

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
по направлению подготовки 14.03.04. Профессиональное обучение (по  
отраслям)  
профилю «Энергетика»  
специализации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и  
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 686

Екатеринбург 2018

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

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующая кафедрой ЭТ  
\_\_\_\_\_ А.О. Прокубовская  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

### **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Исполнитель:  
студент группы ДЗЭС-511

Р. А. Муртазин

Руководитель:  
старший преподаватель кафедры ЭТ

Ю. А. Юксеев

Нормоконтролер:  
старший преподаватель кафедры ЭТ

Т. В. Лискова

Екатеринбург 2018

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 58 страницах, содержит 15 рисунков, 4 таблицы, 32 источника литературы, и содержит 4 приложения графического материала.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, МОЛНИЕЗАЩИТА, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ЗАЕМЛЕНИЕ.

Муртазин Р.А. Разработка проекта электроснабжения многоквартирного жилого дома / Р.А. Муртазин; Рос. гос. проф-пед. ун-т, Ин-т инж-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. — Екатеринбург, 2018. — 58с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Разработка проекта электроснабжения многоквартирного жилого дома».

2. Цели выпускной квалификационной работы — разработать проект электроснабжения многоэтажного жилого дома.

3. Электроснабжение жилого дома было выполнено по кабельным линиям 0,4кВ кабелями марки ПВ 4 (1×50мм<sup>2</sup>). По степени надежности электроснабжения приемники учебно-производственного центра согласно «СП 31 - 110 – 2003» [20] относятся к потребителям третьей категории.

4. В выпускной квалификационной работе выполнены:

– разработка проекта электроснабжения жилого многоквартирного дома;

– выбор сечения проводов и защитного оборудования жилого дома;

– расчет контура заземления.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА .....	7
2 РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ. ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ, КАБЕЛЕЙ И ПРИБОРОВ УЧЕТА.....	8
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	8
2.2 Выбор сечения проводов, кабелей и автоматов защиты.....	11
2.2.1 Расчет мощности групповых сетей в квартире, выбор автоматов и проводов.....	14
2.2.2 Выбор защитной аппаратуры .....	15
2.3 Заземление .....	19
2.3.1 Руководство по эксплуатации и обслуживанию заземляющих устройств.....	21
2.3.2 Правила по соединению заземлителей .....	24
2.3.3 Эксплуатация заземляющих устройств .....	27
2.3.4 Расчет заземления .....	29
2.3.5 Система уравнивания потенциалов.....	32
2.3.6 Молниезащита .....	36
2.4 Выбор приборов учета.....	38
2.5 Выбор вводно-распределительного устройства .....	41
2.6 Расчет токов короткого замыкания.....	43
2.6.1 Расчет трехфазного короткого замыкания .....	45
2.6.2 Расчет тока однофазного короткого замыкания.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение жилых домов является неотъемлемой частью проживания людей в современном мире. Важность проектирования электроснабжения трудно переоценить. Необходимо учитывать, главным образом, безопасность людей, так как может быть непосредственный контакт человека с напряжением при использовании некачественных, испорченных, сломанных и не сертифицированных электроприборов. А также угрозу могут составить не защищенные заземлением электроприборы, что очень часто встречается в быту. При попадании под действие электрического тока система защиты должна максимально быстро среагировать и предотвратить поражение человека электричеством, а именно быстрым отключением поврежденного, опасного участка при помощи специальных автоматических устройств – устройств защитного отключения. Таким образом, поражение человека электрическим током может привести к серьезным травмам, а иногда даже к летальному исходу, поэтому, прежде всего, электроснабжение жилого дома должно быть максимально безопасно для человека.

Также не стоит забывать о защите электросистемы в целом. При проектировании и эксплуатации любой электроэнергетической системы приходится считаться с возможностью повреждений и ненормальных режимов работ, таких как: перегрузка сети, повышенное или пониженное напряжение и, пожалуй, самое распространенное и опасное - короткое замыкание (КЗ). Для защиты в жилых домах, а именно в квартирах, используются автоматические устройства - автоматические выключатели на различную мощность. Правильно выбранная и рассчитанная защита должна удовлетворять нормативным документам в части обеспечения требований селективности, быстродействия и чувствительности.

*Объектом исследования* является многоквартирный жилой дом.

*Предметом исследования* является электрооборудование многоквартирного жилого дома.

*Цель работы* – выполнить проект электроснабжения многоквартирного жилого дома.

*Задачи работы:*

- произвести расчет электрических нагрузок многоквартирного жилого дома;
- 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 выбор молниезащиты.

# 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Проектируемый многоквартирный двухэтажный жилой дом в г. Тобольске предназначен, как для временного проживания на время производства работ на строительной площадке «СИБУР Тобольск», так и для постоянного проживания в нем местного населения. Жилой дом — двухэтажный, двухсекционный, с газоснабжением, прямоугольной формы, с не эксплуатируемыми чердаком и техническим подпольем. Размеры дома в крайних осях  $20,75 \times 69,75$  м. Проектом предусмотрено две рядовых прямоугольных секции. Внутри здания располагаются квартиры. Каждая секция дома имеет свою лестничную клетку, на которую выходят двери. Жилой дом получает электроснабжение от трансформатора ТМ-400/10/0,4. Трансформаторная подстанция (ТП) находится вне помещения жилого дома на расстоянии 300 м. Жилой дом по надежности электроснабжения относится к третьей категории, с системой заземления TN-C-S.

Грунт в районе здания — суглинок с температурой  $+10$  °С. Конструктивная схема здания — бескаркасная стеновая, состоящая из кирпичных стен, пустотных плит перекрытий, покрытия и монолитного железобетонного ленточного фундамента. Несущими элементами являются фундамента, стены и плиты перекрытий.

Технико-экономические показатели проектируемого объекта:

- размеры здания НС А х В х Н=  $69,75 \times 20,75 \times 8,6$  м;
- все помещения, высотой 2,8 м;
- этажность здания: надземных этажей — 2; чердак — 1;
- площадь здания: 1447,3 кв. м;
- крыша выполнена из металлической кровли толщиной 0.9 мм;
- под кровлей нет опасности воспламенения горючих материалов;
- количество квартир — 24.

## **2 РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ТОКОВ КРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ. ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ, КАБЕЛЕЙ И ПРИБОРОВ УЧЕТА**

### **2.1 Расчет электрических нагрузок**

Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования любой системы электрификации. Важно вычислить значения электрических нагрузок, поскольку именно они определяют выбор всех элементов, а также технико-экономические показатели проектируемой системы электрификации. От того насколько правильно будет произведена оценка ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на электрификацию, расход цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные затраты.

Неправильное определение или вообще отсутствие величины расчетной нагрузки – одно из часто встречающихся замечаний при проведении экспертизы проектов строительства и реконструкции. Несомненно, важно не допускать ошибок при определении электрических нагрузок, так как они приводят к аварийным режимам сетей и ухудшению технико-экономических показателей всего объекта проектирования.

Электрические нагрузки жилых помещений являются случайными и зависят от множества факторов, например, таких как: уклад жизни различных семей, набор электроприемников, материальный достаток семьи и др. Нагрузки жилых зданий существенно меняются в течение суток и в зависимости от времени года.

Так, электрическая нагрузка характеризует потребление электроэнергии отдельными приемниками, группой приемников в жилом доме или общественном помещении. Для расчета нагрузок используются коэффициенты спроса  $K_c$  и одновременности  $K_o$ , которые являются отношением наибольшей расчетной нагрузки в данной точке сети к установленной мощности электроприборов [20].



Питающие линии электроприемников жилых зданий и соответствующие им коэффициенты мощности приводятся в таблице 1.

Таблица 1 — Коэффициенты мощности

Питающие линии электроприемников жилых зданий	Коэффициенты мощности
квартиры с электрическими плитами	0,98
то же с бытовыми кондиционерами воздуха	0,93
квартиры с плитами на природном, сжиженном газе и твердом топливе	0,96
то же с бытовыми кондиционерами воздуха	0,92
общего освещения в общежитиях коридорного типа	0,95
хозяйственных насосов, вентиляционных установок и других санитарно-технических устройств	0,8
лифтов	0,65

В настоящее время расчет электрических нагрузок жилых и общественных зданий должен выполняться согласно своду правил по проектированию и строительству СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» [20], который одобрен и рекомендован Госстроем России от 26.10. 2003г. № 194 и согласован: Госэнергонадзором России от 26.03.2003г.№ 32-01-07/41 и ГУГПС МЧС России от 26.10.2003г. №18/4/2834.

Перейдем к расчету электрической нагрузки для двадцати четырех квартир жилого дома. Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир  $P_p$  определяется по формуле (1).

$$P_p = P_{кв.уд.} \times n \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $P_{кв.уд.}$  - удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по таблице 6.1 [20] в зависимости от числа квартир, присоединенных к линии (ТП), типа кухонных плит, кВт/квартиру. Удельные

электрические нагрузки установлены с учетом того, что расчетная неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам трехфазных линий и вводов не превышает 15%;

$n$  - количество квартир, в доме.

$$P_p = 1.4 \times 24 = 33,6 \text{ кВт.}$$

Для того, чтобы определить полную расчетную мощность  $S_p$  нужно воспользоваться следующей формулой:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \text{ кВА,} \quad (2)$$

где  $P_p$  - расчетная активная мощность, кВт;

$Q_p$  - расчетная реактивная мощность, кВАр;

$S_p$  - полная расчетная мощность, кВА.

Коэффициент  $\cos\varphi$  по справочным данным [20] из таблицы 1 равен 0.96.

$tg\varphi$  рассчитывается по формуле представленной ниже,

$$tg\varphi = tg(\arccos \varphi). \quad (3)$$

Пользуясь формулой (3), считаем  $tg\varphi$ .

$$tg\varphi = tg(\arccos 0.96) = 0.29.$$

Находим расчетную реактивную мощность по формуле (4):

$$Q_p = P_p \times tg\varphi \text{ кВАр.} \quad (4)$$

Из полученных значений по формулам (1) и (3), рассчитываем реактивную мощность, используя формулу (4):

$$Q_p = 33,6 \times 0,29 = 9,74 \text{ кВАр.}$$

Считаем полную мощность, используя формулу (2).

$$S_p = \sqrt{33,6^2 + 9,74^2} = 35 \text{ кВА.}$$

Указывается значение токовой расчетной нагрузки, по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, которое определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (5)$$

где  $I_p$  - максимальный ток нагрузки, А;

$S_p$  - полная расчетная мощность,  $kVA$ ;

$U_{ном}$  - номинальное напряжение на шинах,  $kV$ .

Токовая расчетная нагрузка считается по формуле (5).

$$I_p = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 53,2 \text{ A.}$$

Таким образом, электрические нагрузки являются исходными данными для решения сложного комплекса технических и экономических вопросов, возникающих при проектировании электроснабжения зданий и сооружений. Определение электрических нагрузок составляет первый этап проектирования любой системы электроснабжения и производится с целью выбора и проверки токоведущих элементов и трансформаторов по нагреву и экономическим соображениям, расчета отклонений и колебаний напряжений, выбора компенсирующих установок, защитных устройств и так далее.

От правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок зависит рациональность выбора схемы и всех элементов системы электроснабжения и ее технико-экономические показатели (капитальные вложения, ежегодные эксплуатационные расходы, расход цветного металла и потери электроэнергии).

## **2.2 Выбор сечения проводов, кабелей и автоматов защиты**

Прежде чем перейти к выбору сечения рассмотрим общие принципы выбора проводов и кабелей. Чтобы спроектировать электропроводку необходимо выбрать тип провода или кабеля, который будем использовать, а также тип сечения токопроводящего проводника и способы их прокладки. В жилых домах используются, как правило, изолированные провода и кабели с медными жилами напряжением до 1000В.

Типы проводов и кабелей определяют следующие факторы:

- материал изоляции токоведущих жил (резина, поливинилхлорид, полиэтилен и пр.);
- есть ли общие оболочки и оплетки;

- горючесть изоляционного материала провода или кабеля;
- токоведущие жилы (медь, алюминий);
- гибкость токоведущей жилы;
- конструктивное выполнение (круглый, плоский, самонесущий и др.);
- назначение (для водопогружных насосов; повышенной термической стойкости и др.);
- напряжение (220, 380, 660 и 1000В);
- число токоведущих жил.

Особенности, на которые следует обращать внимание при выборе типа провода или кабеля:

- где планируется прокладка и способ монтажа (в земле, в грунте, в воздухе, в трубах, открыто без крепления, открыто на изоляторах, скрыто и др.);
- характеристика помещений (сухие, сырые, особо сырые, с химически активной средой и др.);
- влияние внешних воздействий (температура окружающей среды; наличие воды, пыли, коррозионно-активных и загрязняющих веществ, механические внешние воздействия, наличие флоры и фауны, солнечное излучение, конструкция здания);
- напряжения питающей сети.

