

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент

Заведующая кафедрой ЭССиСЭ,
д.т.н, профессор

_____ И.М. Кирпичникова

« _____ » _____ 2018 г.

« _____ » _____ 2018г.

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ
ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ ПРИ СТЕКАНИИ ПО МОЛНИЕОТВОДУ ТОКА
МОЛНИИ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.04.02.2018.283.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель проекта
Доцент кафедры ЭССиСЭ, к.т.н.
_____ В.В. Пястолов
_____ 2018г.

Автор проекта
Студент группы П-285
_____ В.С.
Падерин
_____ 2018г.

Нормоконтролер
Старший преподаватель
_____ Н.Ю. Аверина
_____ 2018г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Падерин В.С. Перенапряжения в системе уравнивания потенциалов высотного здания при стекании по молниеотводу тока молнии. Челябинск: ЮУрГУ, Энергетический, 2018. – 53 с., 14 рис., 5 табл., библиогр. список – 24 наим.

Ключевые слова: Молниезащита, грозозащита, система уравнивания потенциалов, расчет, уровень напряжения.

Объект исследования – Система молниезащиты 24–х этажного жилого дома, включающая в себя систему уравнивания потенциалов, а также 12 молниеприемников, расположенных по периметру кровли здания.

Цель работы – Разработка методики расчета уровней напряжения, в системе уравнивания потенциалов при стекании по молниеотводу тока молнии.

Новизна выпускной квалификационной работы заключается в самостоятельной разработке методики расчета.

Результаты исследования – работа нацелена на решение актуальных проблем связанных с защитой от последствий удара молнии.

Работа представляет интерес для организаций, проектирующих и производящих монтаж систем грозозащиты.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ПРОБЛЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ	
1.1 Последствия удара молнии	9
1.2 Внешняя и внутренняя молниезащита	14
1.3 Установка главной заземляющей шины	22
Выводы по разделу 1	24
2 СИСТЕМА УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ	
2.1 Характеристика систем заземления	26
2.2 Основная и дополнительная система уравнивания потенциалов	31
Выводы по разделу 2	41
3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ	42
Вывод по разделу 3	48
4 РАСЧЕТ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ	
4.1 Характеристика объекта исследования	49
4.2 Расчет уровней напряжения в системе уравнивания потенциалов	49
Выводы по разделу 4	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	56

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВКР	Выпускная квалификационная работа
ВЛ	Высоковольтная линия
ВРУ	Вводно–распределительное устройство
ВУ	Вводное устройство
ГЗШ	Главная заземляющая шина
ДСУП	Дополнительная система уравнивания потенциалов
КДУП	Коробка дополнительного уравнивания потенциалов
КТП	Комплектная трансформаторная подстанция
КУП	Коробка уравнивания потенциалов
МЭК	Международная электротехническая комиссия
НКУ	Низковольтное комплектное устройство
ОСУП	Основная система уравнивания потенциалов
ПУЭ	Правила устройства электроустановок
РУНН	Распределительное устройство низкого напряжения
СУП	Система уравнивания потенциалов
УЗИП	Устройства защиты от импульсных перенапряжений
УЗО	Устройство защитного отключения
ЭДС	Электродвижущая сила
ЮУрГУ	Южно–Уральский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

Молния – мощнейший электроразряд в воздухе возникший во время грозы. В своей сути канал разряда молнии – это нагретый до двадцати восьми тысяч градусов, значительно насыщенный ионами атмосферный воздух, формирующий, проводящую ток, среду, между подзаряженным до довольно значительных разниц потенциалов грозовым облаком и поверхностью земли.

Ток молнии действительно может достигнуть 300 тысяч ампер при напряжении до 150 тысяч вольт. В нитях молнии начинают протекать импульсные токи очень больших величин главная цель у них – сравнять действующую между облаком и землей разность зарядов. [19]

В разных точках земного шара постоянно возникают молнии. Каждую секунду происходит порядка 50 контактов молнии с Землей, а каждый гектар нашей планеты молния поражает как минимум один раз в два месяца. Еще в 1769 г. Бенджамин Франклин выдвигал гипотезу, о том, что молнии, бьющие по земле из грозовых облаков, – являются электрическими разрядами, переносящие на нее отрицательный заряд, составляющий несколько десятков кулон, а амплитуда тока при ударе молнии составляет от 20 до 100 кА. С помощью скоростной фотосъемки выявлено, что разряд молнии расходится в течение несколько десятых долей секунды и состоит из нескольких еще более коротких разрядов.

Ученые во все времена исследовали молнии, но и в современном мире о них известно не так много, даже при изучении этого феномена на разных планетах. Интересно, что молния является вечным зарядным устройством электрического поля Земли. Измерив электронное поле Земли, используя атмосферные зонды, ученые пришли к выводу, что его напряженность равна примерно 100 В/м. Такой показатель соответствует суммарному заряду планеты, равному 400 000 Кл. Ионы помогают переносить заряды в атмосфере Земли, при этом, чем выше они находятся, тем увеличивается их концентрация – достигая своего максимума на высоте 50 км. Здесь, под действием космического излучения, образовалась ионосфера – электропроводящий слой. Таким образом, электрическое поле Земли является полем сферического конденсатора с приложенным напряжением около 400 кВ. С помощью воздействия этого напряжения в нижние слои течет ток силой 2–4 кА, плотность которого составляет 1–2...10–12 А/м², и выделяется энергия до 1,5 ГВт. Такое поле не смогло бы существовать без молний. Именно поэтому Земля, как электрический конденсатор, в хорошую погоду разряжается, а при грозе заряжается. [4]

Молния всегда движется к земле самым коротким путем. Разряд молнии проходит по пути наименьшего электрического сопротивления. так как между высоким объектом и грозовым облаком расстояние, а, следовательно, и

электрическое сопротивление, меньше, то молния, как правило, ударяет в высокие объекты, например, если расположить рядом две мачты – металлическую и более высокую деревянную, то молния скорее всего ударит в металлическую мачту, хотя она ниже, потому что электропроводимость металла выше. Молния также значительно чаще ударяет в глинистые и влажные участки, чем в сухие и песчаные, т.к. первые обладают большей электропроводностью. [1]

Поэтому молния чаще ударяет в высокие предметы, а из двух предметов одинаковой высоты – в тот, который является лучшим проводником. Для небольшого по высоте дому молнии не так страшны, как многоэтажному, высотному дому, но от них можно надежно защититься, предприняв соответствующие меры молниезащиты.

Если молнии ударит прямо в дом, то может произойти возгорание пожар, особенно это актуально для домов, построенных из бруса или бревна (деревянные дома).

Нельзя оставлять без внимания масштабы возможных разрушений и ущерба причиняемого попаданием молнии, дома и другие сооружения необходимо обеспечить молниезащитой. Здания или сооружения, которые расположены рядом с водоемами или рядом с выходом ключей, в наибольшей степени подвергаются прямому удару молнии.

В общем молниезащиту следует рассматривать как комплекс средств, которые включают в себя, как устройство защиты от прямых ударов молнии называемое внешней молниезащитной системой, так и устройство защиты от вторичных воздействий молнии называемое внутренней молниезащитой. В общем случае внешняя молниезащита состоит из молниеприемника, токоотвода и заземлителя.

Классический молниеприемник представляет металлический штырь, металлический трос или металлическую сетку из арматуры с шагом ячеек 6...12 м.

Заземление представляет собой металлический предмет, желательно большей площади, который закапывают или вбивают в землю на большую глубину. Это может быть толстая труба, металлический уголок (или несколько соединенных вместе уголков). Закапывают предметы на глубину промерзания почвы, это 1,5...2 м. [6]

Для обеспечения надежной молниезащиты необходимо максимально ответственно подходить к этому вопросу, так как от этого зависит не только материальная составляющая, но и самое ценное – человеческая жизнь, что полноценно подтверждает актуальность темы для диссертационной работы. Точные инженерные расчёты, анализ почвы, расчёт вероятности удара молнии в

заданной области – всё это необходимо учитывать для минимализации ущерба от стихии.

1 ПРОБЛЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

1.1 Последствия удара молнии

В наше время тотальной застройки, включая индивидуальную, вопрос молниезащиты встает особенно остро. Однако, по сей день в этом вопросе отсутствует системный подход, в то время как эти элементы должны планироваться еще в фазе проектирования дома.

К примеру, если дом располагается в окружении высоких деревьев, скорее всего, прямого удара не будет. Деревья выполняют роль молниеприемника. Однако, есть риски для электроустановок здания. Ток перейдет в корневую систему – контур заземления дерева, часть тока будет принята главной заземляющей шиной. Перенапряжение между проводами РЕ (PEN) и, к примеру, фазными проводами способно достигать даже нескольких киловольт. При условии, что дом не будет оборудован УЗИП и системой внутренней молниезащиты, перенапряжение повредит блоки питания различных электроприборов и пробьет изоляцию кабеля во внутренней проводке. Аналогичные последствия возникнут при наведении электромагнитным полем от молниевых разрядов импульса перенапряжения на проложенные в открытой местности провода воздушных линий электропередачи.

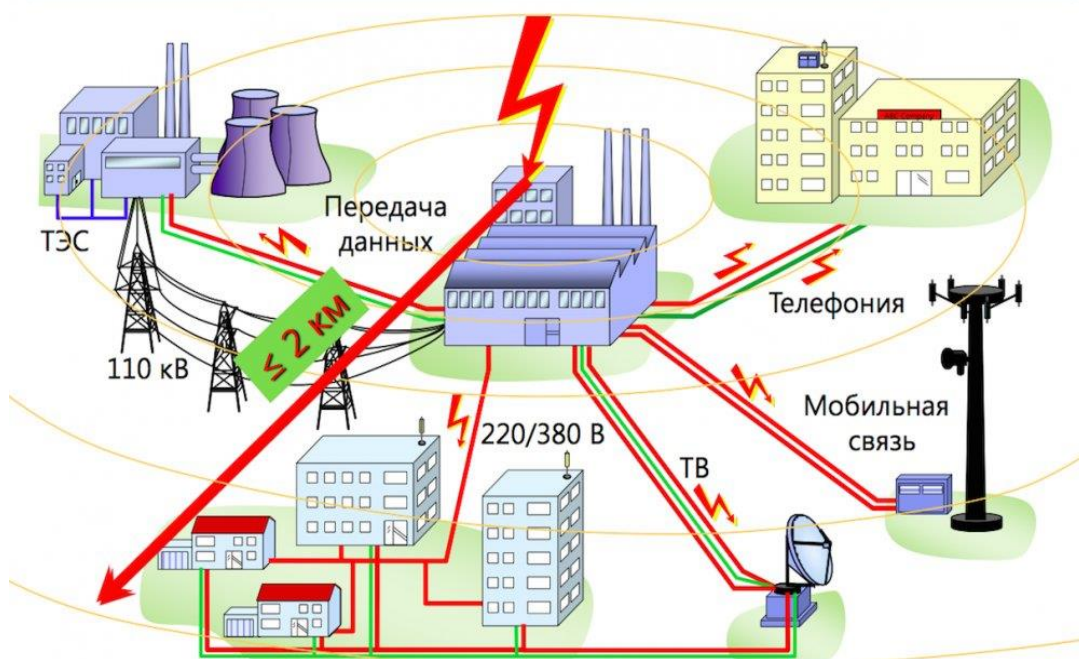


Рисунок 1– Возможные пути перенапряжения при ударе молнии

Перенапряжениями специалисты называют любые кратковременные повышения напряжения в электрической сети над его номинальным уровнем. Здесь будут рассмотрены перенапряжения, которые вызывает ток молнии в месте удара. Самая простая ситуация – молнию принимает на себя специально установленный стержневой молниеотвод. Ее ток I через молниеприемник, а затем через токоотводы попадает в заземлитель и растекается в земле. При этом на сопротивлении заземления R_3 выделяется напряжение $U_R = I_{\text{мол}} R_3$. Это очень большое напряжение. Например, при $I_{\text{мол}} = 100$ кА и $R_3 = 10$ Ом получается $U_R = 1000$ кВ. Примерно такой же потенциал будет в ближайшей окрестности молниеотвода. Расположенный поблизости подземный кабель примет почти тот же потенциал и, если не предпринять специальных мер, передаст его по кабелю внутрь защищаемого здания, вызвав повреждения изоляции, которую на столь высокое напряжение не рассчитывали. [1]

Иным словом, последствия удара молнии способны вывести из строя все системы жизнеобеспечения дома. Между тем, статистика последствий ударов молний в нашей стране неутешительна. Каждое лето мы получаем новые известия о сгоревших домах и нежилых строениях, как в городе так и на селе.

