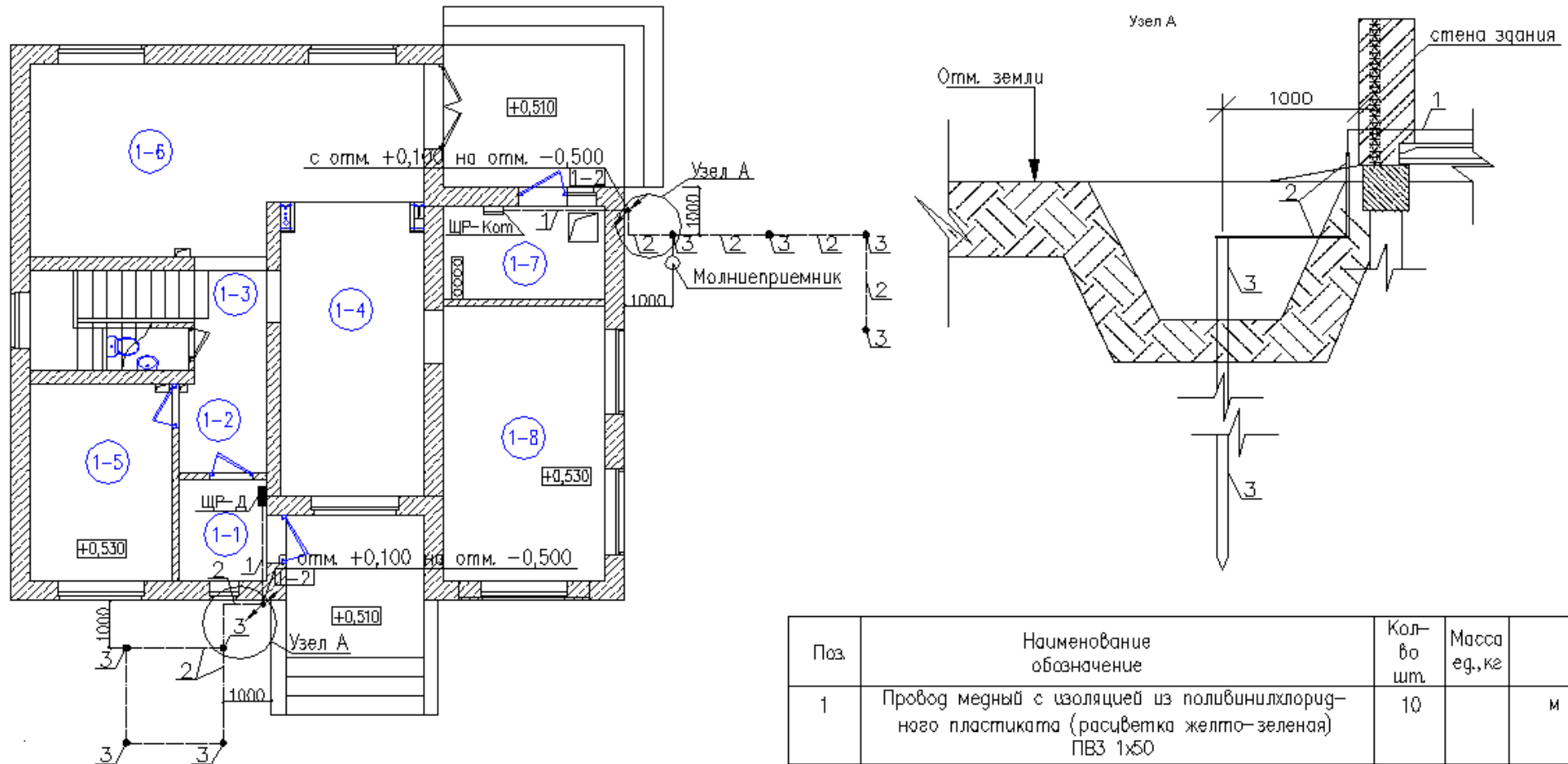


Рисунок В.2 – План прокладки групповой розеточной сети второго этажа

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Молниезащита и система заземления



Поз.	Наименование обозначение	Кол-во шт.	Масса ед., кг
1	Провод медный с изоляцией из поливинилхлоридного пластика (расцветка желто-зеленая) ПВЗ 1х50	10	м
2	Полоса стальная Б-40х5мм	17	м
3	Уголок стальной 50х50х5мм	8	L=2,0 м