Выбранные для электроснабжения проводники и защитные устройства должны удовлетворять следующим условиям:

- проводить расчетный ток;
- не перегреваться;
- выдерживать кратковременные перегрузки;
- падение напряжения не должно превышать нормативных значений;
- защита проводников от перегрузок и коротких замыканий должна происходить за счет защитных устройств, таких как автоматические выключатели.

Перейдем к выбору сечения проводов и кабелей. Сечение проводов и кабелей определяют, учитывая допустимый нагрев (нормального и аварийного режимов). Выбор сечения из условий допустимого нагрева сводится к пользованию соответствующими таблицами. В таблицах указано значение сечения кабеля и провода при длительных высоких токовых нагрузках. Для того чтобы предупредить преждевременный износ изоляции, гарантировать надежный контакт в местах соединения проводников и устранить различные аварийные ситуации.

Ниже представлена таблица 2 с указанием сечения токопроводящих жил и соответствующие им показатели токовых нагрузок [15].

Таблица 2 — Сечения жил проводов и соответствующие им токовые нагрузки

Сечение токопроводящей жилы, мм	Медные жилы, проводов и кабелей			
	Напряжение, 220 В		Напряжение, 380 В	
	Ток, А	Мощность, кВт	Ток, А	Мощность, кВт
1,5	9	4,1	6	10,5
2,5	7	5,9	5	16,5
4	8	8,3	0	19,8
6	6	10,1	0	26,4
10	0	15,4	5	33,0
16	5	18,7	5	49,5
25	15	25,3	0	59,4
35	35	29,7	15	75,9
50	75	38,5	45	95,7
70	15	47,3	80	118,8

## 2.2.1 Расчет мощности групповых сетей в квартире, выбор автоматов и проводов

Расчет сечения провода будет зависеть от показателя суммарной мощности, потребляемой электрическими приборами в квартире. Она может рассчитываться индивидуально, или по средним характеристикам. В таблице 3 представлены средние характеристики для электроприборов.

Зная показатель мощности, определяем номинальную силу тока по формуле (6):

$$I_{\text{дл. линии}} = \frac{P \cdot K_o}{U \cdot \cos\varphi}, \quad (6)$$

где  $I_{\text{дл. линии}}$  - длительный ток линии, А;

$P$  - мощность, Вт;

$K_o$  - коэффициент одновременности;

$U$  - номинальное напряжение, В.

Используя формулу (6), определяем номинальную силу тока:

$$I_{\text{дл. линии}} = \frac{7200 \cdot 0,7}{220 \cdot 1} = 22,9 \text{ А.}$$

Все остальные группы просчитываем точно так же и заносим в таблицу 4.

Таблица 3 — Квартирные группы электросетей и потребители

Наименование	Коэффициент спроса ( Kс)	Мощность (P), Вт	Приведенная мощность (P), Вт
<b>Освещение</b>	0,7	1400	980
<b>Итого:</b>	<b>0,7</b>	<b>1400</b>	<b>560</b>
<b>Розеточная группа кухни</b>			
Холодильник	0,7	200	140
Посудомоечная машина	0,2	300	60
Микроволновка	0,3	1000	300
Чайник	0,3	1200	360
Пылесос	0,2	700	140
Стиральная машина	0,2	2000	400
Бойлер	0,3	1500	450
Другие потребители	0,3	300	90
<b>Итого:</b>	<b>0,3125</b>	<b>7200</b>	<b>2250</b>
<b>Розеточная группа жилых помещений</b>			
Телевизор	0,6	200	180
DVD-плеер	0,4	200	80
Пылесос	0,3	800	240
Утюг	0,2	1200	300
Фен	0,4	700	360
Обогреватель	0,1	1500	300
Другие потребители	0,3	300	90
<b>Итого:</b>	<b>0,325</b>	<b>4900</b>	<b>1550</b>
<b>Итого по квартире:</b>	<b>0,45</b>	<b>13500</b>	<b>6100</b>

### 2.2.2 Выбор защитной аппаратуры

Любое электрооборудование должно быть защищено устройствами автоматического отключения в случае появления перегрузок, коротких замыканий (сверхтоков) или недопустимых токов утечки. Сверхток – это любой ток, превышающий номинальный. Обычно сверхтоки появляются, когда случаются перегрузки или короткие замыкания в электроустановках.

Защитная аппаратура автоматического отключения представляет собой следующие виды устройств: плавкие предохранители, автоматические выключатели и дифференциальные автоматические выключатели.

Рассматриваем только автоматические выключатели и дифференциальные автоматические выключатели, руководствуясь нормативной литературой [20]. Произведем расчет для выбора автоматических

выключателей, чтобы защитить электроприёмники и линии групповых сетей от токов короткого замыкания.

Автоматические выключатели выбираем исходя из условий (7), (8), (9):

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}. \quad (7)$$

$$U_{н.а} \geq U_{сети}. \quad (8)$$

$$I_{н.р} \geq I_{дл. линии}. \quad (9)$$

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

$I_{н.а}$  - номинальный ток автомата, А;

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

$U_{н.а}$  - номинальное напряжение автомата, В;

$U_{сети}$  - номинальное напряжение сети, В.

В качестве примера выбираем автоматы для кухонной группы розеток с номинальной силой тока 22,9 А, посчитанной по формуле (6) и исходя из условий (7), (8), (9).

$$I_{н.р} \geq 22,9 \text{ А.}$$

Выбираем автомат с номинальным током  $I_{н.а} = I_{н.р} = 25 \text{ А}$ .

Рассчитываем ток мгновенной отсечки автомата категории С по формуле (10):

$$I_{уст} \geq K_0 \cdot I_{ном}. \quad (10)$$

где  $I_{уст}$  - ток мгновенного срабатывания автомата, А;

$I_{расч}$  - расчетный ток группы розеток, А;

$K_0$  - кратность тока мгновенной отсечки автомата категории С.

$$I_{уст} = 10 \cdot 25 = 250 \text{ А.}$$

Мгновенное срабатывание автоматического выключателя происходит при перегрузке кратной (10) от номинального тока отсечки автомата. По требованиям ПУЭ данная группа розеток должна быть защищена не только автоматическим выключателем, но и устройством защитного отключения (УЗО). Или же дифференциальным автоматическим выключателем, который представляет собой уникальное устройство, в котором одновременно



сочетаются функции автоматического выключателя и защитные свойства УЗО. При этом, ток утечки УЗО должен составлять не менее 0,3 А. По произведенным расчетам и требованиям ПУЭ выбираем дифференциальный автомат с номинальным током расцепителя превышающим значение 22,9 А и током утечки не менее 0,3 А. Таковым является дифференциальный автомат IEK 2п 25А/30мА АД-12 с номинальным током расцепителя  $I_{н.р.} = 25$  А.

На основании произведённых расчётов номинальных токов производим выбор провода электроснабжения потребителей согласно номинальному току отсечки автомата и току перегрузки при коротком замыкании. Для выбора сечения проводника по условиям нагрева, сравниваются расчётный максимальный  $I_p$  и допустимый  $I_\Delta$  токи для проводника данной марки и условий его прокладки. При этом должно соблюдаться следующее соотношение:

$$I_p \leq I_\Delta. \quad (11)$$

Значения допустимых длительных токов для кабелей составлены для нормальных условий прокладки (температура воздуха +25 °С, земли +15 °С, в штробе проложен только один провод). Если условия прокладки проводников отличаются от нормальных, то допустимый ток нагрузки определяется с поправкой на температуру и количество прокладываемых рядом кабелей.

Тогда сечение кабеля выбираем из условия (12):

$$I_\Delta \geq I_p / (K_1 \cdot K_2), \quad (12)$$

где  $I_\Delta$  - допустимый ток для кабеля, А;

$I_p$  - расчетный ток потребителя, А;

$K_1$  - коэффициент, учитывающий число рядом работающих кабелей;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий отклонение температуры окружающей среды от нормированной.

Например, определим сечение кабеля для подключения кухонной группы. Кабель прокладываем в штробе с температурой около +25 °С, число рядом

проложенных кабелей принимаем равным единице. В этом случае коэффициенты равны  $K_1 = 1$ ,  $K_2 = 1$ .

Допустимый ток определится согласно условию (12):

$$I_d \geq \frac{22,9}{1,1} = 22,9 \text{ А.}$$

Согласно ПУЭ [15] для питания групп розеток потребителей выбираем кабели марки ВВГнг. Определяем величину допустимого тока и сечение кабельной жилы, используя таблицу допустимых значений токов для провода. В результате выбираем кабель с допустимым током  $I_{доп}$  превышающим 22,9 А, кабель марки ВВГнг-3х4, для которого допустимый ток равен 38 А.

Выбранный кабель проверяем на соответствие аппарату защиты. Так как групповая электрическая сеть квартиры должна быть защищена от перегрузки в соответствии с пунктом 3.1.11 ПУЭ [15], то:

$$I_{доп} \geq I_{уст}, \quad (13)$$

где  $I_{уст}$  - ток уставки автоматического выключателя имеющего только максимальный мгновенного действия расцепитель, А;

$I_{доп}$  - допустимая токовая нагрузка проводника, защищаемого от токов КЗ и перегрузки, А.

Аналогично выбираем кабели и для всех остальных потребителей, результаты заносим в таблицу 4.

Выбираем сечение проводов группы розеток кухни. Сечение проводов должно удовлетворять условию (13). Для провода кухонной группы  $I_{уст} = 250$  А согласно расчетам (10), ток мгновенного срабатывания автомата:

$$I_{доп} \geq 250 \text{ А.}$$

Этому условию соответствует медный провод ВВГнг 3х4мм<sup>2</sup>  $I_{доп}=430$  А, результаты выбора заносим в таблицу 4.

Выбор автоматов, проводов и кабелей для жилого дома исходя из посчитанных токов и нагрузок с учетом коэффициентов использования, одновременности заносим в таблицу 4.

Таблица 4 — Таблица выбранных проводов и автоматов

Потребители электроэнергии	$I_p$ , А	Марка автомата	Марка кабеля	Примечание
Жилой дом	53,2	ВРУСЗМ 20-63А	ПВ14х(х50мм <sup>2</sup> )	Рекомендации СП 31-110-2003. Пункт 6.2
Распределительная сеть по подъездам	42,1	IEK 3п С/ 50А ВА 47-29	ПВ1 (4х16мм <sup>2</sup> )	PM 2696-01 Пункт 3.2
Распределительная сеть к квартирным щиткам	31,8	IEK 3п С/ 32А ВА 47-29	ПВ1 (4х6мм <sup>2</sup> )	PM 2696-01 Пункт 3.2
Розеточная группа кухни в квартире	22,9	IEK 2п 16А/30мА АД-12	ВВГнг (3х4мм <sup>2</sup> )	Расчеты
Розеточная группа жилых помещений в квартире	15,9	IEK 2п 16А/30мА АД-12	ВВГнг (3х2,5мм <sup>2</sup> )	Расчеты
Освещение в квартире	0,98	IEK 1п С/ 10А ВА 47-29	ВВГнг (3х1,5мм <sup>2</sup> ) ВВГнг (4х1,5мм <sup>2</sup> )	ПУЭ 7.1.34
Общедомовое освещение	0,5	IEK 1п С/ 10А ВА 47-29	ВВГнг (3х1,5мм <sup>2</sup> )	ПУЭ 7.1.34
Аварийное освещение дома	0,24	IEK 1п С/ 10А ВА 47-29	ВВГнг (3х1,5мм <sup>2</sup> )	ПУЭ 7.1.34

### 2.3 Заземление

В технической литературе часто описываются понятия заземление и зануление. Действительно, вопрос о заземлении в домах и квартирах встал в нашей стране относительно недавно. Для начала остановимся на определении и видах защитного заземления.

Под защитным заземлением понимается преднамеренное электрическое соединение какой-либо части электроустановки с заземляющим устройством (ПУЭ) для обеспечения электробезопасности работающего персонала. Основной функцией защитного заземления является обеспечение безопасности. Выделяют несколько видов заземления:

- Рабочее заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей отдельных точек электрической цепи, таких как, нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов и др. Такой вид заземления предназначен для обеспечения безопасной и надлежащей работы электроустановки в нормальных или аварийных условиях. Осуществляется непосредственно или через специальные аппараты – пробивные предохранители, разрядники, резисторы и прочее.

- Заземление молниезащиты – электрическое соединение с землей молниеприемников и разрядников для защиты домов и зданий от разрядов молнии.

- Замыкание на корпус – это случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Замыкание на корпус может быть результатом может быть случайное касание токоведущей части корпуса машины, повреждения изоляции, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие части электроустановок и др.