В Москве в июне 2012 на складе по улице Люблинской возник пожар, тушение заняло несколько часов, причинен значительный ущерб. В тот же период в крышу дома в селе Новополево Глазуновского района попала молния, от чего дом практически полностью сгорел.

Зайцев В.М. в целях защиты своих прав обратился в Порховский районный суд с иском к ОАО «МРСК Северо–Запада», а затем и к ОАО «Псковэнергосбыт», в обоснование исковых требований указав, во время грозы в его доме, в электросети произошел скачек напряжения, в результате чего при контакте с металлической ванной Зайцев В.М. был поражен электрическим током и был госпитализирован с ожогами второй степени. Также из рабочего состояния вышла вся бытовая техника подключенная в тот момент к электросети. Полагая, что причиной скачка напряжения явилось отсутствие на момент грозы разрядников грозозащиты на трансформаторной подстанции КТП–1197, от которой, в том числе к дому истца, отходит линия электропередачи ВЛ–0,4 кВ, просит взыскать с ответчиков стоимость поврежденной бытовой техники и компенсацию вреда здоровья.

В ходе судебного разбирательства Зайцев В.М. в качестве дополнительного основания указал, что причиной выхода из рабочего состояния, кроме отсутствия разрядников грозозащиты, явилось несоответствие заземляющего контура и правил устройства молниезащиты требованиям к данному жилому объекту.

Под Пензой в селе Тешнярь в июле 2012 года дотла сгорела церковь. В 7 часов утра молния поразила здание, а уже в 8.30 от нее остались только обгоревшие

бревна. Священнослужители объяснили это тем, что на кресте не был установлен громоотвод, как это делают в других церквях.

Возгорание дома в селе Балыково Саратовской области от удара молнии привело к полному разрушению постройки.

Грозовой разряд молнии стал причиной пяти пожаров в Брестской области 31 июля 2017 года, сообщает областное управление МЧС: молния повредила постройки в Ивановском, Пинском, Лунинецком, Малоритском районах и городе Пинске.

В трех случаях из-за пожаров пострадали 2 многоэтажных здания и имущество, а также пострадало 7 человек. Во всех случаях следственным комитетом были выявлены нарушения исполнения молниезащитных мероприятий.



Рисунок 2. Последствия удара молнии

Подобных инцидентов огромное количество, с каждым днём такая печальная статистика лишь пополняется несчастными случаями, которые можно было предотвратить, если правильно проектировать, а также ни в коем случае не пренебрегать молниезащитой.

Защита должна быть полноценной. Будет неправильно если человек, справившись с защитой своего сооружения от прямого удара молнии, пострадает от заноса высокого потенциала, грозových перенапряжений в электрической сети или сбоях электронного оборудования, пославшего ложную команду. Защита от молнии должна быть комплексной и обязательно совместимой с технологическим

назначением объекта. Полумеры здесь мало подходят. Более того, не исключена ситуация, когда недальновидное решение может усугубить опасные воздействия молнии. Вот почему проект по молниезащите должен подготовить специалист. Он должен внимательно оценить опасность всех возможных воздействий высокотемпературного канала, тока и электромагнитного поля молнии. Во внимание должно быть принято не только конструктивные особенности защищаемого объекта, но и его окружение на поверхности земли и даже подземные коммуникации. Дилетанту такое не по силам.

Очень важно, чтобы средства защиты от молнии не “навешивались” на уже смонтированный объект, а разрабатывались еще на стадии проекта. Только тогда удастся максимально совместить элементы молниезащиты с конструктивными деталями защищаемого объекта и тем самым сберечь немалые деньги. Не редкость, когда совершенно незначительное изменение конструкции объекта, не сказывающееся на его технологических функциях, влечет за собой очень резкое повышение молниестойкости. На такие решения способны только высоко квалифицированные специалисты.

Проблема возникновения пожаров, связанных с частыми грозами, знакома практически для каждого жителя мегаполиса. Потому молниезащита жилых многоэтажных домов выходит практически на первое место при проектировке таких зданий. Рассмотрим особенности грозозащиты.

Если говорить в общем, то такая система предусматривает внешнюю и внутреннюю молниезащиту, а также оборудование системы уравнивания потенциалов.

Опасность возникновения высоких потенциалов существует на линиях электропередач в результате попадания в них молнии, либо вследствие возникновения электромагнитной индукции в непосредственной от них близости.

Таким не очень благозвучным и не вполне точным словосочетанием в молниезащите называют доставку к защищаемому объекту высокого напряжения по его надземным или подземным коммуникациям. Сам объект может быть и не поражен прямым ударом молнии. Пусть молния ударила совсем в другое сооружение, в дерево или даже просто в землю. Растекаясь в земле у пораженного сооружения, ток молнии создаст на его заземлителе очень высокое напряжение, $U_3 = I_{\text{мол}} R_3$. (например, 300 кВ, если $R_3 = 10$ Ом, а $I_{\text{мол}} = 30$ кА). Под таким же напряжением окажется металлическая оболочка коммуникации, которая связана с тем же заземлителем. Волна напряжения может распространяться по коммуникации на большие расстояния, особенно если она наземная и лишена утечки электрических зарядов в грунт. Но даже в подземном исполнении коммуникация может транспортировать волну высокого напряжения на

расстояние в сотни метров без заметного затухания. Чем выше удельное сопротивление грунта, тем эффективнее транспортировка. В скальных породах, сухих песках или в вечно мерзлых грунтах занос высокого потенциала опасен даже на расстояниях в несколько километров. Особо нужно отметить современные коммуникации из пластиковых труб. Внутри их электролит (в крайнем случае, водопроводная вода, которая тоже неплохой проводник), вполне пригодный для передачи высокого напряжения на большие расстояния, а снаружи высококачественный пластик, надежно изолирующий внутреннюю среду от контактов с грунтом. Теперь утечки в грунт исключаются полностью. Легко представить последствия прикосновения человека к металлическому крану такой коммуникации. Стоя на земле с нулевым потенциалом, он окажется под действием полного напряжения, которое передано по жидкостному каналу. [2]

Проникая в дома, они могут стать причиной не только выхода из строя различных электробытовых приборов, но и представляют реальную угрозу для жизни человека. Чтобы предотвратить такую возможность обычно оборудуют заземление крюков на стенах и опорах.

Импульсное сопротивление заземлителя для каждого отдельно стоящего или изолированного молниеотвода и для каждого токоотвода тросового молниеотвода должно быть не более 10 Ом. В грунтах с удельным сопротивлением 4...5 Ом и выше, допускается повышение импульсного сопротивления каждого заземлителя до 40 Ом с соответствующим удалением молниеотводов от защищаемого сооружения.

Самым лучшим вариантом является установка дополнительного заземления на ближайшей опоре к дому. Таким образом, здание можно сделать совершенно безопасным.

1.2 Внешняя и внутренняя молниезащита

Одной из важнейших систем является система внешней молниезащитой. Она устанавливается практически на всех сооружениях и обеспечивает минимальный шанс прямого попадания молнии в сооружение, защищая тем самым его от повреждений. Она берет на себя удар молнии, который затем отводится в грунт.

Комплекс мер внешней системы молниезащиты включает в себя три элемента:

- Молниеприёмник (громоотвод, молниеотвод) – это устройство, предназначенное для перехвата молнии. Принцип действия молниеприемника состоит в том, что удар молнии приходится на наиболее высокие и хорошо

заземленные металлические сооружения. Следовательно, если объект расположен в зоне защиты молниеотвода, то он не будет поражен молнией.

- Токоотвод – устройство, выполняющее отвод тока молнии с молниеприемника на заземление. Устанавливается на стену сооружения и водосточные трубы. Представляет собой омедненную проволоку или полосу, которая тянется от молниеприёмника к заземлителю.

- Заземлитель – устройство, выполняющее отвод 50% и более тока молнии, прошедшего по токоотводу в землю. Оставшийся ток распределяется по примыкающим к сооружению коммуникациям. Заземлитель – единственный элемент внешней молниезащиты, погруженный в грунт. Заземляющими электродами могут служить элементы разных размеров, материалов и форм, соответствующие требованиям нормативных документов.

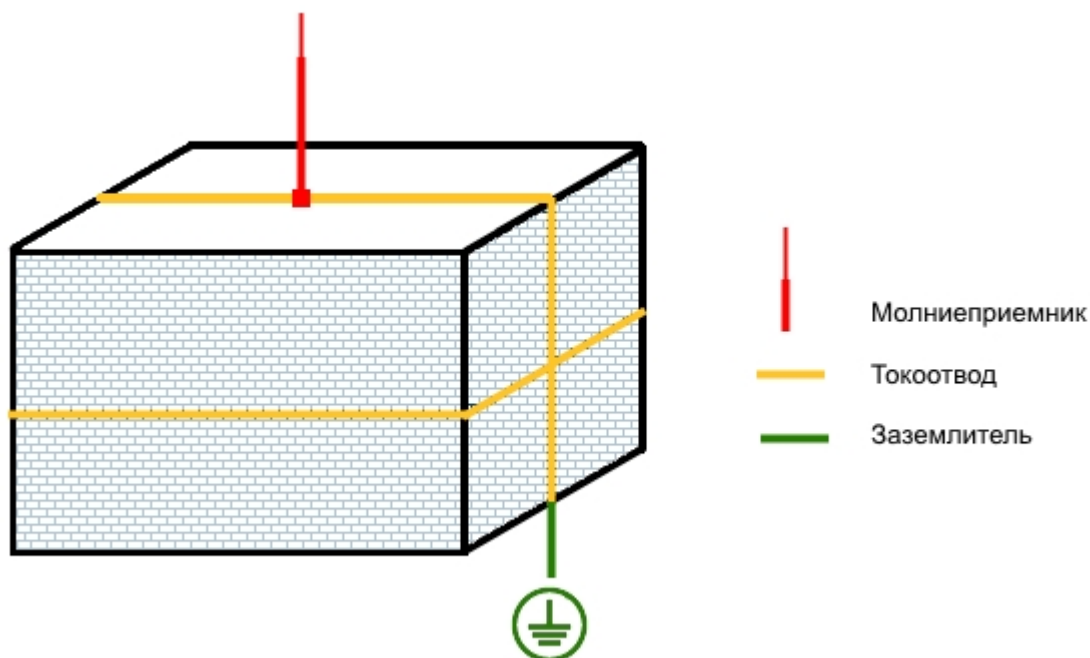


Рисунок 3 – Схематическое расположение элементов внешней молниезащиты

Установить внешнюю молниезащитную систему можно как на самом защищаемом объекте, так и изолированно: в виде отдельно стоящих молниеприемников и соседних сооружений, выполняющих функции естественных молниеотводов.