Главным назначением защитного заземления является устранение опасности поражения человека током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим частям.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. За счет уменьшения сопротивления заземления, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек. А также заземленного оборудования за счет подъема потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования. Сопротивление заземления – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя на землю.

### **2.3.1 Руководство по эксплуатации и обслуживанию заземляющих устройств**

Данные указания разработаны на основании ГОСТ 12.1.030-81 "Электробезопасность, Защитное заземление, зануление" [23]; Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (М. Энергосервис 2003) [14]; Правил устройства электроустановок (М.: "Энергоатомиздат", 2006) [15]; СНиП 3.05.06-85 "Электротехнические устройства" [21].

С целью уравнивания потенциалов в помещениях и наружных установках, их элементы должны быть присоединены к сети заземления или зануления. Такие установки как, например, строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования и т.п.

Необходимо применять одно общее заземляющее устройство для территориально сближенных электроустановок разных назначений и напряжений. Используемое заземляющее устройство должно удовлетворять всем требованиям, которые предъявляются к заземлению электроустановок разных назначений и напряжений. К примеру, следующим требованиям: должна выполняться защита людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условия режимов работы сетей, защита электрооборудования от перенапряжения и прочее в течение всего периода эксплуатации.

Сначала должны быть соблюдены требования, предъявляемые к защитному заземлению. Важно помнить, что заземляющие устройства защитного заземления электроустановок зданий и сооружений и молниезащиты второй и третьей категорий этих зданий и сооружений, как правило, должны быть общими.

Рассмотрим устройство заземления:

- устройство вертикальных заземлителей (электродов) приведено на рисунке 1. Длина вертикальных электродов должна быть не менее 1 м, верхний конец вертикальных заземлителей должен быть заглублен на 0,5 - 0,7 метра;

- горизонтальные заземлители можно использовать для связи вертикальных заземлителей, а также в качестве самостоятельных заземлителей. Глубина прокладки горизонтальных заземлителей - не менее 0,5 - 0,7 м. Меньшая глубина прокладки допускается в таких местах как: присоединений к оборудованию, при вводе в здания, при пересечении с подземными сооружениями и в зонах многолетнемерзлых и скальных грунтов. Горизонтальные заземлители из полосовой стали следует укладывать ребром на дно траншеи, как показано на рисунке 2.

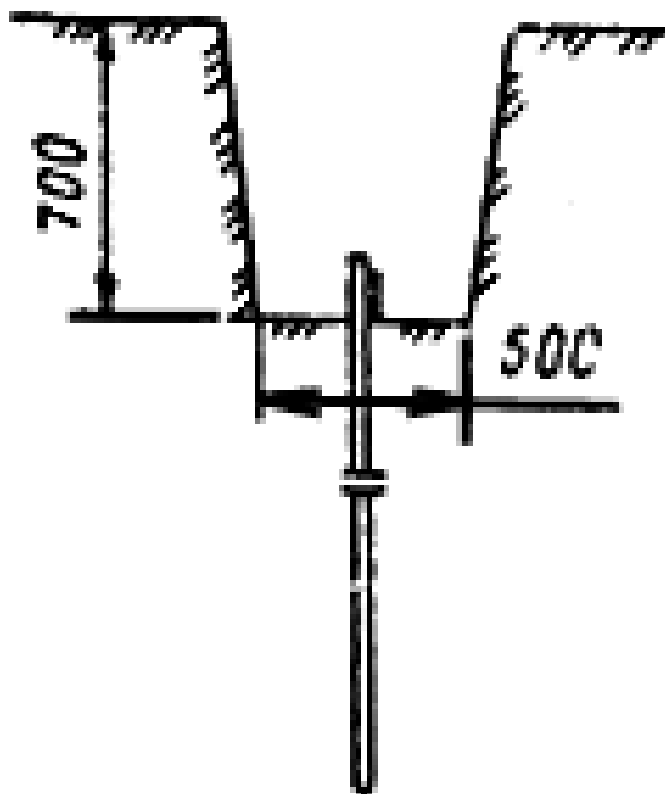


Рисунок 1 — Установка вертикальных заземлителей

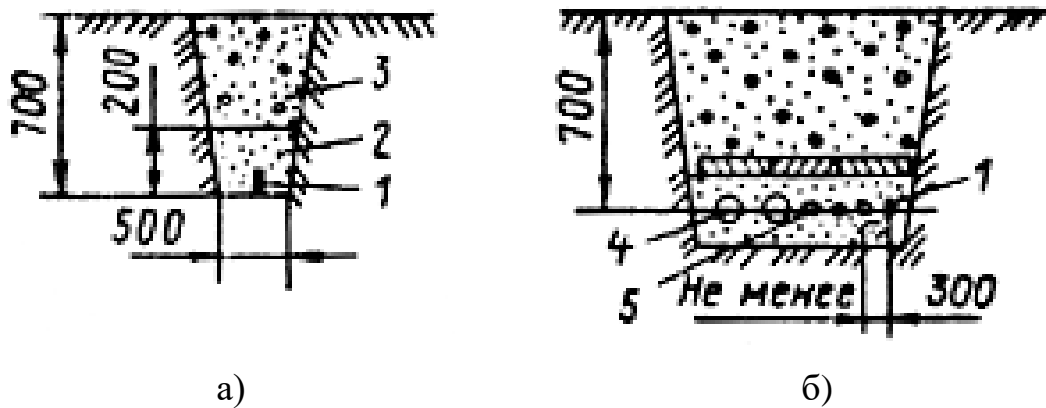


Рисунок 2 — Прокладка горизонтальных заземлителей в траншее (а) и совместно с кабелем (б):

1 — полоса; 2 — мягкий грунт; 3 — грунт; 4 — силовые кабели; 5 — контрольные кабели

Траншеи для горизонтальных заземлителей должны быть заполнены сначала однородным грунтом, который не должен содержать щебень и строительный мусор, с утрамбовкой грунта на глубину 200 мм, а затем — засыпаться местным грунтом.

По условиям механической прочности размеры заземлителей должны быть следующие (не менее):

Характеристики заземлителей:

- диаметр неоцинкованных - 10 мм;
- диаметр оцинкованных - 6 мм;
- сечение прямоугольных заземлителей - 48 мм<sup>2</sup>;
- толщина прямоугольных заземлителей - 4 мм;
- толщина полок угловой стали - 4 мм;
- толщина стенки труб - 3,5 мм.

При повышенной коррозионной опасности необходимо выполнять следующие мероприятия:

- использование стали круглого сечения большего диаметра;
- применение оцинкованных заземлителей;
- заполнение траншеи влажной утрамбованной глиной;
- увеличение сечения заземлителя.

Места, где устройство заземлителя входит в грунт и места с различной воздухопроницаемостью рекомендуется гидроизолировать.

При сооружении искусственных заземлителей в зонах с большим удельным сопротивлением земли больше 500 Ом необходимы следующие мероприятия:

- установка вертикальных заземлителей увеличенной длины, если снижается удельное сопротивление грунта с глубиной, а естественные углубленные заземлители, например, скважины с металлическими обсадными трубами, отсутствуют;

- установка выносных заземлителей вблизи к электроустановкам, то есть участки с меньшим удельным сопротивлением грунта;

- укладка в траншее горизонтальных заземлителей скального грунта влажного глинистого грунта или другого электропроводящего материала с последующей трамбовкой и засыпкой обратным грунтом до верха траншеи;

- применение искусственной обработки грунта с целью снижения его удельного сопротивления, если другие способы не могут быть применены или не дают необходимого эффекта;

- помещение заземлителей в непромерзающие водоемы и талые зоны;

- использование обсадных труб скважин;

- создание искусственных талых зон путем покрытия грунта над заземлителем слоем торфа или другого теплоизоляционного материала на зимний период и раскрытия его на летний период, а также использование электроподогрева.

### **2.3.2 Правила по соединению заземлителей**

Соединение заземлителей с заземляющими проводниками следует выполнять при помощи сварки, как показано на рисунках 3, 4.



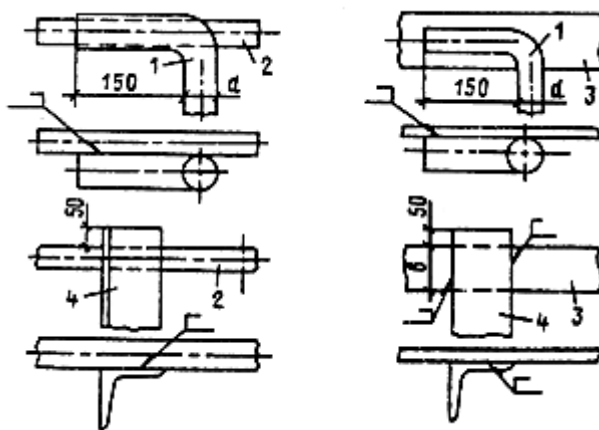


Рисунок 3 — Соединение заземляющих проводников с вертикальными заземлителями:

1 — стержневой заземлитель; 2 — заземляющий проводник из круглой стали; 3 — заземляющий проводник из полосовой стали; 4 — заземлитель из угловой стали

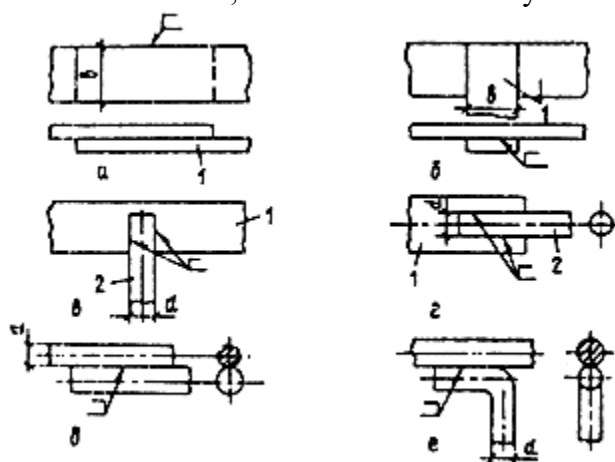


Рисунок 4 — Соединение заземляющих проводников с горизонтальными заземлителями:

а — продольное соединение проводников из полосовой стали, б — ответвление проводника из полосовой стали; в — ответвление проводника из круглой стали; г — продольное соединение проводников из полосовой и круглой стали; д — продольное соединение проводников из круглой стали; е — ответвление проводника из круглой стали; 1 — стальная полоса; 2 — сталь круглая

Сварные швы, расположенные в земле, следует покрывать битумным лаком.

Заземляющие проводники и трубопроводы присоединяются с помощью сварки, либо хомута (рисунок 4).

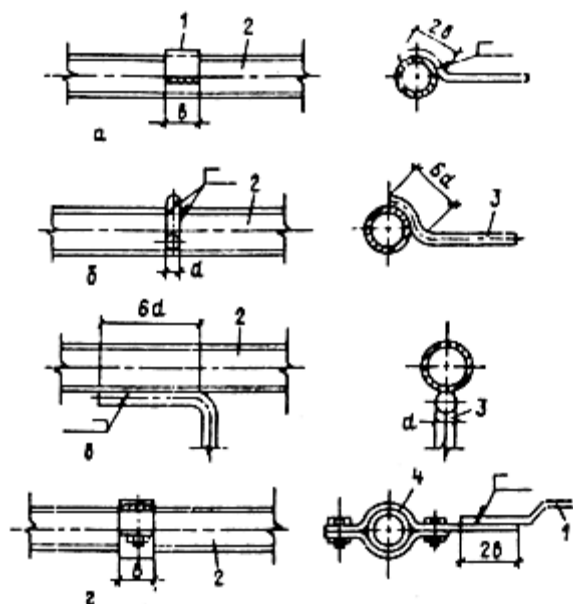


Рисунок 4 — Присоединение заземляющего проводника к трубопроводу сваркой (а-в) и с помощью хомута (г):

1 — заземляющий проводник из полосовой стали; 2 — трубопровод; 3 — заземляющий проводник на круглой стали; 4 — хомут

Если присоединение к трубопроводу заземляющего проводника невозможно с помощью сварки, только тогда применяют закрепление хомутом. При установке хомутов поверхность в месте присоединения трубопровода зачищается до металлического блеска, а контактная поверхность хомутов - облуживается. Хомуты должны быть изготовлены из полосовой стали шириной не менее 40 мм и толщиной 4 мм. Присоединение заземляющего проводника к хомуту следует выполнять сваркой.

Каждая часть электроустановки, подлежащей заземлению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в РЕ проводник заземляемых частей электроустановки не допускается (рисунок 5). Сечение заземляющих и нулевых защитных проводников должно соответствовать правилам устройства электроустановок.

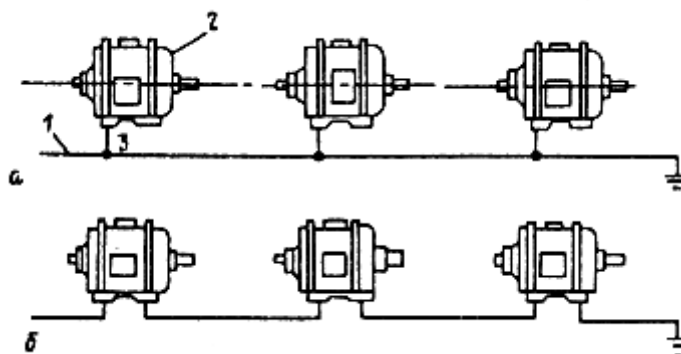


Рисунок 5 — Правильное (а) и неправильное (б) присоединение частей электроустановки к сети заземления:

1 — магистраль заземления; 2 — заземляемая часть электроустановки; 3 — ответвление к магистрали заземления

Присоединение РЕ проводников к заземлителям, заземляющему контуру и к заземляющим конструкциям должно быть выполнено сваркой, а к главному заземляющему зажиму, корпусам аппаратов, машин и опор воздушных линий электропередачи – надежным болтовым соединением (для обеспечения возможности производства измерений).

Открыто проложенные РЕ проводники должны иметь покрытие, предохраняющее от коррозии и окрашены в черный цвет. Для защиты от коррозии болтовые соединения покрываются консервирующей смазкой, например, «ЦИАТИМ-201».

### 2.3.3 Эксплуатация заземляющих устройств

Для определения технического состояния заземляющего устройства периодически проводить визуальные осмотры видимой части, осмотры заземляющего устройства с выборочным вскрытием грунта, измерение параметров заземляющего устройства в соответствии с нормами испытания электрооборудования [13].

Все работы выполняемые при ремонте, обслуживании и реконструкции заземляющих устройств (периодичность осмотров, объемы работ, условия измерений, правила текущего и капитального ремонтов и прочее) описаны в ПТЭЭП [13], а выполняются в соответствии с «Правилами по охране труда при

эксплуатации электроустановок» [12] и другими действующими нормативными документами.

Испытания заземляющего устройства (ЗУ) включают в себя:

- проверку состояния элементов ЗУ (элемент подлежит замене, если разрушено более 50% его сечения);
- определение сопротивления заземляющего устройства;
- проверку наличия цепи между заземлителями и элементами, которые заземляем;
- измерение удельного сопротивления грунта.

Выявленные дефекты подлежат немедленному устранению. В случае необходимости (превышение нормативных значений напряжения прикосновения) выполнять мероприятия по снижению напряжения прикосновения путем устройства дополнительных заземлений и металlosвязи.

На каждое находящееся в эксплуатации заземляющее устройство необходимо иметь паспорт, содержащий:

- исполнительную схему устройства с привязками к капитальным сооружениям, связями с надземными и подземными коммуникациями и с другими заземляющими устройствами;
- с датой ввода в эксплуатацию;
- основными параметрами заземлителей (материал, профиль, линейные размеры);
- величину сопротивления растеканию тока заземляющего устройства;
- удельным сопротивлением грунта;
- данными по напряжению прикосновения (при необходимости);
- данными по степени коррозии искусственных заземлителей;
- данными по сопротивлению металlosвязи оборудования с заземляющим устройством;
- ведомостью осмотров и выявленных дефектов;
- информацией по устранению замечаний и дефектов.

К паспорту прилагать результаты визуальных осмотров, осмотров со вскрытием грунта, протоколы измерения параметров ЗУ, данные о характере ремонтов и изменениях, внесенных в конструкцию устройства.

Использование провода заземления в качестве фазного или нулевого провода в электроустановках до 1000 В не допускается.

При использовании в электроустановке устройств защитного отключения осуществлять его проверку в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя и нормами испытаний электрооборудования.

### 2.3.4 Расчет заземления

Методика расчета заземления включает четыре этапа. Рассмотрим каждый из них ниже:

1. Определяем величину сопротивления одиночного вертикального заземлителя  $R_B$  по формуле (14):

$$R_B = \frac{\rho_{\text{расч.в}}}{2\pi a} \left( \ln \frac{2a}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+a}{4t-a} \right) \text{ Ом}, \quad (14)$$

где  $a$  – длина вертикального заземлителя, м;

$d$  – диаметр вертикального заземлителя, м.

$$R_B = \frac{150}{6\pi} \left( \ln \frac{6}{0,014} + \frac{1}{2} \ln \frac{11}{5} \right) = 51,37 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление грунта  $\rho_{\text{расч.в}}$  находим по формуле (15):

$$\rho_{\text{расч.в}} = \rho_{\text{уд.}} \times \varphi_{\text{в}}, \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \quad (15)$$

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

$\varphi_{\text{в}}$  – климатический коэффициент вертикального электрода.

$$\rho_{\text{расч.в}} = 90 \times 1,65 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{ м}.$$

Заглубление заземления  $t$  вычисляем по формуле (16):

$$t = t_0 + \frac{a}{2}, \text{ м}, \quad (16)$$

$$t = 0,5 + \frac{3a}{2} = 2 \text{ м}.$$

Далее определяем необходимое число вертикальных заземлителей  $n$  по формуле (17):

$$n = \frac{R_B}{R_3 \times \eta_B}, \quad (17)$$

где  $R_3$  - допустимое значение сопротивления защитного заземления, Ом (для сети 380/220 вольт 4 Ома);

$\eta_B$  - коэффициент использования вертикальных заземлителей, зависящий от отношения расстояния между вертикальными электродами к их длине  $\alpha$  и от варианта исполнения заземления: «в ряд» или «по контуру».

Порядок расчета  $n$ :

- 1) принять  $\eta_B = 1$  и найти  $n$  из формулы (17);
- 2) по найденному числу  $n$  из таблицы [9, с.20] методом интерполяции определить уточненное значение  $\eta_B$ ;
- 3) подставить определенное из таблицы [9, с.20] значение  $\eta_B$  в формулу (17) и определить окончательное число вертикальных заземлителей  $n$ ;
- 4) округлить полученное значение  $n$  до большего целого числа (например,  $n = 3,25$ , принять  $n = 4$ ).

$$n = \frac{51,37}{4 \times 1} = 12,84;$$

$$\eta_B = 0,67;$$

$$n = \frac{51,37}{4 \times 0,67} = 19,167.$$

Полученное число  $n = 19,167$  округляем до большего целого числа и получаем число 20, поэтому необходимое число вертикальных заземлителей 20 штук.

Рассчитанное количество заземлителей  $n$  забивают в подготовленную траншею вертикально через определенное расстояние и соединяют их все между собой горизонтальным электродом (полосой или прутком) длиной  $L$  соответствующего сечения.

2. Определяют сопротивление горизонтального электрода  $R_r$  по формуле (18):

$$R_{\text{гор}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{гор}}} \times \ln \frac{L_{\text{гор}}^2}{d_1 h}, \text{ Ом}, \quad (18)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$d_1$  – диаметр горизонтального электрода, м (для полосы  $d_1 = 0,5 \cdot b$ , где  $b$  – ширина горизонтальной полосы, м);

$h$  – глубина заложения горизонтальной сетки, м;

$L_{\text{гор}}$  – длина горизонтального электрода, м.

Длина горизонтального заземлителя рассчитывается по формуле:

- при размещении в ряд:  $L = \alpha \cdot (n - 1)$ ,

- при размещении по контуру:  $L = \alpha \cdot n$ ,

где  $\alpha$  – длина вертикального заземлителя;

$n$  – число вертикальных заземлителей.

Выбираем размещение по контуру здания и производим расчет по формуле (18):

$$R_{\text{гор}} = \frac{150}{6,28 \times 60} \times \ln \frac{60^2}{0,5 \times 0,012 \times 0,5} = 5,572 \text{ Ом}.$$

3. Определяем величину общего расчетного сопротивления заземляющего устройства по формуле (19):

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_g R_z}{R_g \eta_z + R_z \eta_g n}, \text{ Ом}, \quad (19)$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{51,37 \times 5,572}{51,37 \times 0,69 + 5,572 \times 0,67 \times 20} = \frac{286,23}{35,45 + 74,66} = 2,59 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства составляет 2,6 Ом, что меньше допустимого сопротивления 4 Ом.

На рисунке 6 представлена схема расположения электродов по контуру заземления.

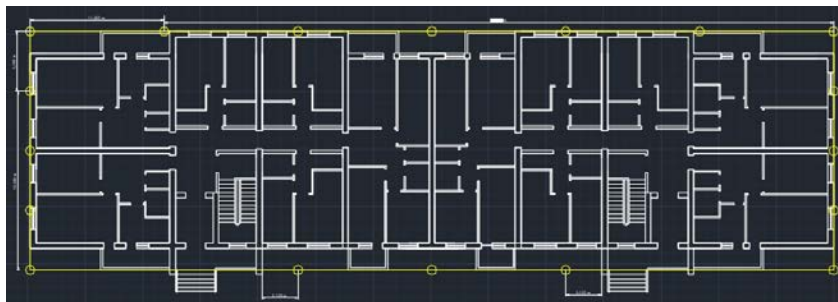


Рисунок 6 — Контур заземления и расположения электродов

### 2.3.5 Система уравнивания потенциалов

Современные здания и многоквартирные дома оборудованы множеством инженерных систем и бытовыми приборами, их металлические элементы служат проводниками электрического тока и обладают своим потенциалом. Если произойдет одновременное прикосновение человека к двум предметам с разными потенциалами, тогда возникает опасность поражения его электрическим током. Надежную защиту обеспечивает система уравнивания потенциалов (СУП).

Согласно пунктом 1.7.32 ПУЭ [15] под защитным уравниванием потенциалов понимают электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Защитные проводники могут находиться в составе линий электроснабжения здания или прокладываться отдельно. Каждое подключение токопроводящего элемента выполняется отдельным проводом, при помощи болтовых соединений, зажимов или сварки. Важно соблюдать условия доступности для осмотра и проведения испытаний, а так же защиты от механических повреждений и коррозии.

В зданиях различают основную и дополнительную системы уравнивания потенциалов. Правила по их выполнению определены в нормативных документах [26, 27, 28, 15].

#### *Основная система уравнивания потенциалов (ОСУП)*

ОСУП объединяет в единый контур все крупные токопроводящие части здания, которые в обычном состоянии не имеют электрического потенциала, с главной заземляющей шиной (ГЗШ). Рассмотрим графический пример выполнения СУП в электроустановке жилого дома (рисунок 7а, 7б).