Систему молниезащиты организуют по принципу максимального использования естественных молниеотводов. В случаях, когда обеспечиваемая ими защищенность недостаточна, то комбинируют со специально установленными элементами (искусственными молниеприемниками).

Простота устройств, отсутствие необходимости в специальном техническом обслуживании и сравнительно надежная защита объекта от поражения ударами

молнии, обеспечили молниеприемникам пассивной системы молниезащиты наиболее широкое распространение на практике.

Выделяют следующие типы пассивных молниеприемников:

- стержневые (мачта);
- тросовые;
- сетчатые.

Молниеприёмники изготавливают из различных материалов: алюминий, медь, нержавеющая или оцинкованная сталь, с учетом минимальных сечений для каждого из них согласно нормативным документам.

Стержневой молниеприемник (или молниеприёмная мачта) представляет собой вертикальное устройство высотой обычно от 1 до 20 метров на крыше сооружения или рядом с ним, установленное таким образом, чтобы зона защиты покрывала защищаемый объект. Специальные зажимы, используемые при установке мачт, позволяют крепить их как к вертикальным (стена), так и горизонтальным (земля, крыша) поверхностям. От каждой мачты монтируют два токоотвода. Если молниеприемник располагают на кровле сооружения, то используемое заземляющее устройство представляет собой горизонтальный контур, который усиливают в точках опусков токоотводов вертикальными заземлителями. Заземляющее устройство отдельно стоящих мачт выполняют тремя вертикальными заземлителями, объединенными между собой по типу «куриной лапы». Стержневые молниеприемники (мачты) выбирают в основном для защиты небольших зданий, не сложной архитектуры.

Конструкция тросового молниеприемника состоит из двух мачт и натянутого между ними стального троса. К концам троса примыкают по одному токоотводу с заземлителем по типу «куриной лапы». При правильном расположении опорных мачт грозовые разряды уходят в землю за пределы защищаемого объекта. Тросовую молниезащиту широко применяют для невысоких строений. Стержневые и тросовые молниеприемники подразделяются на одиночные, двойные и многократные, образуя общую зону защиты объекта. Многократные молниеприемники используют для защиты крупных зданий или нескольких сооружений, занимающих значительную территорию.

Конструкция молниеприемника изготавливается в виде сетки из металлического прутка на крыше защищаемого сооружения. Молниеприемную сетку укладывают на кровлю здания с шагом (размером ячеек) от 5x5 м до 20x20 м в зависимости от категории молниезащиты объекта. [7]

Распространённый вопрос, который возникает при проектировании, – можно ли укладывать молниеприемную сетку непосредственно на кровлю крыши. На самом деле, сетку можно укладывать прямо на кровлю или под утеплитель. [20]

Если повышение температуры представляет для объекта опасность, то расстояние между токоотводом и горючей кровлей или стеной, должно быть больше 0,1 м. При этом металлический зажим может быть в контакте с горючей стеной. Если стена или кровля являются горючими, но повышение температуры для них не опасно, то разрешается крепление непосредственно к стене. [10]

Токоотводы монтируют по всему периметру молниеприемника с шагом от 10 до 25 м (зависит от уровня защиты). Тип кровли защищаемого сооружения (мягкая или жесткая) определяет способ крепления «сетки» к поверхности крыши. При соблюдении условия не горючего основания, молниеприемная сетка может быть уложена в «кровельном пироге». Заземлитель для данного типа молниеприемника представляет собой замкнутый горизонтальный контур, усиленный в точках опусков токоотводов. [11]

Существуют также и естественные токоотводы, которые тоже нужно учитывать:

а) металлические конструкции при условии, что:

- электрическая непрерывность между разными элементами является долговечной и соответствует требованиям п. 3.2.4.2;

- они имеют не меньшие размеры, чем требуются для специально предусмотренных токоотводов. Металлические конструкции могут иметь изоляционное покрытие;

б) металлический каркас здания или сооружения;

в) соединенная между собой стальная арматура здания или сооружения;

г) части фасада, профилированные элементы и опорные металлические конструкции фасада при условии, что их размеры соответствуют указаниям, относящимся к токоотводам, а их толщина составляет не менее 0,5 мм.

Основной задачей внутренней молниезащиты является защита мелких и крупных бытовых приборов от воздействия прямого попадания разряда молнии в дом, а также от электрических разрядов от молнии на расстоянии до 2 километров от дома.

Внутренняя молниезащита жилых многоэтажных домов призвана защитить электрооборудование от статического напряжения. Оборудуется она в виде системы УЗИП, которая предотвращает возможность импульсного перенапряжения.

Во время разряда по каналу молнии со скоростью в сотни тысяч км/с движутся заряженные частицы, создавая переменное электромагнитное поле. В попавших под действие этого поля проводниках возникает электродвижущая сила (эдс) электромагнитной индукции ε_i . Если проводник образует замкнутый контур, то

эдс приведет к появлению в нем индукционного тока. В противном случае на концах проводника возникнет равная эдс разность потенциалов. [21]

Величина эдс зависит от скорости изменения силы тока в канале молнии, которая может превышать значение $5 \cdot 10^9$ А/с. Поэтому разряд молнии приводит к возникновению в электрических коммуникациях импульсов перенапряжения длительностью от десятков до сотен микросекунд, имеющих амплитуду тока до сотни килоампер и амплитуду напряжения в десятки киловольт. Такой импульс способен нанести непоправимый ущерб расположенному внутри здания электрооборудованию. [5]

Даже при установленной на здании внешней молниезащите во время отвода тока от молниеприемника до заземляющего устройства по наружному токоотводу на, идущем параллельно ему внутри здания электрическом кабеле, индуцируется импульс перенапряжения довольно значительной амплитуды. К тому же, подобный импульс может попасть в дом по идущим туда электрическим подземным коммуникациям при растекании разряд молнии от молниезащитного заземления или «зайти» с расстояния в несколько километров по воздушной линии электроснабжения при попадании молнии в нее или рядом с ней.

От микросекундного разрушительного воздействия таких наведенных или занесенных импульсов перенапряжения в электрических коммуникациях здания электронику не защитят ни автоматические выключатели, ни УЗО. Для этой цели предназначены специальные устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) со временем срабатывания в наносекундном диапазоне.

Для разработки и оценки надежности устройств внутренней молниезащиты принято использовать моделирующие импульсы тока двух типов: 8/20 мкс и 10/350 мкс.

В первом случае это импульс с длительностью нарастания переднего фронта 8 мкс и длительностью спада по полувысоте 20 мкс. Подобными характеристиками моделируют воздействие затухающего удаленного прямого удара молнии в линию электропередач или непрямого удара (включая и межоблачные разряды). А также возникающие в системах электроснабжения коммутационные всплески перенапряжения (переключение трансформаторов, отключение разъединителей или защитных автоматов и т.д.) и создаваемые оборудованием самих потребителей паразитные наводки (запуск моторов, работа сварочного аппарата и т.д.).

Во втором случае длительность нарастания переднего фронта импульса составляет 10 мкс, а время спада по полувысоте – 350 мкс. Такими характеристиками описывается воздействие при попадании разряда молнии в молниеприемник внешней молниезащиты или в воздушную линию

электроснабжения – в месте удара или на расстоянии несколько десятков метров от него. Максимальное значение тока в импульсе 10/350 мкс I_{imp} выбирается в зависимости от уровня защиты здания.

При расчетах исходят из предположения, что в здание «зайдут» 50% от I_{imp} импульса 10/350 мкс. Жилые дома относятся к III классу защиты, для которого принимается $I_{\text{imp}} = 100$ кА, то есть считается, что в здание попадет 50 кА – разделившись между подземными коммуникациями проводами, трубами, заземлением и т.д. или проводами воздушного ввода электропитания. Поэтому после грозы даже при наличии защитного заземления может, например, сгореть электроника управления электродкотлом.

То есть, грамотно и качественно выполненная система внешней молниезащиты с соблюдением всех действующих нормативов при монтаже молниеприемников, токоотводов и заземления выполняет функцию только по сохранению от повреждения ударом молнии здания, но не электрооборудования внутри него. Поэтому при организации внутренней молниезащиты используется концепция выделения для защищаемого здания соответствующих зон защиты.

Суть зонной защиты заключается в последовательном снижении импульсного перенапряжения при переходе в следующую зону молниезащиты LPZ (Lightning Protection Zone). Каждая последующая зона выделяется в пределах предыдущей. То есть они «вставлены» одна в другую подобно матрешкам. На границах LPZ устанавливаются УЗИП, которые снижают величину импульса перенапряжения до приемлемого для находящегося в данной зоне электрооборудования.

В соответствии с международными стандартами IEC 61312–1, IEC 62305–4 (ДСТУ EN 62305–4:2012,) и DIN VDE V 0185–4 определяют четыре зоны: одну внешнюю по отношению к зданию, которая имеет две (три) подзоны, и три – внутри здания.

LPZ 0A – Не имеющая никакой защиты область вне здания, которая подвергается непосредственному воздействию разряда (канала) молнии и генерируемого при этом электромагнитного излучения.

LPZ 0B – Защищенная системой внешней молниезащиты область вне здания, которая подвергается воздействию только генерируемого при разряде молнии электромагнитного излучения.

LPZ 0C – Зона шириной и высотой 3 м вокруг здания, в которой существует опасность для жизни, обусловленная попаданием под шаговое напряжение или прикосновением к проводнику при стекании и растекании тока молнии в грунте (выделяется стандартами IEC 62305–4 и DIN VDE V 0185–4).

LPZ·1 – Защищенная от непосредственного воздействия разряда молнии внутренняя часть помещения. В ней воздействие на токопроводящие элементы электромагнитного поля молнии за счет экранирующих свойств строительной конструкции самого здания существенно ниже, чем в LPZ 0.

LPZ 2 – Область внутри помещения с повышенными требованиями к защите, что предполагает последующее снижение по сравнению с LPZ 1 влияния электромагнитного поля молнии.

LPZ 3 – Область внутри помещения, оборудование в которой требует наибольшей защиты от импульсных перенапряжений. Как правило, это конечный потребитель (даже может быть проводящий корпус конкретного устройства). [23]

Конкретная величина допустимого уровня импульсного перенапряжения определяется свойствами размещенного в здании электрооборудования и электроники.

Реализация концепции зонной защиты осуществляется установкой на границе зон соответствующих УЗИП, которые понижают до приемлемой величины амплитуду импульсов перенапряжения. Так как следующая зона находится внутри предыдущей, то УЗИП образуют каскад, при помощи которого импульсное перенапряжение снижается ступенчато на границах зон.

Помимо этого, она сводит на нет вторичное воздействие молнии на здания. Таким образом, можно гарантировать сохранность бытовой техники, станков и прочего оборудования. Иными словами УЗИП сводит импульс напряжения к безопасному для человека и приборов значению минимума.

Современные многоквартирные дома оборудованы различными инженерными системами и многочисленными бытовыми приборами, металлические элементы которых служат проводниками электрического тока и обладают своим потенциалом. При нормальной эксплуатации потенциал близок к нулю и не отличается от потенциала поверхности и других окружающих предметов. При аварии, например повреждении изоляции или заносе потенциала по трубам, потенциал проводящих частей может повышаться до нескольких сотен вольт. При одновременном прикосновении человека к двум предметам с разными потенциалами, возникает опасность поражения его электрическим током. Причиной возникновения напряжения на металлических токопроводящих частях может быть не только поврежденная изоляция, но и статическое электричество, а так же блуждающие токи систем заземления. В случае протекания через заземляющее устройство электрического тока, оно так же оказывается под напряжением и не гарантирует достаточный уровень безопасности.

Надежную защиту обеспечивает система уравнивания потенциалов (СУП), организованная по принципу электрического соединения всех доступных для

прикосновения токопроводящих частей здания с нулевым защитным проводником РЕ. В данном случае, потенциально опасные металлические элементы будут иметь одинаковый потенциал, что снижает вероятность удара током, при одновременном прикосновении к ним. [13]

Жилое здание. Множество этажей и квартир. Целые километры коммуникаций: проводов, металлических труб, коробов вентиляции, металлорукавов и т.д. В наших квартирах есть различные металлические ванны, мойки, полотенцесушители и т.п. Иными словами, весь дом просто полон элементов и конструкций, способных проводить электрический ток, но зачастую не предназначенных для этого.

Однако каждый проводник обладает электрическим потенциалом. Это просто закон физики. Потенциал же – величина относительная. Это означает, что электрический потенциал, например, металлической поверхности холодильника сам по себе не имеет вообще никакого значения. Важно только то, насколько он выше или ниже потенциала водопроводной трубы, проходящей от него (холодильника) в относительной близости.

Если между потенциалом холодильника и потенциалом трубы есть разница, то эту разницу можно считать напряжением. Кто-то может предположить, что такое напряжение не может быть существенной величины: ведь и корпус электроприбора, и водопроводная труба не должны быть «под фазой». Но торопиться с выводами не стоит. В действительности есть очень много причин, по которым даже безобидный металлический короб вентиляции может приобрести опасно высокий относительный электрический потенциал.

Среди этих причин, к примеру, не только выход из строя изоляции фазных жил кабелей системы электроснабжения, а еще и атмосферные перенапряжения, статическое электричество, блуждающие и циркулирующие токи систем заземления и многое другое.

Вопрос безопасности решается созданием системы уравнивания потенциалов. Идея ее довольно проста. Если токоведущие части имеют непосредственное электрическое соединение, то потенциал их всегда одинаков, и напряжение между ними не возникнет ни при каких обстоятельствах.

Надежную защиту обеспечивает система уравнивания потенциалов (СУП), организованная по принципу электрического соединения всех доступных для прикосновения токопроводящих частей здания с нулевым защитным проводником РЕ. В данном случае, потенциально опасные металлические элементы будут иметь одинаковый потенциал, что снижает вероятность удара током, при одновременном прикосновении к ним.

Поэтому система уравнивания потенциалов включает в себя все, что может стать опасным: именно металлические трубы, металлоконструкции здания, устройства молниезащиты, короба, лотки. Все это подключается к главной заземляющей шине (ГЗШ) на вводе здания. Такая система получает название основной системы уравнивания потенциалов.

1.3 Установка главной заземляющей шины

Главная заземляющая шина – это важная часть элементов заземляющего устройства, предназначенная для систем электроснабжения, мощностью до 1 кВ, выполняющая соединительную функцию нескольких проводников и служащая для организации работы системы заземления, а так же уравнивания потенциалов. При помощи главной шины реализуется разделение проводника, обеспечивающего защиту, и соединяются элементы, имеющие способность проводить ток:

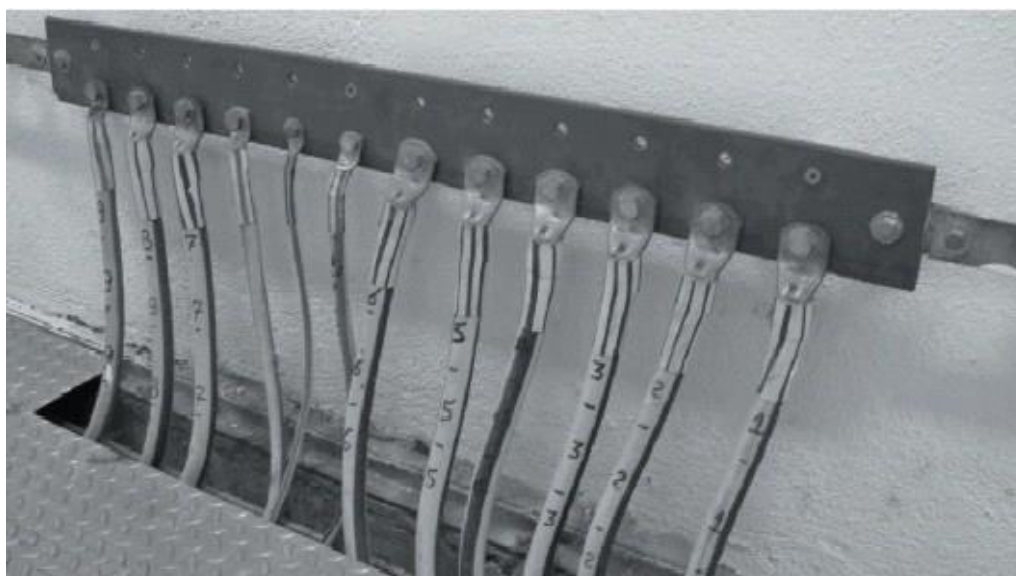


Рисунок 4 – Главная заземляющая шина

- коммуникационные системы, выполненные из металла (водопроводы горячей и холодной воды, газовые трубы, металлические элементы системы отопления, канализационные колодцы и подводки к ним);
- металлические составляющие каркасов домов и технических строений;
- элементы вентиляционных систем и систем кондиционирования строений;
- устройства, обуславливающие защиту от перепадов напряжений при грозах;
- частей основного заземляющего проводника.

Основным материалом для изготовления главной заземляющей шины считается медь, но имеются и стальные аналоги. Алюминий не может использоваться в качестве материала. В своем сечении ГЗШ не должна превышать

сечение защитного проводника, а так же нулевого рабочего питающей линии. Конструктивно она должна быть расположена так, чтобы обслуживающий персонал имел беспрепятственный доступ для подключения или отключения защитных проводников. В зависимости от схемы электрических цепей в здании, главная шина должна иметь не менее 5 присоединений.

По своему месту дислокации, заземляющая шина может находиться как внутри самого вводного устройства, так и обособленно (но недалеко) от него. В том случае, если она расположена внутри, целесообразно использовать РЕ-шину. К ней должен быть подключен РЕ-проводник, и посредством этой шины соединен с главной заземляющей. Проводимость проводника при этом должна быть не меньше, чем проводимость РЕ-проводника линии питания.

При любом расположении ГЗШ (при установке в водном устройстве и при обособленном расположении), все ее соединения, отвечающие за уравнивание потенциалов, должны подходить под систему ГОСТов 10434, в части, касаемой контактных соединений 2-го класса. [12]

Конструирование шины должно предусматривать индивидуальное подключение к ней проводников. Как один из вариантов присоединение, рассматривается монтаж проводника при помощи сварочного аппарата. Открепление их, для производства работ по измерению сопротивления и прочих, должно быть возможным только при наличии специального набора инструментов.

Возможно установление главной заземляющей шины в специальном шкафу. Он представляет собой ящик, изготовленный из гнутых стальных профилей, который вмещает в себя ГЗШ. С фасадной стороны этой металлической конструкции имеется доступ к шине через специальную дверь, а на ее поверхности размещается паспортная табличка. Для повышения безопасности окружающих, такие шкафы снабжены запорными устройствами, которые закрываются на ключ.

Если доступ к шине позволен ограниченному количеству людей (персонал по обслуживанию), и проникновение к ней посторонними людьми исключено, то она может быть установлена и открытым способом. Такой вариант размещения возможен при строительстве индивидуальных домов или небольшой коммерческой недвижимости.

В том случае, если электрические цепи в здании имеют более двух, обособленных между собой, выводов электропитания, то заземляющая шина должна быть в составе каждой цепи из имеющихся вводных устройств. Если имеются несколько встроенных трансформаторов, то ГЗШ должна быть завершающей каждого из них, то есть устанавливаться возле каждой подстанции. Соединителем этих шин служит проводник, предназначенный для уравнивания

потенциалов. Сечение его не может быть меньше сечения РЕ–проводников, которые отходят от подстанции, от щитов наиболее низкого напряжения. При этом выбирается проводник, имеющий максимальное сечение, и относительно него, подбирается сечение заземляющей шины.

При необходимости соединения между собой нескольких главных заземляющих шин, можно использовать иные (сторонние) проводящие части, в том случае, если они удовлетворяют требованию непрерывности цепи и электрической проводимости.

На современном рынке присутствуют ГЗШ для любого количества подключений. Наиболее востребованным вариантом является ГЗШ 10, предназначенная для 10 соединений. Все эти изделия имеют определенные условия эксплуатации, при которых обеспечивается безопасная и бесперебойная работа:

- предназначены для эксплуатации при температурном режиме от –45 градусов, до + 50;
- влажность воздуха должна быть не более 80%, при сопутствующей температуре +20 градусов;
- максимальная высота – не более 2000 метров над уровнем моря;
- безопасная окружающая среда, исключая возможность воспламенения;
- в месте расположения отсутствует пыль, способная проводить электрический ток;
- удаление от паров и газов, носящий агрессивный характер и способных разрушать металлические конструкции и изоляцию.

Выводы по разделу 1

Таким образом, молниезащита жилых многоэтажных домов не ограничивается одной системой, а является целым рядом мероприятий, которые призваны свести на нет разрушительное действие природной стихии.

Под защитным уравниванием потенциалов понимают электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Систему уравнивания потенциалов (СУП) используют для устранения разности напряжений всех проводящих элементов и конструкций здания, а так же относящихся к нему инженерных сетей и коммуникаций между собой и заземляющим устройством, путем их объединения в единый контур с использованием защитных проводников.

Защитные проводники могут находиться в составе линий электроснабжения здания или прокладываться отдельно. Подключение каждого токопроводящего

элемента необходимо выполнять отдельным проводом, с помощью болтовых соединений, зажимов или сварки, с обязательным соблюдением условий доступности для осмотра и проведения испытаний, а так же защиты от механических повреждений и коррозии. Соединения не должны выполняться пайкой.

В составе СУП отдельного здания различают основную и дополнительную системы уравнивания потенциалов. Правила по их выполнению определены в следующих нормативных документах:

1. Стандарт МЭК 364-4-41; ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения;
2. ГОСТ Р. 50571.1-93 Электроустановки зданий. Основные положения;
3. ГОСТ Р. 50571.2-94 Электроустановки зданий. Основные характеристики;
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7-го издания).