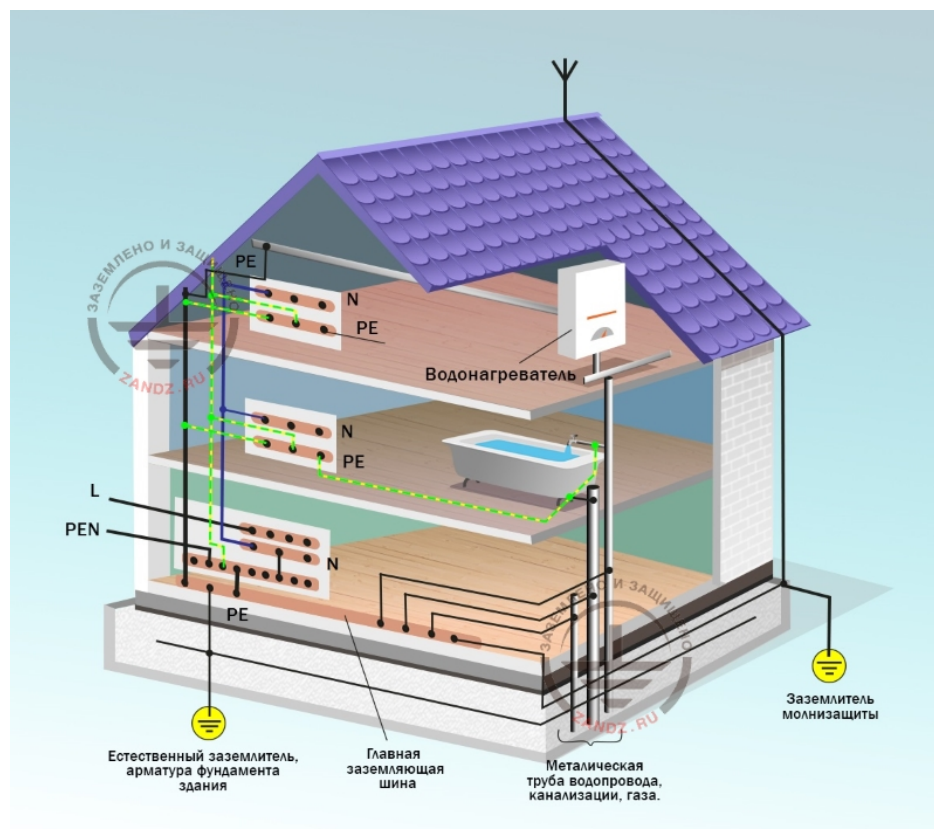


Рисунок 7а — Система уравнивания потенциалов жилого дома

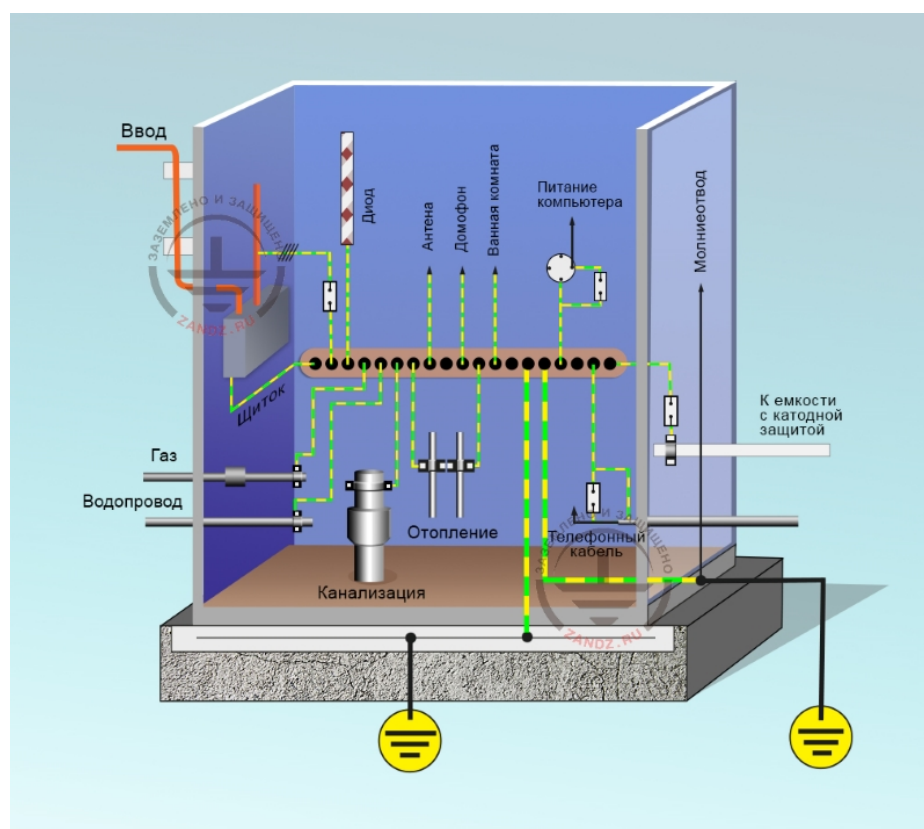


Рисунок 7б — Подключение системы уравнивания потенциалов к главной заземляющей шине

Исходя из приведенной схемы (рисунок 76), ОСУП состоит из следующих элементов:

- заземляющего устройства;
- главной заземляющей шины;
- нулевых защитных проводников;
- проводников уравнивания потенциалов.

Перечень проводящих частей в электроустановках до 1 кВ, подлежащих соединению в ОСУП, определен в п. 1.7.82 ПУЭ [15]. Главную заземляющую шину можно установить внутри вводно-распределительного устройства или обособленно, при соблюдении следующих условий: расположение неподалеку от защищаемого объекта, обеспечение доступа для ее обслуживания и обязательной защиты от возможного прикосновения.

Внутри вводно-распределительного устройства в качестве ГЗШ используют шину нулевого защитного проводника РЕ, что обеспечивает не только подключение защитного нуля питающей входящей линии с нулевыми проводниками распределительной сети здания, но и выполняет функцию присоединения отдельных проводящих частей и заземляющих устройств. Отдельно расположенная шина соединяет только входящие в ОСУП токопроводящие конструкции и заземлители. Площадь сечения такой ГЗШ должна быть не менее площади сечения нулевого защитного проводника питающей входящей линии.

К ГЗШ подключают контур заземления и нулевые защитные проводники (PEN или РЕ в зависимости от выбранной системы заземления). Металлические элементы здания, коммуникации и систему вентиляции монтируют к главной заземляющей шине по радиальной схеме. Соединяя каждый токопроводящий элемент отдельным проводником уравнивания потенциалов, с возможностью отключения любого из них.

Токопроводящие части коммуникаций, которые входят в здание, необходимо присоединить к ГЗШ как можно ближе к точке их ввода. Одно из

главных требований к соединительным проводникам ОСУП является их непрерывность. Поэтому установка в цепях коммутационных аппаратов запрещена. Проводники имеют жёлто-зеленую окраску с обязательным наличием бирки - наименование присоединяемого элемента. Проводники закрепляют на шине болтовыми соединениями. К проводящим конструкциям крепят при помощи сварки. Для труб коммуникаций используют хомуты.

Сечение проводников уравнивания потенциалов должно быть не менее: для медных -  $6 \text{ мм}^2$ , для алюминиевых -  $16 \text{ мм}^2$  и для стальных -  $50 \text{ мм}^2$ . [15]

#### *Дополнительная система уравнивания потенциалов (ДСУП)*

Рассмотрим для чего необходима дополнительная система уравнивания потенциалов. В зонах повышенной опасности поражения людей электрическим током, например, в ванной, сауне, кухне или душевой, следует выполнять дополнительную систему уравнивания потенциалов. Это необходимо для обеспечения высокого уровня электробезопасности в случае возникновения аварийной ситуации. ДСУП соединяет все, одновременно доступные для прикосновения открытые и сторонние, проводящие части, а также нулевые и заземляющие защитные проводники оборудования (в зависимости от типа системы). [15]. Ниже на рисунке 8 представлена схема соединений ДСУП.

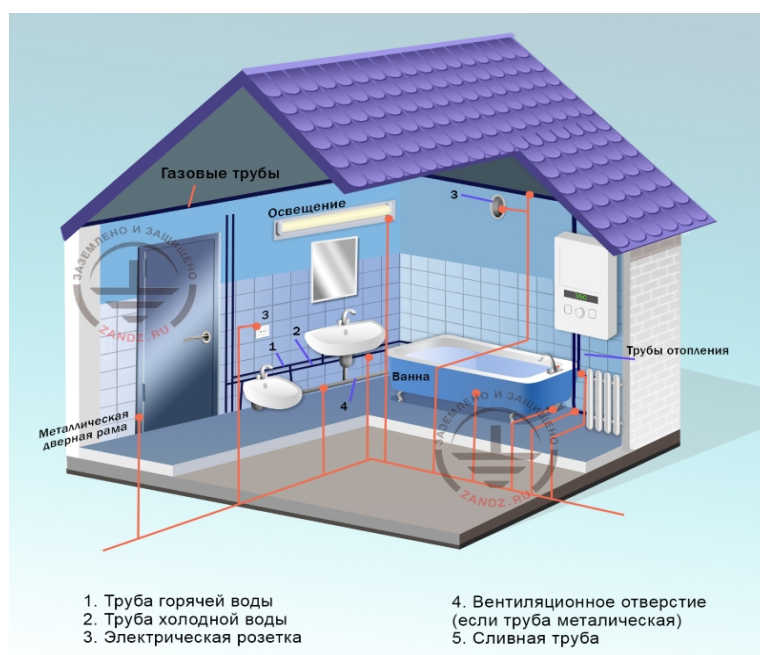


Рисунок 8 — Дополнительная система уравнивания потенциалов

На схеме можно увидеть, как все потенциально опасные проводящие конструкции подсоединяются к клеммной шине в коробке уравнивания потенциалов. Такая сеть позволяет организовать ДСУП, при этом не протягивая защитные проводники от каждого отдельного элемента к распределительному щитку квартиры, дома.

Согласно требованиям пункта 1.7.122 ПУЭ к защитным проводникам [15] в ДСУП используются специально предусмотренные проводники, применяются открытые и сторонние токопроводящие элементы.

Требуемое сечение для проводников составляет  $2,5 \text{ мм}^2$  и более (учитывая отсутствие механического воздействия). Если возможно механическое воздействие, тогда используют проводники сечением  $4 \text{ мм}^2$  и более.

Монтаж системы уравнивания потенциалов выполняют на этапе строительства здания. Необходимо учитывать ограничение по применению СУП в уже имеющихся постройках. В домах, где используется система заземления TN-C, с объединенным PEN-проводником, выполнять ДСУП категорически запрещено. Так как при обрыве нулевого провода возникает опасность поражения электрическим током людей.

### **2.3.6 Молниезащита**

В соответствии с инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных предприятий СО-153-34.21.122-2003 [18] жилой дом относится к обычному объекту. В качестве молниеприемника может использоваться металлическая крышка при следующих условиях:

- электрическая непрерывность между разными частями обеспечена на долгий срок;
- толщина металла кровли составляет не менее величины  $t$ , приведенной в таблице [18, с.17], если необходимо предохранить кровлю от повреждения или прожога;

- толщина металла кровли составляет не менее 0,5 мм, если ее необязательно защищать от повреждений и нет опасности воспламенения, находящихся под кровлей горючих материалов;

- кровля не имеет изоляционного покрытия. При этом небольшой слой антикоррозионной краски или слой 0,5 мм асфальтового покрытия, или слой 1 мм пластикового покрытия не считается изоляцией;

- неметаллические покрытия на или под металлической кровлей не выходят за пределы защищаемого объекта.

По проекту здания крыша выполнена из металлической кровли толщиной 0.9 мм, что соответствует условию молниеприемника крыши здания. Также по проекту под кровлей нет опасности воспламенения горючих материалов. Так как кровля соответствует всем перечисленным условиям, используем ее в качестве молниеприемника.

Далее от кровли жилого дома нам нужно сделать токоотводы, желательно, чтобы токоотводы равномерно располагались по периметру защищаемого объекта и по возможности они прокладываются вблизи углов зданий.

Не изолированные от защищаемого объекта токоотводы прокладываются следующим образом:

- если стена выполнена из негорючего материала, токоотводы могут быть закреплены на поверхности стены или проходить в стене;

- если стена выполнена из горючего материала, токоотводы могут быть закреплены непосредственно на поверхности стены, так чтобы повышение температуры при протекании тока молнии не представляло опасности для материала стены;

- если стена выполнена из горючего материала и повышение температуры токоотводов представляет для него опасность, токоотводы должны располагаться таким образом, чтобы расстояние между ними и защищаемым объектом всегда превышало 0,1 м. Металлические скобы для крепления токоотводов могут быть в контакте со стеной.

Рекомендуется размещать токоотводы на максимально возможных расстояниях от дверей и окон. Токоотводы прокладываются по прямым и вертикальным линиям так, чтобы путь до земли был по возможности кратчайшим. Минимальное допустимое сечение токоотвода равняется  $50 \text{ мм}^2$  для стали [18].

По инструкции можно использовать два токоотвода с сечением каждого не менее  $50 \text{ мм}^2$  в противоположных углах объекта [18]. Для большей безопасности в связи с возможностью коррозии токоотвода выбираем сечение токоотвода  $100 \text{ мм}^2$  из полосовой стали ( $4 \times 25 \text{ мм}^2$ ). Главным условием размещения токоотвода по зданию является минимальное расстояние от окон, балконов и подъездов не менее трех метров.

В соответствии всего вышеперечисленного выбираем размещение токоотводов как указано на рисунке 9 красными прямоугольными квадратами. Расстояние до ближайшего окна более трех метров.

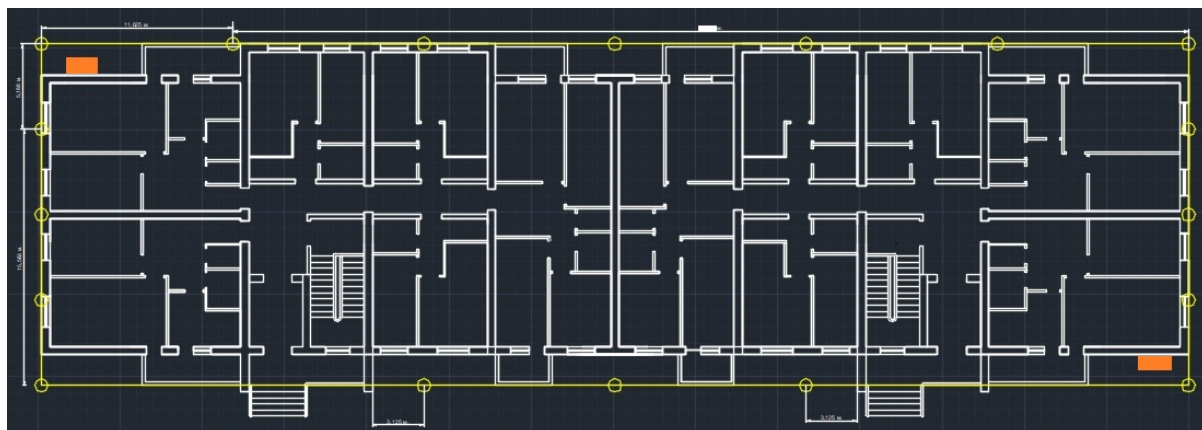


Рисунок 9 — Схема расположения токоотводов

## 2.4 Выбор приборов учета

Рассмотрим 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.