2 СИСТЕМА УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ

2.1 Характеристика систем заземления

Ударяя или стекая в землю разряд молнии не исчезает моментально в одной точке, а начинает растекаться, выбирая пути с наименьшим электрическим сопротивлением. Такими путями вполне могут оказаться идущие к дому проводящие коммуникации: трубы водопровода, газоснабжения, канализации, кабеля, и т.д. Это может быть даже пластиковая труба, по которой течет обладающая высокой проводимостью вода, или заземлитель заземляющего устройства. [15]

Также разряд молнии может непосредственно попасть в ведущие в здание расположенные на земле металлоконструкции (те же трубы), провода воздушных линий электропередач или связи и т.д. Результатом будет занос высокого потенциала минуя внешнюю молниезащиту и появление на различных металлических конструкциях в доме разности потенциалов. Такое развитие событий особенно опасно для электрооборудования. [22]

Если, например, в момент заноса высокого потенциала по трубопроводу стоя на неизолированном полу дотронуться до металлического крана, то за счет разности потенциалов можно оказаться под действием довольно высокого напряжения. Однако, поскольку длится подобное воздействие миллисекунды, для находящихся в доме людей вероятность получения электротравм ничтожно мала. А вот для электрооборудования импульс перенапряжения в несколько десятков киловольт и длительностью около 60 миллисекунд может быть «смертельным».

Борются с этим вторичным эффектом разряда молнии путем уравнивания потенциалов всех проводящих электричество элементов в здании. При этом созданная эквипотенциальная поверхность не препятствует заносу высокого потенциала, а уравнивает потенциалы различных проводящих конструкций. То есть потенциал повысится, но останется везде одинаковым – нет разности потенциалов и нет опасных токов и искр из розеток. Уравнивание потенциалов защищает также и от поражения электротоком в случае повреждении изоляции электрооборудования.

Есть еще такое понятие как выравнивание потенциалов, которое заключается в уменьшении посредством защитных проводников разности потенциалов на поверхности земли или пола (то есть шагового напряжения). В случае защиты от удара молнии это достигается правильной организацией молниезащитного заземления. [16]

Обязательно перед проектированием системы уравнивания потенциалов (СУП), нужно полноценно понимать какие системы заземления бывают, потому что в системе TN–С делать СУП категорически запрещено, для опасно для всех потребителей, которые также подключены к системе, если у них отсутствует СУП.

При проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок, промышленного и бытового электрооборудования, а также электрических сетей освещения, одним из основополагающих факторов обеспечения их функциональности и электробезопасности является точно спроектированное и правильно выполненное заземление. В зависимости от того, каким образом, и с каким заземляющими конструкциями, устройствами или предметами соединены соответствующие провода, приборы, корпуса устройств, оборудование или определенные точки сети, различают естественное и искусственное заземление.

Естественными заземлителями являются любые металлические предметы, постоянно находящиеся в земле: сваи, трубы, арматура и другие токопроводящие изделия. Однако, ввиду того, что электрическое сопротивление растеканию в земле электротока и электрических зарядов от таких предметов плохо поддается контролю и прогнозированию, использовать естественное заземление при эксплуатации электрооборудования запрещается. [8]

В нормативной документации предусмотрено использование только искусственного заземления, при котором все подключения производятся к специально созданным для этого заземляющим устройствам.

Основным нормируемым показателем, характеризующим, насколько качественно выполнено заземление, является его сопротивление. Здесь контролируется противодействие растеканию тока, поступающего в землю через данное устройство – заземлитель. Величина сопротивления заземления зависит от типа и состояния грунта, а также особенностей конструкции и материалов, из которых изготовлено заземляющее устройство. Определяющим фактором, влияющих на величину сопротивления заземлителя, является площадь непосредственного контакта с землей составляющих его пластин, штырей, труб и других электродов. [9]

Основным документом, регламентирующим использование различных систем заземления в России, является ПУЭ, разработанный в соответствии с принципами, классификацией и способами устройства заземляющих систем, утвержденных специальным протоколом Международной электротехнической комиссии (МЭК). Сокращенные названия систем заземления принято обозначать сочетанием первых букв французских слов: «Terre» – земля, «Neuter» – нейтраль, «Isole» –

изолировать, а также английских: «combined» и «separated» – комбинированный и отдельный.

- T – заземление.
- N – подключение к нейтрали.
- I – изолирование.
- C – объединение функций, соединение функционального и защитного нулевых проводов.
- S – отдельное использование во всей сети функционального и защитного нулевых проводов.

В приведенных ниже названиях систем искусственного заземления по первой букве можно судить о способе заземления источника электрической энергии (генератора или трансформатора), по второй – потребителя. Принято различать TN, TT и IT системы заземления. Первая из которых, в свою очередь, используется в трех различных вариантах: TN–C, TN–S, TN–C–S. [17]

Все существующие системы устройства заземления предназначены для обеспечения надежного и безопасного функционирования электрических приборов и оборудования, подключенных на стороне потребителя, а также исключения случаев поражения электрическим током людей, использующих это оборудование. При проектировании и устройстве систем энергоснабжения, небъемлемыми элементами которых является как функциональное, так и защитное заземление, должна быть уменьшена до минимума возможность появления на токопроводящих корпусах бытовых приборов и промышленного оборудования напряжения, опасного для жизни и здоровья людей.

Система заземления должна либо снять опасный потенциал с поверхности предмета, либо обеспечить срабатывание соответствующих защитных устройств с минимальным запаздыванием. В каждом таком случае ценой технического совершенства, или наоборот, недостаточного совершенства используемой системы заземления, может быть самое ценное – жизнь человека.

Вернемся к СУП. Для точного определения понятия «система уравнивания потенциалов» необходимо понимать, что такое электрический потенциал, а как следствие, что такое электрический ток. Для примера возьмем любой электрический проводник. Например, электрический провод.

В «спокойном» состоянии любой проводник имеет равномерное распределение как положительных, так и отрицательных зарядов, по всей своей внутренней структуре.

Если подсоединить проводник к устройству, которое создает на одном своем полюсе недостаток электронов, а на другом полюсе их избыток, все электроны нашего проводника начнут направленное движение, чтобы выровнять этот

недостаток и избыток. То есть прийти опять в «спокойный» режим. Такое направленное движение электронов и есть электрический ток, а создаваемый на полюсе проводника избыток или недостаток электронов называется отрицательным и положительным электрическим потенциалом.

Разница электрических потенциалов на полюсах приводит к возникновению электрического тока. Если разница потенциалов не меняется и электроны двигаются в одном направлении, то ток называется постоянным. Если положительный и отрицательный потенциал часто меняются местами, то ток называется переменным. В наших электрических сетях потенциалы меняются с частотой 50 раз в секунду. Что и создает в наших электрических цепях переменный электрический ток с частотой 50 Герц.

При рабочем режиме электрический ток «бежит» по проводнику находящемуся в изоляции от одного электрического потенциала к другому меняя направления 50 раз в секунду. Все металлические изделия, которые находятся в современной квартире, а также в других помещениях, по которым не должен протекать ток, имеют в идеале нулевой электрический потенциал.

Таких потенциальных проводников в помещениях и зданиях много. В стены вмурована железная арматура, в систему водоснабжения обязательно входят металлические водопроводные трубы. Системы вентиляции, кондиционирования, молниезащиты, отопления также включают металлические конструкции. Да и сама бытовая техника, работающая от электричества, имеет металлические элементы конструкции.

Предположим, что где-то в соседней квартире в результате аварии токоведущий провод коснулся батареи отопления. Ток «растекся» по всей системе отопления и изменил электрический потенциал на вашей батарее.

Что может произойти дальше?

1. Вы находитесь на полу или в обуви, которые не проводят электрический ток. Ничего не будет. Вас ток не ударит.

2. Вы находитесь на заземленном полу. Удар тока неизбежен. Для защиты от такого поражения служит устройство защитного отключения (УЗО).

3. Вы находитесь на непроводящем полу и при этом касаетесь одновременно батареи под напряжением и рядом проходящей трубы. Труба и батарея находятся с разными электрическими потенциалами, и ток благополучно потечет через вас. Удар тока неизбежен.

Вот для защиты от последнего поражения электрическим током защищает система уравнивания потенциалов.

Если соединить все металлические конструкции и изделия в помещении, которые не должны быть под напряжением, то в случае аварии все они будут

находиться под одинаковым потенциалом. И даже если на всех трубах в квартире будет 220 вольт, вас током не ударит. Правда, при одном условии: вы должны стоять на изолированной поверхности.

Для визуального примера вспомните птичек сидящих на высоковольтных неизолированных линиях электропередач.

Система заземления, TN–С предполагает объединение нулевого рабочего проводника(N) и защитного проводника (РЕ) в одном проводе.

Соединение на входе в здание нижеперечисленных проводящих элементов называется главной системой уравнивания потенциалов. Соединяются они на входе в здание, во вводном распределительном устройстве (ВРУ) или рядом с ним:

- Магистральный защитный проводник (РЕ или PEN проводники);
- Магистральный заземляющий проводник;
- Стальные коммуникационные трубы в здании и между зданиями (холодный и горячий водопровод, газ, отопление, канализация);

Все металлические части строительных конструкций, централизованные системы вентиляции и кондиционирования, а также молниезащиты Соединяются они на специальной главной заземляющей шине (ГЗШ) или зажиме.

В соответствии с действующими нормативными документами в каждом здании (сооружении) должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов, которую следует реализовать путем присоединения к главной заземляющей шине (ГЗШ) электроустановки следующих проводящих частей:

- защитных проводников;
- заземляющих проводников устройств защитного, функционального и молниезащитного заземлений, если такие устройства в электроустановке здания (сооружения) предусмотрены;
- металлических труб коммуникаций, входящих в здание (сооружение) извне: холодного и горячего водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения (в случае наличия изолирующей вставки на вводе в здание присоединение осуществляется после неё со стороны здания) и т.п.;
- металлических частей каркаса здания (сооружения) и металлических конструкций производственного назначения;
- металлических частей систем вентиляции и кондиционирования;
- основных металлических частей для усиления строительных конструкций, таких как стальная арматура железобетона, если это возможно;
- металлических покрытий (оболочек, экранов, брони) телекоммуникационных кабелей (при этом следует принять во внимание

требования собственника указанных кабелей или организации, обслуживающей эти кабели, относительно такого присоединения).

2.2 Основная и дополнительная система уравнивания потенциалов

Проводящие части, которые входят в здание (сооружение) извне, должны быть соединены с проводниками основной системы уравнивания потенциалов как можно ближе к точке ввода этих частей в здание (сооружение).