#### *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 допускаемой 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 пункта 1.5.15, для учета электроэнергии квартир и жилых домов следует устанавливать счетчики классом точности не ниже 2,0 [15].

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.

*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 жилого дома по каталогу [30] принимаем к установке трехфазный электронный счетчик трансформаторного включения СА4У-И672, через трансформатор тока Т-0,66 УТЗ 100/5а. Данный счётчик осуществляет измерение и учет активной энергии в трехфазных сетях переменного тока номинальной частотой 50 Гц, класс точности – 2,0.

Для квартирного учета выбираем счетчик электроэнергии однофазный СЕ101-R5. Данный счетчик осуществляет измерение активной энергии в однофазных двухпроводных цепях переменного тока [30].



## 2.5 Выбор вводно-распределительного устройства

Для присоединения внутренних электрических сетей электроустановок к внешним питающим кабельным линиям, а также для распределения электрической энергии и защиты от перегрузок и короткого замыкания отходящих линий служат вводные устройства (ВУ) или вводно-распределительные устройства (ВРУ).

Вводное устройство также предназначается для разграничения ответственности за эксплуатацию электрических сетей между персоналом городской сети и персоналом потребителя. За вводным устройством электрические сети находятся в ведении потребителя. При питании по одному кабелю небольших по мощности электроустановок, относящихся к третьей категории бесперебойности электроснабжения в качестве вводных устройств применяют вводные трехполюсные ящики на токи 63, 100, 250, 350 А с одним блоком «предохранители ПН-2» и выключатель. Также используются ящики ЯЗ700 с одним трехполюсным автоматическим выключателем серии АЗ700 на токи 50 - 600 А. Для трех- и пятиэтажных жилых домов в качестве вводных устройств используют шкафы серии «ШВ».

Для общественных зданий, жилых домов и небольших предприятий применяют ВРУ, выполненные в виде щитов одностороннего или двустороннего обслуживания. Любое ВРУ комплектуется из вводных и распределительных панелей или шкафов заводского изготовления. На рисунке 10 представлен шкаф вводно-распределительного устройства.



Рисунок 10 — Шкаф вводно-распределительного устройства

Распределительные панели изготавливают следующих видов: распределительные с автоматическими выключателями на отходящих линиях, распределительные с автоматикой управления лестничным и коридорным освещением, распределительные с отделением учета. В распределительных панелях устанавливают автоматические выключатели серии АЗ7, АЕ20, АЕ1000 и АП50Б, магнитные пускатели серии ПМЛ, промежуточные реле РПЛ и пакетные выключатели ПВ, ПП. Разделительные панели ВРУ можно увидеть на рисунке 11.



Рисунок 11 — Разделительные панели вводно-распределительного устройства

При компоновке вводные и распределительные панели одного ввода располагаются рядом. Панели ВРУ изготавливаются заводом-изготовителем отдельными панелями с вмонтированными аппаратами и приборами, а также соединительными проводниками между панелями.

Благодаря большому разнообразию схем вводных и распределительных панелей ВРУ-УВР-8503 по заданным электрическим схемам питания внутренних сетей зданий можно скомпоновать любое ВРУ. Пример схемы вводной панели с переключателем на вводе представлен на рисунке 12.

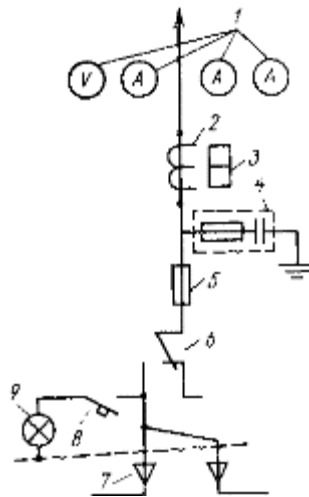


Рисунок 12 — Схема вводной панели с переключателем на вводе:  
 1 — измерительные приборы, 2 — трансформаторы тока, 3 — счетчик электроэнергии, 4 — помехозащитные конденсаторы, 5 — предохранитель, 6 — переключатель, 7 — кабельный ввод, 8 — автоматический выключатель, 9 — лампа накаливания

Помещения вводно-распределительных устройств (электрощитовые) располагают в удобных местах, куда имеет доступ только обслуживающий персонал. Через электрощитовые не должны проходить газопроводы, а другие трубопроводы должны быть без соединений, вентилях, задвижек. Допускается устанавливать ВРУ на лестничных клетках, в коридорах и так далее, но при этом шкафы должны запираются, рукоятки аппаратов управления не выводиться наружу или быть съемными. Не допускается устанавливать ВРУ в сырых помещениях и в местах, подверженных затоплению.

Исходя из собранной информации и расчетным токам выбираем вводно-распределительной устройстве ВРУСЗМ-29-63А [31].

## 2.6 Расчет токов короткого замыкания

Расчеты токов короткого замыкания (КЗ) выполняются для:

- выбора и проверки электрооборудования по электродинамической и термической стойкости;
- определения установок и обеспечения селективности срабатывания защиты на вводах в квартиру.

Это в первую очередь относится к выбору автоматических выключателей.

Основными документами, регламентирующими порядок расчета токов короткого замыкания, являются:

- ГОСТ 28249-93 "Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ [25];
- руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования - РД 153-34.0-20.527-98 РАО ЕЭС России, (2002 г.) [17].

Различные методики расчетов токов КЗ достаточно подробно отражены в технической литературе. В настоящей работе на основании опубликованных материалов приведены только те данные, которые необходимы для расчетов токов КЗ при выполнении проектов электроснабжения элитного жилища и, в первую очередь, для электроснабжения жилых домов.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать активные и индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутого контура, включая силовые трансформаторы, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей и проводники. Необходимо также учитывать:

- изменение активного сопротивления проводников в короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при коротком замыкании;
- сопротивление электрической дуги в месте короткого замыкания.

При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ.

При расчетах токов КЗ допускается:

- максимально упрощать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ, представив ее системой бесконечной мощности с нулевым сопротивлением;
- принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней

напряжения, которые связывают трансформаторы. Значения средних номинальных напряжений: 10,5; 6,3; 0,4; 0,23 кВ.

В электроустановках получающих питание непосредственно от сети энергосистемы принято считать, что понижающие трансформаторы подключены к источнику неизменного по амплитуде напряжения через эквивалентное индуктивное сопротивление системы. Значение этого сопротивления, приведенное к ступени низшего напряжения сети.

Расчет токов трехфазного КЗ заключается в определении:

- начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ;
- апериодической составляющей тока КЗ в начальный и произвольный момент времени;
- ударного тока КЗ.

### **2.6.1 Расчет трехфазного короткого замыкания**

Определим ток КЗ на вводе в жилой многоквартирный дом из приведенных ниже условий:

- жилой дом питается от распределительного пункта (РП) энергосистемы по ВЛ-10 кВ через трансформатор 10/0,4 кВ, мощностью 400 кВ\*А;
- электроснабжение жилого дома осуществляется кабельной линией 0,4 кВ длиной 300 м;
- кабель с медными жилами сечением  $4 \times 50 \text{ мм}^2$  (рисунок 13);
- мощность КЗ на шинах РП-10  $S_{к.з} = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунке 14. Учитывая, что длина линии 10 кВ от РП 10 кВ системы до трансформаторной подстанции менее 1 км, то в соответствии с ГОСТ 28249-93 в расчетах токов КЗ линия может не учитываться.

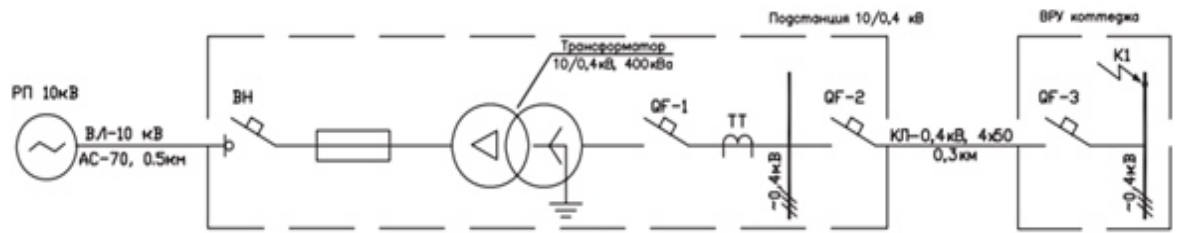


Рисунок 13 — Схема электроснабжения жилого многоквартирного дома

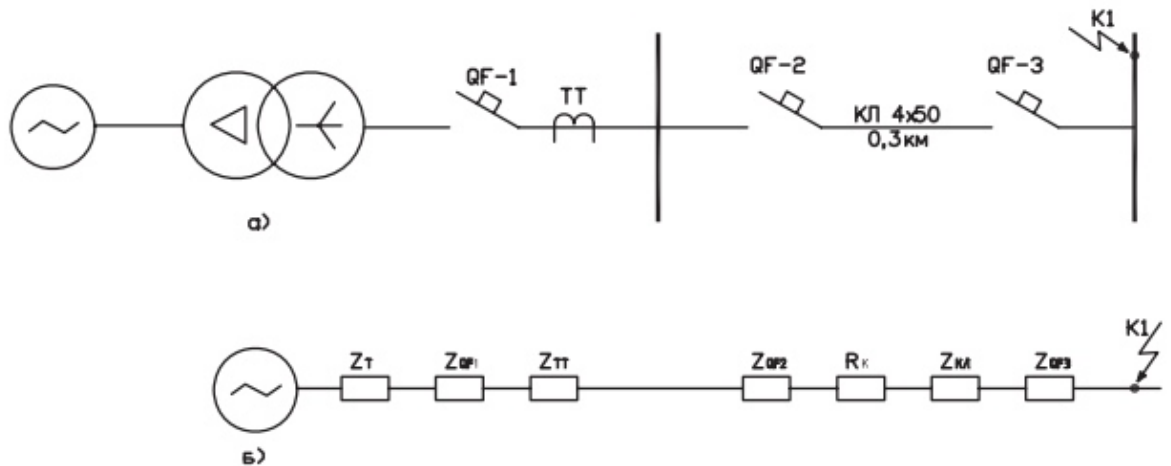


Рисунок 14 — Расчетная схема (а) и схема замещения (б)  
электроснабжения жилого дома

Определение сопротивлений схемы замещения:

- сопротивление системы рассчитывается по формуле (20):

$$x_c = \frac{U_{ср.н.н.}^2}{S_k} \cdot 10^{-3} = \frac{400^2}{200} \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ мОм}; \quad (20)$$

- сопротивление трансформатора 400 кВА,  $x_t=17,1$  мОм,  $r_t=5,5$  мОм по формуле (21):

$$Z_t = \sqrt{r_t^2 + x_t^2} = 18 \text{ мОм}; \quad (21)$$

- переходное сопротивление электрических контактов (пункт 2.5 [25]),  $R_k = 0,1$  мОм. Сопротивление автоматических выключателей и трансформатора смотрится по таблице в нормативной литературе [17];

- сопротивление КЛ-0,4 кВ, сечением 4x50, длиной 300 метров.

$$r_0 = 0,43 \text{ мОм/м},$$

$$X_0 = 0,086 \text{ мОм/м},$$

$$r_{KL} = 0,43 \cdot 300 = 129 \text{ мОм},$$

$$X_{KL} = 0,086 \cdot 300 = 25,8 \text{ мОм}.$$

- сопротивление контура КЗ активное:

$$r_{к.з.} = r_T + r_K + r_{QF1} + r_{T.T} + r_{QF2} + r_{KL} + r_{QF3} = 5,4 + 0,1 + 0,41 + 0,2 + 1,1 + 129 + 1,3 = 137,5 \text{ мОм};$$

- сопротивление контура КЗ реактивное:

$$X_{к.з.} = X_C + X_T + X_{QF1} + X_{T.T} + X_{QF2} + X_{KL} + X_{QF3} = 0,8 + 17,1 + 0,13 + 0,3 + 0,5 + 25,8 + 0,7 = 45,3 \text{ мОм}.$$

- полное сопротивление цепи КЗ:

$$Z_{к.з.} = \sqrt{r_{к.з.}^2 + x_{к.з.}^2} = \sqrt{137,5^2 + 45,3^2} = 145 \text{ мОм}.$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{ср.н.н.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{к.з.}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 145} \approx 1,6 \text{ кА}.$$

Апериодическая составляющая тока КЗ в начальный момент КЗ:

$$I_{a0} = \sqrt{2} \cdot 1,6 = 2,25 \text{ кА},$$

где  $I_{a0}$  - наибольшее начальное значение апериодической составляющей тока КЗ.