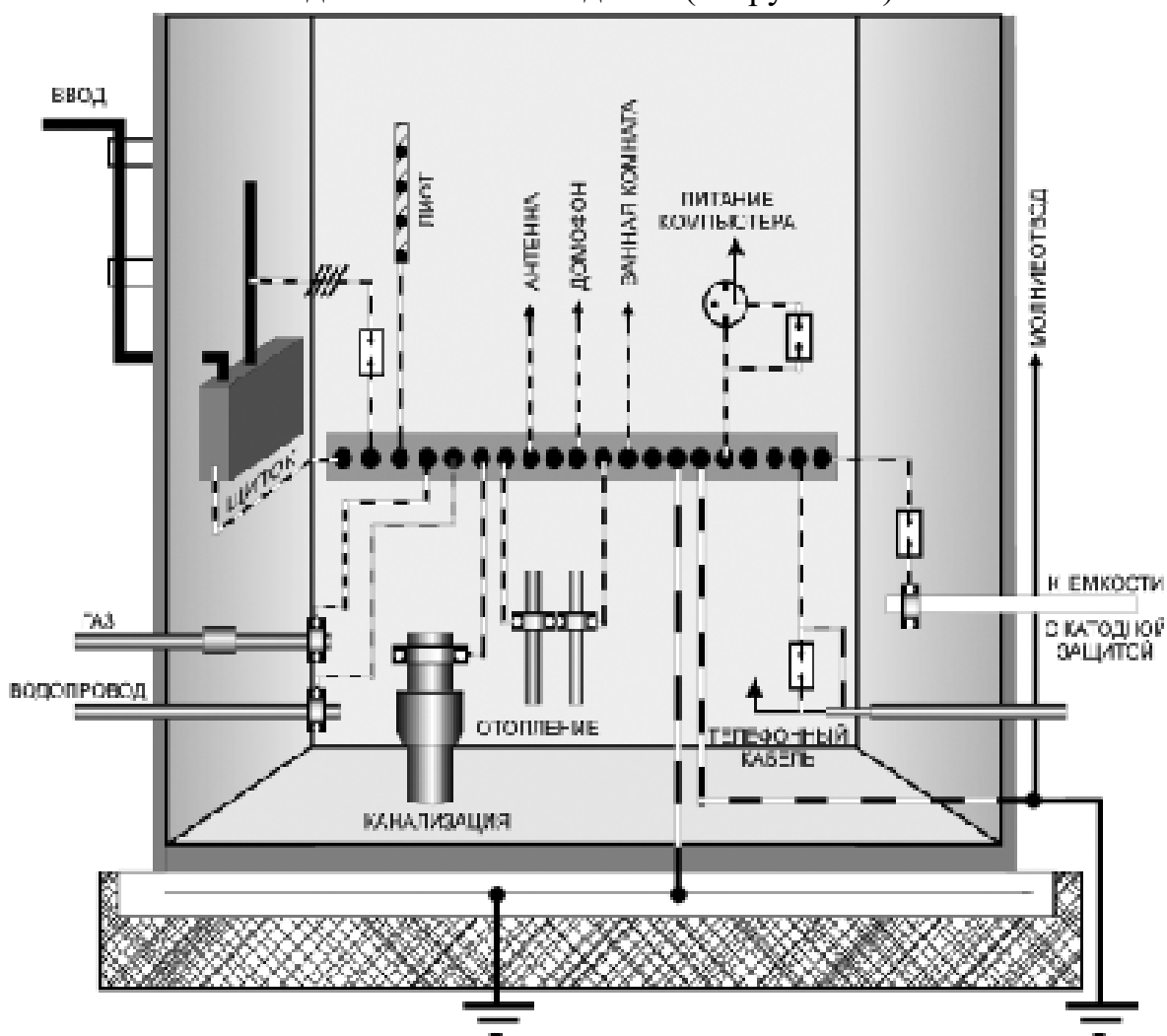


Рис. 5. Основная система уравнивания потенциалов.

К настоящему времени введены в действие главы 1.7 и 7.1 Правил устройства электроустановок, устанавливающие требования к выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания. С выходом главы 1.7 ПУЭ утратил силу технический циркуляр № 6–1/200 Ассоциации "Росэлектромонтаж" "О выполнении главной заземляющей шины (ГЗШ) на вводе в электроустановки зданий". Одновременно с выходом главы 1.7 ПУЭ были введены в действие ГОСТ Р 51321.1–2000 (МЭК 60439–1–92) "Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства испытанные полностью или

частично. Общие технические условия", ГОСТ Р 51732–2001 "Устройства вводно–распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия" и выпущена новая редакция стандарта МЭК 60364–5–54 (IEC:2002), в которых уточнены требования к выбору сечения и конструкции нулевых защитных РЕ–шин в низковольтных комплектных устройствах и электроустановках. Целью настоящего циркуляра является разъяснение по выполнению ряда положений главы 1.7 ПУЭ в части их согласования с требованиями вышеуказанных стандартов и конкретные рекомендации по выполнению отдельных элементов основной системы уравнивания потенциалов. В циркуляре также отражены дополнительные требования по выполнению соединения основной системы уравнивания потенциалов с системой молниезащиты, выполняемой по Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

При выполнении основной системы уравнивания потенциалов в зданиях следует руководствоваться следующим:

1. Если здание имеет несколько обособленных вводов, то ГЗШ должна быть выполнена для каждого вводного устройства (ВУ) или вводно–распределительного устройства (ВРУ) а при наличии одной или нескольких встроенных трансформаторных подстанций – для каждой подстанции. В качестве ГЗШ может быть использована РЕ–шина ВУ, ВРУ или РУНН, при этом все главные заземляющие шины и РЕ–шины НКУ должны соединяться между собой проводниками системы уравнивания потенциалов (магистралью) сечением (с эквивалентной проводимостью) равным сечению меньшей из попарно сопрягаемых шин.

2. Сечение РЕ–шины в водных устройствах (ВУ, ВРУ) электроустановок зданий и соответственно ГЗШ принимается по ГОСТ Р 51321.1–2000. Если ГЗШ установлены отдельно и к ним не подключаются нулевые защитные проводники установки, в том числе PEN (PE) проводники питающей линии, то сечение (эквивалентная проводимость) каждой из отдельно установленных ГЗШ принимается равным половине сечения РЕ–шины наибольшей из всех РЕ–шин, но не менее меньшего из сечений РЕ–шин вводных устройств. [24]

Таблица 1. Сечения РЕ шин

Сечение фазного проводника S(мм ²)	Наименьшее сечение РЕ–шины (мм ²)
До 16 включительно	S
От 16 до 35 вкл.	16
От 35 до 400 вкл.	S/2
От 400 до 800 вкл.	200

Площади поперечного сечения приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Защитные проводники изготовленные из других материалов должны иметь эквивалентную проводимость.

РЕ–шина низковольтных комплектных устройств (НКУ) должна проверяться по нагреву по максимальному значению рабочего тока в PEN проводнике (например, в неполнофазных режимах, возникающих при перегорании предохранителей, при наличии третьей гармоники и т.д.). Для ГЗШ, не являющейся РЕ–шиной НКУ, такая проверка не требуется.

3. Сечение главных проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее 6 мм² по меди, 16 мм² по алюминию и 50 мм² по стали. [3]

Это условие распространяется и на заземляющие проводники, соединяющие ГЗШ с заземлителями защитного заземления и/или рабочего (функционального) заземления (при их наличии), а также с естественными заземлителями.

Сечения проводников основной системы уравнивания потенциалов, используемых для присоединения к ГЗШ металлических труб коммуникаций, имеющих дополнительную металлическую связь с нейтралью трансформатора и через которые возможно протекание токов короткого замыкания (например трубопроводы, отдельно стоящих насосных, которые питаются от тех же трансформаторов, что и вводы в здание) должны выбираться по термической стойкости в соответствии с п.п. 1.7.113 и 1.7.126 ПУЭ.

Присоединение к заземлителю молниезащиты заземляющих проводников основной системы уравнивания потенциалов и заземляющих проводников от естественных заземлителей (при использовании естественных заземлителей в качестве заземлителей системы молниезащиты) должно производиться в разных местах.

Если имеется специальный контур заземления молниезащиты, к которому подключены молниеотводы, то такой контур также должен подключаться к ГЗШ.

4. При наличии в здании нескольких электрических вводов трубопроводные системы и заземлители рекомендуется подключать к ГЗШ основного ввода.

5. Соединения сторонних проводящих частей с ГЗШ могут выполняться: по радиальной схеме, по магистральной схеме с помощью ответвлений, по смешанной схеме. Трубопроводы одной системы, например, прямая и обратная труба центрального отопления не требует выполнения отдельных присоединений. В этом случае достаточно иметь одно ответвление от магистрали или одну радиальную линию, а прямую и обратную трубы достаточно соединить

перемычкой, сечением равным сечению проводника системы уравнивания потенциалов.

6. Для проведения измерений сопротивления растекания заземляющего устройства на ГЗШ должно быть предусмотрено разборное соединение заземляющего проводника, подключаемого к заземляющему устройству.

7. В качестве проводников основной системы уравнивания потенциалов в первую очередь следует использовать открыто проложенные неизолированные проводники. [18]

Ввод защитных проводников в НКУ класса защиты 2 следует выполнять изолированными проводниками, поскольку РЕ–шина в них выполняется изолированной.

8. Отдельно устанавливаемые ГЗШ рекомендуется выполнять из стали. В низковольтных комплектных устройствах РЕ–шина, как правило, выполняется медной (допускается выполнение из стали, использование алюминия не допускается). Стальные шины должны иметь металлическое покрытие, обеспечивающее выполнение требований ГОСТ 10434 для разборных контактных соединений класса 2. При использовании разных материалов для ГЗШ и для проводников системы уравнивания потенциалов необходимо принять меры по обеспечению надежного электрического соединения.

9. В местах, доступных только квалифицированному электротехническому персоналу ГЗШ может устанавливаться открыта. В местах доступных неквалифицированному персоналу ГЗШ должна иметь защитную оболочку. Степень защиты оболочки выбирается по условиям окружающей среды, но не ниже IP21.

10. ГЗШ на обоих концах должна быть обозначена продольными или поперечными полосами желто–зеленого цвета одинаковой ширины. Изолированные проводники уравнивания потенциалов должны иметь изоляцию, обозначенную желто–зелеными полосами. Неизолированные проводники основной системы уравнивания потенциалов в местах их присоединения к сторонним проводящим частям должны быть обозначены желто–зелеными полосами, например, выполненными краской или клейкой двухцветной лентой.

11. Указания по выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания должны быть предусмотрены в проектной документации на электроустановку здания.

Согласно ПУЭ, п. 1.7.82. Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

- 1) нулевой защитный РЕ– или PEN–проводник питающей линии в системе TN

2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;

3) заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

4) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.

Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

5) металлические части каркаса здания;

6) металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине РЕ щитов питания вентиляторов и кондиционеров;

7) заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий;

8) заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

9) металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

ПУЭ 7-го издания (1999 г.) пп. 7.1.87, 7.1.88 предписывают устройство основной системы уравнивания потенциалов следующим образом: п. 7.1.87. На вводе в здание должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов путем объединения следующих проводящих частей:

- основной (магистральный) защитный проводник;
- основной (магистральный) заземляющий проводник или основной заземляющий зажим;
- стальные трубы коммуникаций зданий и между зданиями; металлические части строительных конструкций, молниезащиты, системы центрального отопления, вентиляции и кондиционирования.

Такие проводящие части должны быть соединены между собой на вводе в здание. Рекомендуется по ходу передачи электроэнергии повторно выполнять дополнительные системы уравнивания потенциалов.

К дополнительной системе уравнивания потенциалов должны быть подключены все доступные прикосновению открытые проводящие части стационарных электроустановок, сторонние проводящие части и нулевые защитные проводники всего электрооборудования (в том числе штепсельных розеток).

Система дополнительного уравнивания потенциалов объединяет, одновременно доступные к прикосновению, открытые токопроводящие части, сторонние проводящие части, а также нулевые защитные проводники всего оборудования, включая штепсельные розетки.

Для ванных и душевых помещений дополнительная система уравнивания потенциалов является обязательной и должна предусматривать, в том числе, подключение сторонних проводящих частей, выходящих за пределы помещений. Если отсутствует электрооборудование с подключенными к системе уравнивания потенциалов нулевыми защитными проводниками, то систему уравнивания потенциалов следует подключить к РЕ шине (зажиму) на вводе. Нагревательные элементы, замоноличенные в пол, должны быть покрыты заземленной металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, подсоединенными к системе уравнивания потенциалов. В качестве дополнительной защиты для нагревательных элементов рекомендуется использовать УЗО на ток 30 мА.

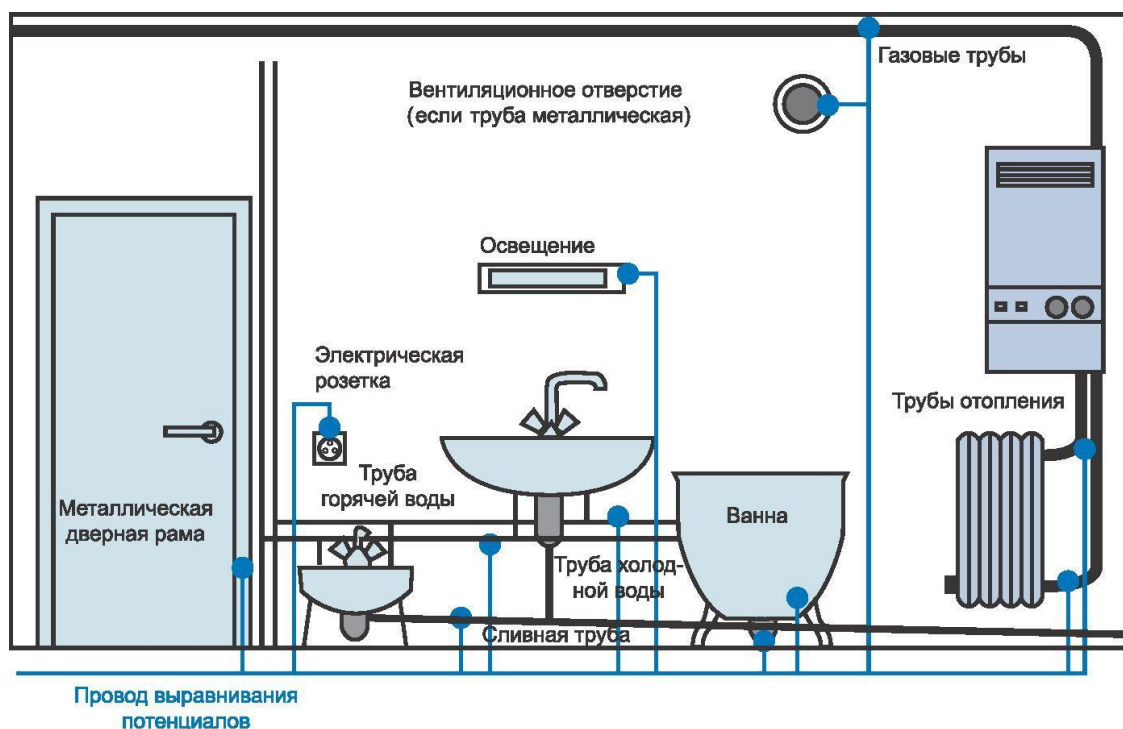


Рис. 6. Система дополнительного уравнивания потенциалов (ДУП)

Делается система дополнительного уравнивания потенциалов (ДУП) в зонах с опасной окружающей средой.

Система дополнительного уравнивания потенциалов (ДУП) обязательна для ванных комнат. Если в системе нет оборудования с подключенными нулевыми защитными проводниками к системе уравнивания потенциалов, то дополнительную систему уравнивания потенциалов нужно подключить к проводнику РЕ зажима на вводе.

Система уравнивания потенциалов в ванной, а также саунах и банях является дополнительной системой (ДУП), именно дополняющей основную систему уравнивания потенциалов (СУП). Устраивать в этих помещениях местную систему уравнивания потенциалов, не связанную с общей системой уравнивания потенциалов запрещено.

Чтобы устроить систему дополнительного уравнивания потенциалов в ванной нужно в распределительном сантехническом шкафу установить пластиковую электромонтажную распределительную коробку с клемником. Называют ее коробка дополнительного уравнивания потенциалов, КДУП или КУП. Размер коробки стандартный.

От шины РЕ(заземляющий/зануляющий проводник) расположенной в квартирном щитке проложить медный провод марки ПВЗ–1х6 мм² до коробки дополнительного уравнивания потенциалов (КУП). От шины, установленной в КДУП отдельными проводами ПВЗ– 1х2,5 мм² соединяем все, что нужно что нужно объединить в системе дополнительного уравнивания потенциалов. Пример на рисунке ниже. Провода уравнивания потенциалов прокладываются в гофре.

**Схема дополнительной системы
уравнивания потенциалов**



1. Корпус ванной (душевой кабины);
2. Открыт. металл. части строит-х конструкций
(в том числе трубы водоснабжения);
3. Штепсельные розетки с РЕ-контактом;
4. Металлическая оплетка теплого пола;
5. Корпус водонагревателя.

КУП - коробка уравнивания потенциалов

Рисунок 7 – Схема дополнительной системы уравнивания потенциалов

ПУЭ 7-го издания (1999 г.) пп. 7.1.87, 7.1.88 предписывают устройство основной системы и системы дополнительного уравнивания потенциалов следующим образом: п. 1.7.83. Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе TN и защитные заземляющие проводники в системах IT и TT, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники либо открытые и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям п. 1.7.122 ПУЭ к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

В последнее время, с повышением оснащенности современных жилых домов и производственных зданий различными электроприборами и постоянным развитием их электроустановок все чаще стали наблюдаться явления ускоренной коррозии трубопроводов систем водоснабжения и отопления. За короткое время – от полугода до двух лет на трубах как подземной, так и воздушной прокладки образуются точечные свищи, быстро увеличивающиеся в размерах.

Причиной ускоренной точечной (питтинговой) коррозии труб в 98 % случаев является протекание по ним блуждающих токов.

Применение УЗО в комплексе с правильно выполненной системой уравнивания потенциалов позволяет ограничить и даже исключить протекание токов утечки, блуждающих токов по проводящим элементам конструкции здания, в том числе и по трубопроводам.

Кроме защиты от электрического тока УЗО выполняет так же и противопожарные функции, поэтому п.7.1.84 ПУЭ-7 рекомендует применять УЗО для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части. Дело в том, что мощности электрической дуги всего в 40-50 ватт уже бывает достаточно для возгорания некоторых строительных материалов

В случае установки УЗО для защиты людей, УЗО должно срабатывать при силе дифференциального тока 4-6 мА (точное значение выбирается производителем устройства и обычно составляет 5 мА) за время не более 25 мс. Именно за это время ритм работы сердца у живого организма не сбивается, в противном случае может наступить остановка сердца, наиболее частый случай смертельных исходов при поражении электрическим током.

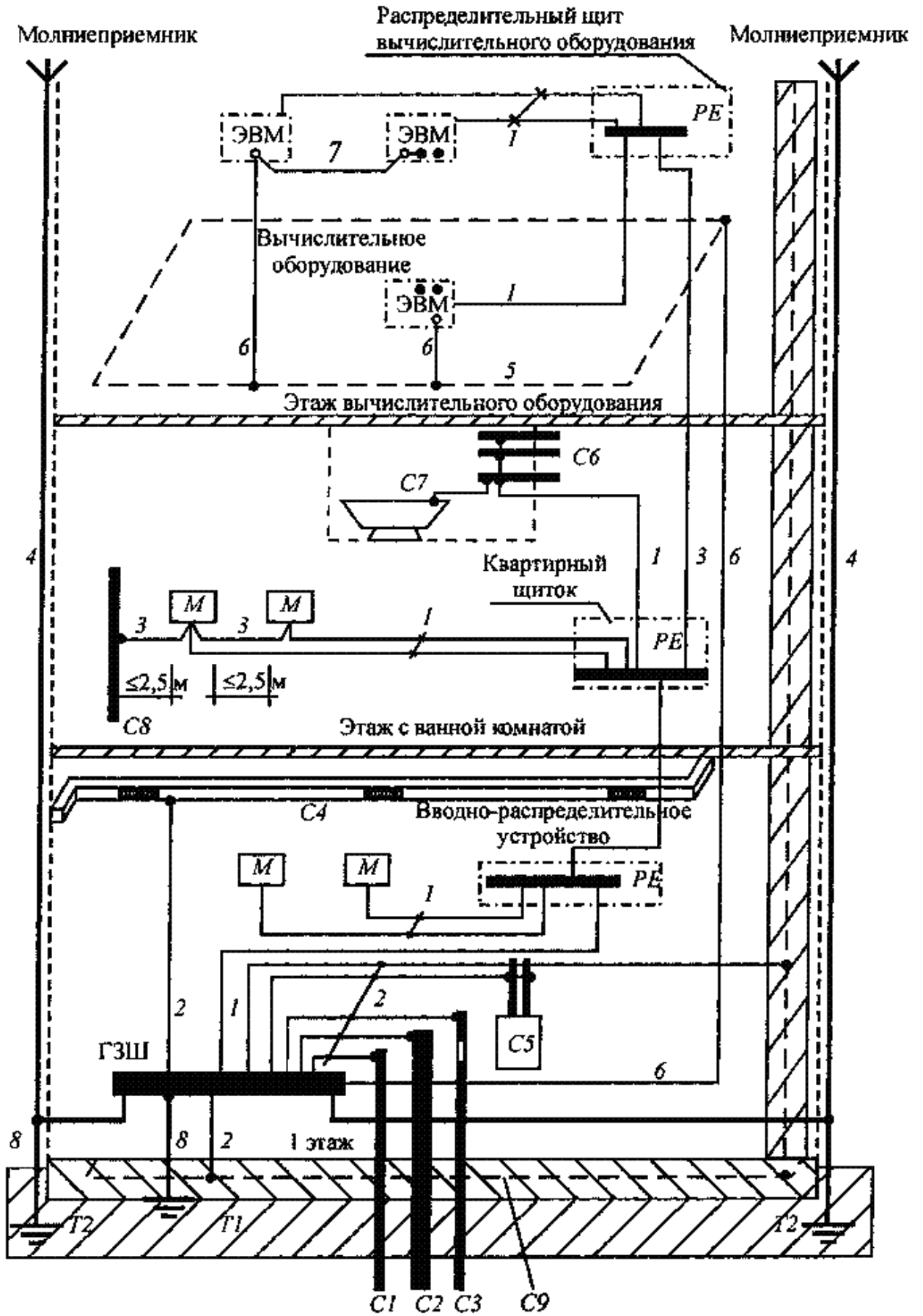


Рисунок 8 – Система уравнивания потенциалов в здании.