Апериодическая составляющая в произвольный момент времени  $t$  рассчитывается по формуле (22):

$$i_{at} = I_{a0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}, \quad (22)$$

где  $t$  - время, с;

$T_a$  - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ;

$$T_a = \frac{x_{к.з.}}{\omega r_{к.з.}}. \quad (23)$$

В нашем случае:

$$T_a = \frac{45,3}{314 \cdot 137,5} = 0,001 \text{ с}.$$

Апериодическая составляющая затухает примерно через 0,002 с и ее можно не учитывать.

Ударный ток КЗ:

$$I_{уд.} = \sqrt{2} \cdot I_{к.з.} \cdot k_{кд.} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 1 = 2,25 \text{ кА},$$

где  $k_{кд.} = 1$  - по кривой из соотношения:

$$\frac{X}{R} = \frac{45,3}{137,5} \approx 0,33 < 0,5.$$

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

Расчетная точка однофазного КЗ - электрически наиболее удаленная точка участка сети, защищаемая выключателем.

В соответствии с требованиями (ПУЭ) для надежного отключения поврежденного участка сети наименьший расчетный ток короткого замыкания должен превышать номинальный ток плавкой вставки или номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, защищающего этот участок сети, с обратной зависимостью от тока характеристикой не менее чем в три раза.

Если автоматический выключатель имеет только мгновенно действующий расцепитель (отсечку), то наименьший расчетный ток короткого замыкания должен превышать уставку отсечки не менее чем в 1,4 раза.

Расчет токов однофазных КЗ является более сложным, так как в этом случае помимо учета сопротивления в прямой цепи короткого замыкания (в фазе) необходим учет сопротивления и в цепи зануления (в обратной цепи). Когда для зануления используются стальные трубы, обрамления кабельных каналов и другие строительные конструкции, в решении вопроса о сопротивлении цепи короткого замыкания появляется много неопределенностей.

Кроме того, однофазные короткие замыкания относятся к несимметричным, что вносит в расчет дополнительные сложности.

Расчет токов однофазных КЗ можно выполнять методом симметричных составляющих или по сопротивлению петли фаза-ноль.



Метод симметричных составляющих предложен для упрощения расчетов несимметричных КЗ. Сущность этого метода состоит в замене несимметричной системы токов трехфазной сети при однофазном коротком замыкании тремя симметричными системами: прямой, обратной и нулевой последовательности. Симметричные системы являются достаточно простыми для теоретического расчета. При практическом использовании этого метода часто возникают затруднения из-за отсутствия справочных материалов по сопротивлениям нулевой последовательности для принятого варианта выполнения цепи зануления.

При расчете токов однофазного КЗ по сопротивлению петли фаза-ноль используется закон Ома, но встречаются те же затруднения с исходными данными.

Оба метода должны давать один и тот же результат и теоретически могут быть выведены один из другого. Точность расчета определяется только точность исходных данных.

В основу расчета токов однофазных КЗ положен метод симметричных составляющих, который более подробно рассматривается ниже [25].

Расчет однофазного КЗ методом симметричных составляющих производят по формуле (24):

$$I_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (24)$$

где  $I_1$  - действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ, кА;

$U_n$  - среднее номинальное (линейное) напряжение сети, В;

$R_{1\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление фазной цепи короткого замыкания (сопротивление прямой последовательности), мОм;

$R_{0\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление цепи КЗ для тока нулевой последовательности (сопротивление нулевой последовательности), мОм;

$X_{1\Sigma}$  - суммарное индуктивное сопротивление фазной цепи короткого замыкания (сопротивление прямой последовательности), мОм;

$X_{0\Sigma}$  - суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ для тока нулевой последовательности (сопротивление нулевой последовательности), мОм.

Сопротивления обратной последовательности равны сопротивлениям прямой последовательности и в приведенной формуле (24) учитываются коэффициентом 2 перед  $R_{1\Sigma}$  и  $X_{1\Sigma}$ .

Суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления фазной цепи короткого замыкания определяются по формулам (25) и (26):

$$R_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{1L} + r_{TT} + r_A + r_K + r_D ; \quad (25)$$

$$X_{1\Sigma} = X_{1T} + X_{1L} + X_{TT} + X_A, \quad (26)$$

где  $r_{1T}$  и  $X_{1T}$  - сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора, мОм;

$r_{1L}$  и  $X_{1L}$  - сопротивления прямой последовательности линии (фазного проводника), мОм;

$r_{TT}$  и  $X_{TT}$  - сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока, мОм;

$r_A$  и  $X_A$  - сопротивления автоматических выключателей, мОм;

$r_K$  - суммарное активное сопротивление различных контактов в фазной цепи КЗ, мОм;

$r_D$  - активное сопротивление электрической дуги в месте КЗ, мОм.

Суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления цепи КЗ для тока нулевой последовательности определяются по формулам (27) и (28):

$$R_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{0L} + r_{TT} + r_A + r_K + r_D; \quad (27)$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{0L} + X_{TT} + X_A, \quad (28)$$

где  $r_{0T}$  и  $X_{0T}$  - сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора, мОм;

$r_{0L}$  и  $X_{0L}$  - сопротивление нулевой последовательности линии (сопротивления шинпроводов, проводов, кабелей с учетом цепи зануления), мОм;

$r_{TT}$ ,  $X_{TT}$ ,  $r_A$ ,  $X_A$ ,  $r_K$  и  $r_D$  - сопротивления фазной цепи КЗ, мОм.

Сопротивление нулевой последовательности линии равно сопротивлению фазного проводника плюс утроенное сопротивление цепи зануления, как видно из формул:

$$r_{0L} = r_{1L} + 3r_H; \quad (29)$$

$$X_{0L} = X_{1L} + 3X_H, \quad (30)$$

где  $r_H$  и  $X_H$  - эквивалентные сопротивления цепи зануления (нуля) от точки КЗ до трансформатора с учетом всех зануляющих элементов (нулевого провода, оболочки кабеля, стальных труб и т.д.), мОм.

Увеличение в 3 раза сопротивления цепи зануления для тока нулевой последовательности поврежденной фазы вызвано тем, что в соответствии с методом симметричных составляющих через цепь зануления замыкаются равные по значению токи нулевой последовательности всех трех фаз. Таким образом:

$$R_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{0L} + 3r_H + r_{T.T} + r_A + r_K + r_D;$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{0L} + 3X_H + X_{T.T} + X_A.$$

При определении минимальных значений токов однофазных КЗ для проверки чувствительности защиты рекомендуется учитывать увеличение активного сопротивления проводников в результате нагревания их током короткого замыкания. Для этого сопротивления проводников сечением до 16 мм<sup>2</sup> (включительно) рекомендуется приводить к температуре 120 °С, сопротивления проводников сечением 25-95 мм<sup>2</sup> - к температуре 145 °С, сопротивления проводников сечением 120-140 мм<sup>2</sup> - к температуре 95 °С. Такие (ориентировочные) значения температуры проводников в конце КЗ получены в результате расчетов с учетом реальных временных и токовых характеристик аппаратов защиты и при условии адиабатического процесса нагрева жил проводников. Государственным стандартом ГОСТ 2824-89 допускается принимать для всех сечений значение температурного коэффициента электрического сопротивления равным 1,5, что соответствует температуре 145

$^{\circ}\text{C}$ . Но проводники крупных сечений до такой температуры за время КЗ практически не нагреваются [25].

Температурный коэффициент для приведения сопротивления проводника при  $20^{\circ}\text{C}$  к сопротивлению при конечной температуре вычисляется по формуле:

$$K_T = 1 + 0,004 (O_{\text{кон.}} - 20), \quad (31)$$

где  $O_{\text{кон.}}$  - температура жилы проводника в конце КЗ,  $^{\circ}\text{C}$ .

Сопротивление проводника при конечной температуре:

$$r_{\text{кон.}} = r_{20} \cdot K_T,$$

где  $r_{20}$  - сопротивление проводника при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

### 2.6.2 Расчет тока однофазного короткого замыкания

Для схемы по рисунку 13 определить ток однофазного КЗ на вводе в жилом доме. Расчет проводим методом симметричных составляющих.

При питании электроустановки от системы через понижающий трансформатор начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ рассчитывается по формуле:

$$I_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (32)$$

где  $r_{1\Sigma}$ ,  $x_{1\Sigma}$  - активное и индуктивное суммарные сопротивления прямой последовательности относительно точки КЗ. В нашем случае расчет трехфазного КЗ:  $r_{1\Sigma} = 137,5$  мОм,  $x_{1\Sigma} = 45,4$  мОм;

$r_{0\Sigma}$ ,  $x_{0\Sigma}$  - активное и индуктивное суммарные сопротивления нулевой последовательности относительно точки КЗ.

Эти сопротивления равны:

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{T.T} + r_{KB} + r_K + r_{0КЛ};$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{T.T} + X_{KB} + X_{0КЛ},$$

где  $r_{0T}$ ,  $X_{0T}$  - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора;

$r_{ТТ}$ ,  $X_{ТТ}$  - активное и индуктивное сопротивления трансформатора тока;  
 $r_{КВ}$ ,  $X_{КВ}$  - активное и индуктивное сопротивления автоматических выключателей;

$r_K$  - сопротивление контактов.

Для рассматриваемого примера:

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{T.T} + r_{KB} + r_K + r_{0КЛ};$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{T.T} + X_{KB} + X_{0КЛ}.$$

Сопротивления нулевой последовательности трансформатора 400 кВА составляют:  $X_{0T} = 149$  мОм,  $r_{0T} = 55,6$  мОм.

Сопротивление нулевой последовательности кабельной линии:

$$r_{0кб} = r_0 \cdot l = 1,05 \cdot 300 = 315 \text{ мОм};$$

$$X_{0кб} = x_0 \cdot l = 0,58 \cdot 300 = 174 \text{ мОм},$$

где  $r_0$  и  $x_0$  - активное и индуктивное сопротивления 1 м медного кабеля сечением 4x50 мм<sup>2</sup>.

Таким образом:

$$r_{0\Sigma} = 55,6 + 0,2 + 0,41 + 1,1 + 1,3 + 315 = 373,6 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 149 + 0,3 + 0,13 + 0,5 + 0,7 + 174 = 324,6 \text{ мОм};$$

$$I_{кз}^1 = \sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2} = \\ \sqrt{(2 \cdot 137,5 + 373,6)^2 + (2 \cdot 45,4 + 343,6)^2} = 770,2 \text{ мОм}.$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{П0}^1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{НН}}{I_{кз}^1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{770,2} \approx 0,9 \text{ кА}.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была произведена разработка проекта электроснабжение жилого многоквартирного дома.

Оптимизация и планирование электроснабжения жилых домов – важная и обязательная часть жизни людей для комфортного проживания в развивающемся обществе. Обеспечение безопасности является главной задачей при разработке электроснабжения, так как поражение человека электрическим током может привести к летальному исходу, что недопустимо.

В ходе разработки проекта была выбрана надежная схема электроснабжения жилого дома согласно действующей нормативной литературе. Жилой многоквартирный дом по техническим условиям относится к третьей категории по надежности электроснабжения. Питание производится от ТП ТМ-400/10/0,4. В данной выпускной квалификационной работе были выполнены поставленные задачи: произведен расчет электрических нагрузок многоквартирного дома; выбраны провода и кабельные линии для внешних и внутренних электропроводок; произведен расчет и выбор устройств защитной аппаратуры; выполнена проверка выбранной защитной аппаратуры; произведен расчет заземляющего устройства; произведен выбор молниезащиты.

Для питания квартир были выбраны кабели марки ВВГнг, и были проверены на устойчивость к кратковременным перегрузкам токам КЗ. Аппараты защиты выбраны в виде дифференциальных автоматических выключателей, которые сочетают в себе свойства автоматических выключателей и устройства защитного отключения (согласно ПУЭ не менее 0.3 А). Также, был разработан контур заземления, в качестве заземляющего электрода выбран стальной прут в количестве 20 штук, диаметром 14 мм длиной 3 м. Согласно нормативной литературе, в качестве молниеприемника допускается использование металлической крыши данного здания и в качестве молниеотводов используем 2 стальные полосы сечением  $100 \text{ мм}^2$  в разных

углах дома, присоединенных к контуру заземления. Молниеотводы проложены в стене на расстоянии более трех метров от ближайших окон, балконов.

Для электроснабжения многоквартирного жилого дома было выбрано качественное электрооборудование, электромонтажные материалы.

Данный проект электроснабжения жилого многоквартирного дома основан на реальных данных, полученные результаты можно применять на практике, что говорит о практической значимости работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
2. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пособие для вузов / П. А. Долин. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
3. Карякин Р. Н. Заземляющие устройства электроустановок / Р. Н. Карякин. — М.: Энергосервис, 2006. — 520 с.
4. Князевский, Б. А. Охрана труда в электроустановках / Князевский Б. А. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
5. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – М.: КолосС, 2008. – 655 с.
6. Маньков, В. Д. Основы проектирования систем электроснабжения: справочное пособие/ В. Д. Маньков. – СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электросервис», 2010 – 664 с.
7. Найфельд М. Р. Заземление, защитные меры электробезопасности /М. Р. Найфельд. – М.: Энергия, 1971. – 312 с.
8. Прищеп Л.Г. Проектирование комплексной электрификации / Л.Г. Прищеп, А.П.Якименко, Л.В. Шаповалов [и др.]; под ред. Л.Г. Прищеп. – М.: Колос, 1983. – 271 с.
9. Расчет сопротивления заземления. Учебное электронное текстовое издание / под ред. А.А. Волкова, В. С. Мушникова, И. А. Дряхлова, В. С. Цепелев и др. – Екатеринбург.: УрФУ, 2016. – 25 с.
10. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / под ред. А.А. Федорова. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 586 с.
11. Тульчин И. К. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И. К. Тульчин, Г.И. Нудлер – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.

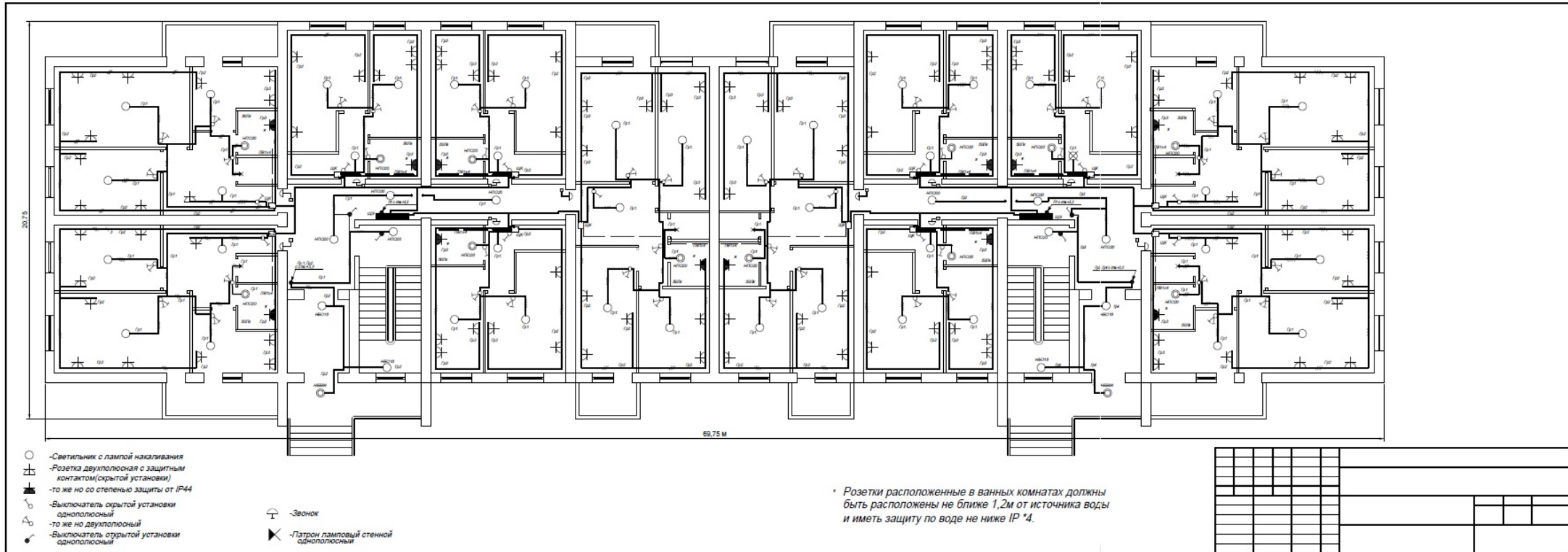


12. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Введ. 2016.10.19. — М., 2016
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Введ. 2003.01.22. — М.: Энергосервис, 168 с.
14. Приказ об утверждении правил технической эксплуатации электроустановок потребителей — Введ. 2003-01-13. — М.: Энергосервис, 2003. — 168 с.
15. ПУЭ Правила устройства электроустановок. Издание 7. — Введ. 2003-01-01. — М.: Энергоатомиздат, 369 с.
16. РМ – 2696 - 01 Временная инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий, не являющиеся документом федерального уровня. — М., 2001.
17. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98 РАО ЕЭС России. — Введ. 1998-03-23. — М: ЭНАС, 2002. — 141 с.
18. СО-153-34.21.122-2003 инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных предприятий — Введ. 2003-06-30. — М.: ЦПТИ ОРГРЭС, 2004. — 31 с.
19. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 2009-05-01. — М.: ВНИИПО, 2009. — 91 с.
20. СП 31 – 110 - 2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. — М., 2004.
21. Строительные нормы и правила СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства. — Введ. 2086-07-01. — СССР, 1985. — 34 с.
22. ГОСТ 12.1.013-78 ССБТ. Строительство. Электробезопасность. — Введ. 1980-01-01. — СССР, 1978. — 6 с.
23. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. — Введ. 1982-07-01. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. — 8 с.

24. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. — Введ. 1983.07.01. — М.: Стандартиформ, 2011. — 5 с.
25. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кв. — Введ. 1995-01-01. — Минск: Стандартиформ, 2006. — 47 с.
26. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. 2014-01-01. — М.: Стандартиформ, 19 с.
27. ГОСТ Р. 50571.15-97 (МЭК-364) Электроустановки зданий. — Введ. 1997.07.01. — М.: Стандартиформ, 2012. — 12 с.
28. ГОСТ Р. 50571.1-93 Электроустановки зданий. Основные положения. — Введ. 1995.01.01. — М.: Стандартиформ, 2010. — 19 с.
29. ГОСТ Р. 50571.2-94 Электроустановки зданий. Основные характеристики. — Введ. 1994.11.10. — М.: Стандартиформ, 2012. — 60 с.
30. Концерн «Энергомера»: [Электронный ресурс], 2001-2018. URL: [www.energomera.ru](http://www.energomera.ru) (Дата обращения: 18.02.2018)
31. Профсектор: [Электронный ресурс], 2018. URL: <http://profsector.com/> (Дата обращения: 02.03.2018)
32. Технический справочник Schneider Electric [Электронный ресурс] : электрон. журн. 2015. URL: [http://stek35.ru/bitrix/templates/books/files/catalogs/schneider/Panorama\\_SE\\_2015.pdf](http://stek35.ru/bitrix/templates/books/files/catalogs/schneider/Panorama_SE_2015.pdf) (Дата обращения: 15.01.2018)

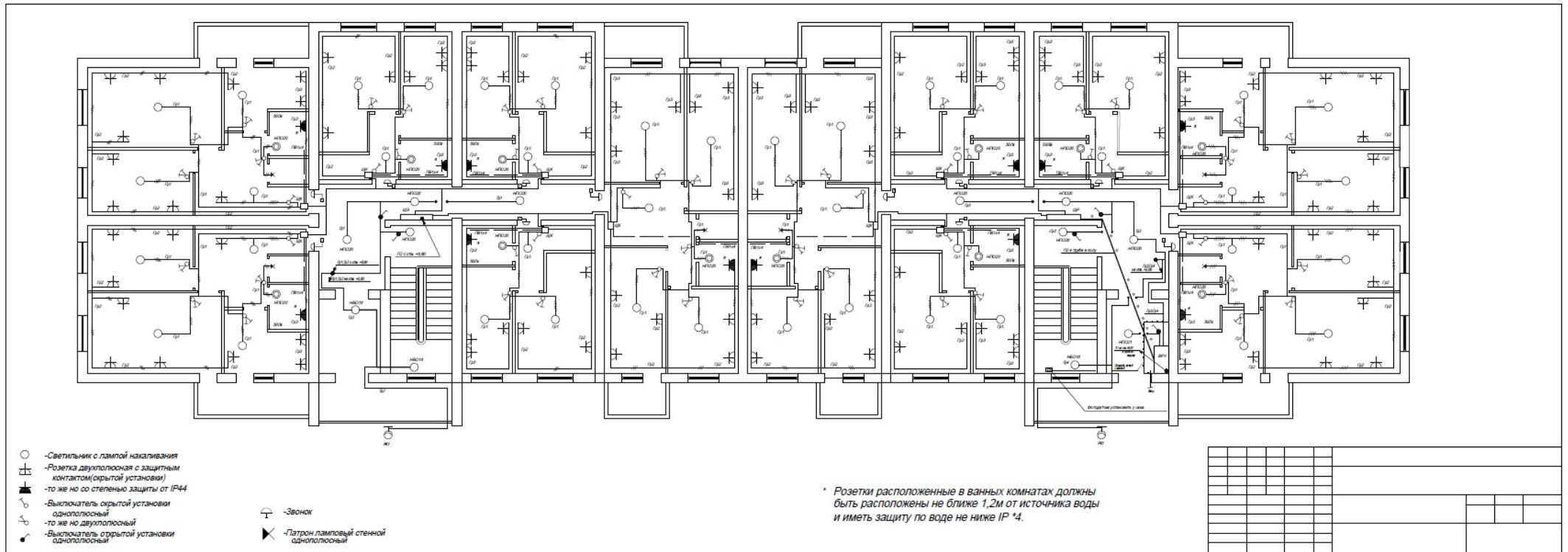
# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Схема электросетей первого этажа жилого дома



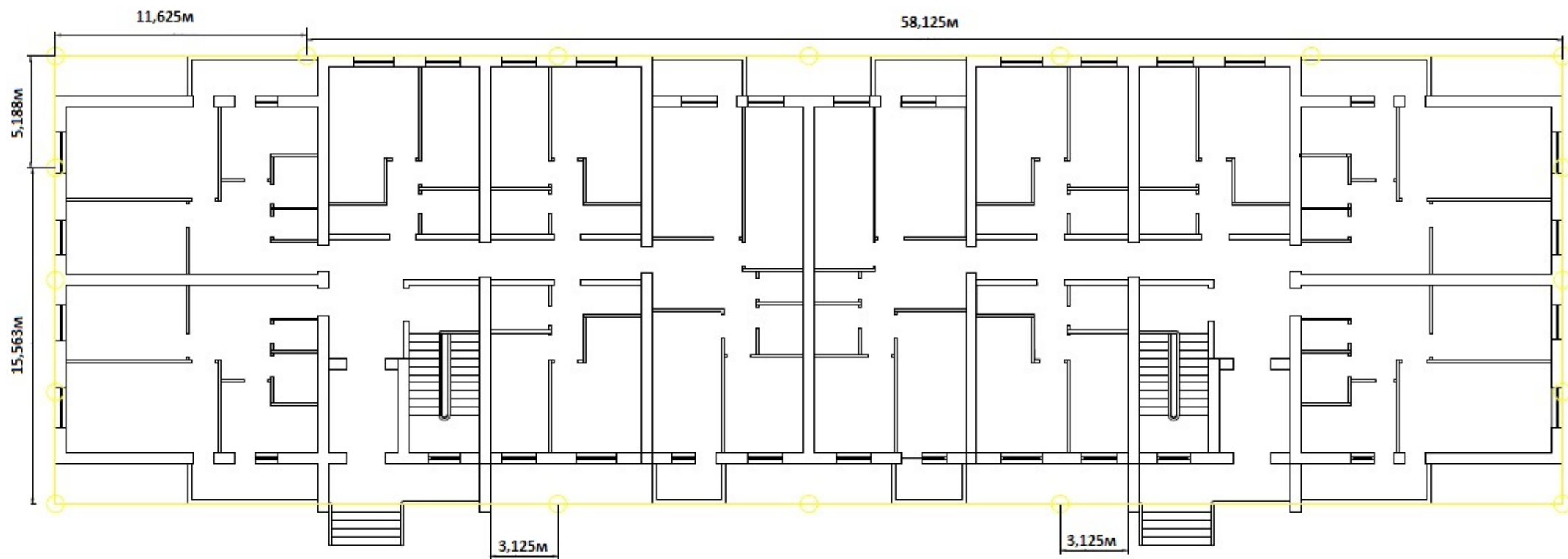
# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Схема электросетей второго этажа жилого дома



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Схема контура заземления и расположения заземлителей



# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Схема вводно-распределительного устройства жилого многоквартирного дома