Где, М – открытая проводящая часть; С1 – металлические трубы водопровода, входящие в здание; С2 – металлические трубы канализации, входящие в здание; С3 – металлические трубы газоснабжения с изолирующей вставкой на вводе, входящие в здание; С4 – воздухопроводы вентиляции и кондиционирования; С5 – система отопления; С6 – металлические водопроводные трубы в ванной комнате; С7 – металлическая ванна; С8 – сторонняя проводящая часть в пределах досягаемости от открытых проводящих частей; С9 – арматура железобетонных конструкций; ГЗШ – главная заземляющая шина; Т1 – естественный заземлитель; Т2 – заземлитель молниезащиты (если имеется); 1 – нулевой защитный проводник; 2 – проводник основной системы уравнивания потенциалов; 3 – проводник дополнительной системы уравнивания потенциалов; 4 – токоотвод системы молниезащиты; 5 – контур (магистраль) рабочего заземления в помещении информационного вычислительного оборудования; 6 – проводник рабочего (функционального) заземления; 7 – проводник уравнивания потенциалов в системе рабочего (функционального) заземления; 8 – заземляющий проводник.

Выводы по разделу 2

Огромную угрозу для человека представляет разница электрических потенциалов на полюсах, которая приводит к возникновению электрического тока. Если разница потенциалов не меняется и электроны двигаются в одном направлении, то ток называется постоянным. Если положительный и отрицательный потенциал часто меняются местами, то ток называется переменным.

Система уравнивания потенциалов распределяет электрический потенциал между всеми токопроводящими элементами помещения.

Все металлические части строительных конструкций, централизованные системы вентиляции и кондиционирования, а также молниезащиты Соединяются они на специальной главной заземляющей шине (ГЗШ) или зажиме.

Комплекс системы уравнивания потенциалов предназначен для обеспечения надежного и безопасного функционирования электрических приборов и оборудования, подключенных на стороне потребителя, а также исключения случаев поражения электрическим током людей, использующих это оборудование.

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений 1 км² земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта.

Если же плотность ударов молнии в землю N_g неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле, 1/(км²·год):

$$N_g = 6,7 \frac{T_d}{100}, \quad (1)$$

где T_d – средняя продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

Для того чтобы определить количество ударов молнии в конкретное здание, необходимо воспользоваться предыдущей формулой. Если учесть что плотность ударов молнии рассчитывается в одну условную точку, то количество ударов молнии в здание вычисляется по формуле:

$$N = N_g S, \quad (2)$$

где S – площадь, с которой объект собирает на себя удары молний, км²;

Площадь S определяется по методике, изложенной в инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений, для здания прямоугольной формы:

$$S = [(A + 6h)(B + 6h) - 7,7h^2] \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где A, B, h – соответственно длина, ширина и высота здания в метрах.

Следует также обратить внимание на амплитуду тока молнии. Согласно [3] вероятность появления тока молнии ρ с амплитудой $I_m = 200$ кА составляет 0,8%. Значит, количество ударов молнии с амплитудой 200 кА в здание в течение года будет равно:

$$N_{200} = N\rho. \quad (4)$$

Определение величины напряжений в системе уравнивания потенциалов дома при стекании токов молнии с указанными амплитудами.

Максимальное значение напряжения определяется как:

$$U_m = I_m \cdot R_3 \cdot K_K \cdot K_{и}, \quad (5)$$

где:

R_3 – сопротивление контура заземления здания;

K_K – коэффициент, учитывающий стекание тока молнии в землю по конструкциям, присоединенным к ГЗШ, при нехватке исходных данных его рекомендуется принимать равным 0,5;

$K_{И}$ – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления заземлителя при стекании по нему тока молнии [3]

Переход от лидерной стадии к главному разряду можно имитировать замыканием на землю вертикального заряженного провода (рис. 9). Будем считать, что во время лидерной стадии сформировался проводящий канал (вертикальный провод) с постоянной плотностью отрицательного заряда па единицу длины σ . При замыкании ключа K происходит нейтрализация отрицательного заряда за счет положительных зарядов, поступающих в канал молнии с поверхности земли.

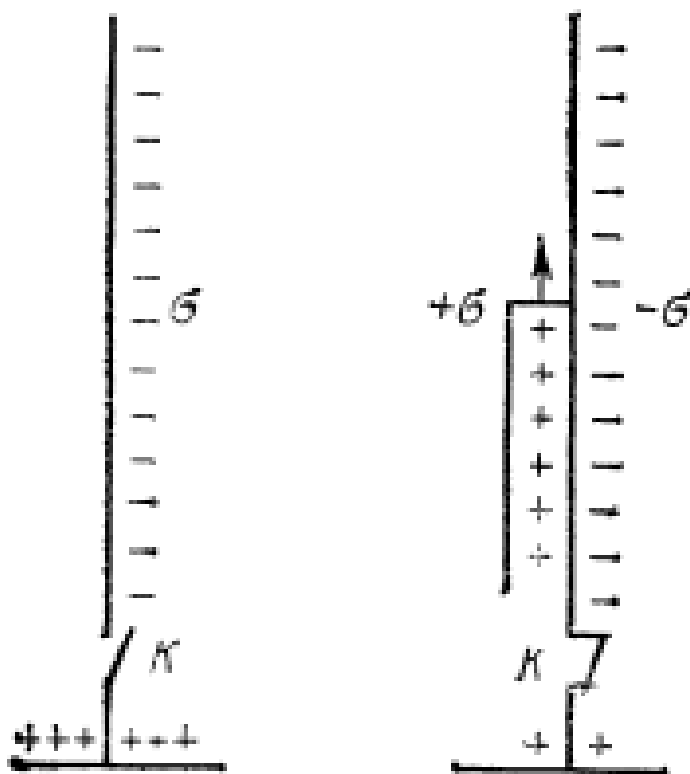


Рисунок 9 – Упрощенная схема развития главного разряда

Если волна нейтрализации распространяется вверх со скоростью v , то амплитуда тока

$$I_m = \sigma v; \quad (6)$$

Если провод замыкается на землю через некоторое сопротивление R , то ток уменьшается и определяется как

$$I_m = \sigma v \frac{Z}{Z + R}, \quad (7)$$

где Z – эквивалентное волновое сопротивление канала молнии.

Из рис. 9 видно, что ток молнии должен зависеть от значения сопротивления в месте удара, например от сопротивления заземления возвышающегося объекта.

Оценки волнового сопротивления канала молнии, сделанные по измерениям тока па Останкинской телебашне, дают значения 1,1–8,0 кОм. Теоретические исследования показывают, что при предельно больших амплитудах тока молнии Z уменьшается до 300–600 Ом. При таких значениях Z влияние сопротивления заземления, по крайней мере, до $R=50$ Ом, невелико, и с достаточной степенью точности для расчетов молниезащиты можно принимать эквивалентное волновое сопротивление канала молнии бесконечно большим, т. е. рассматривать молнию как источник тока.

С точки зрения электромагнитного воздействия на установки высокого напряжения важное значение имеют форма и значение тока главного разряда. Приблизительно он имеет вид аperiodического импульса, который можно характеризовать длительностью фронта τ_{ϕ} и длительностью импульса $\tau_{и}$ (рис. 10). Важнейшей характеристикой является максимальное значение тока молнии I_m , часто называемое просто током молнии.

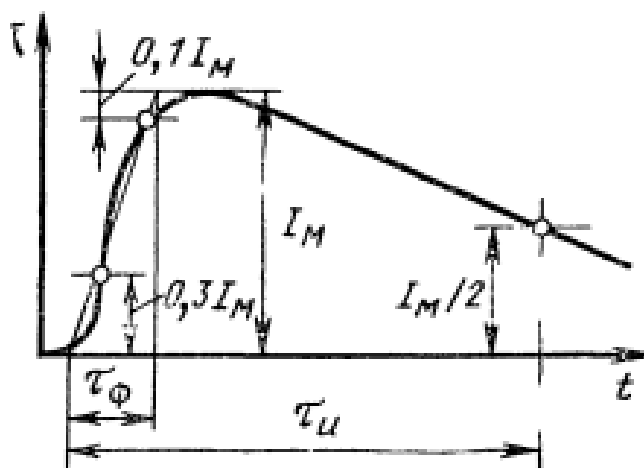


Рисунок 10 – Определение параметров импульсов тока молнии

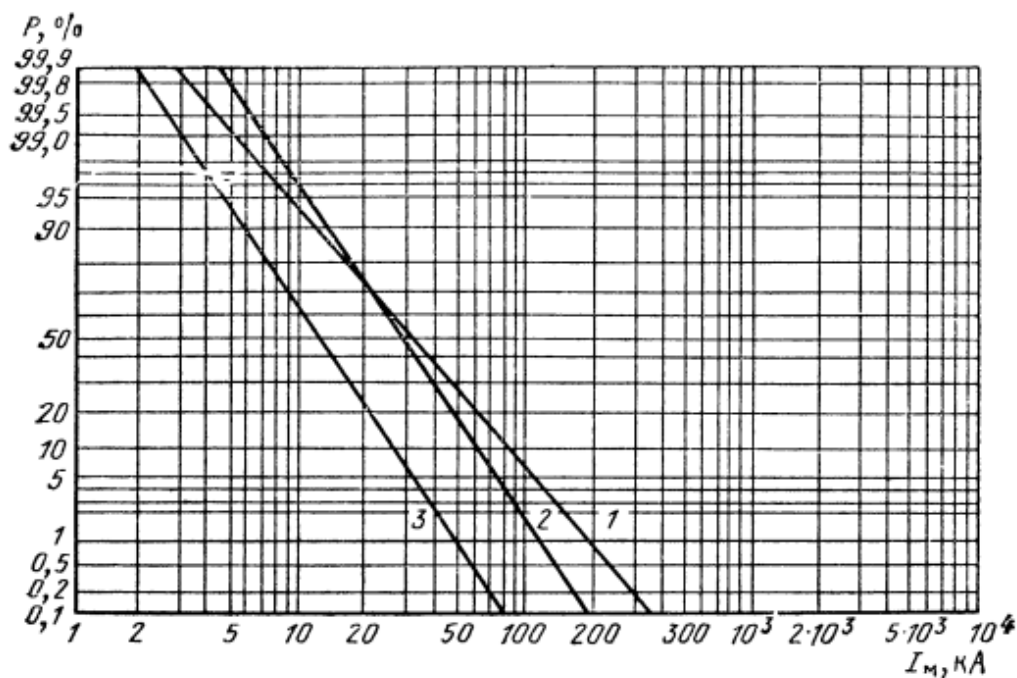


Рисунок 11 – Вероятности токов молнии

1–первые компоненты отрицательных и положительных молний; 2 – первые компоненты отрицательных молний; 3 – последующие компоненты отрицательных молний.

При максимальном значении тока молнии создаются наибольшие падения напряжения на активных сопротивлениях – волновых сопротивлениях проводов и сопротивлениях заземления. Статистическое распределение токов молнии приведено на рис. 11. (На этом рисунке шкала вероятности соответствует нормальному закону распределения, а значения параметров тока даны на логарифмической шкале). Амплитуда токов первых компонентов отрицательных молний, соответствующих 50%–ной вероятности, составляет 30 кА, а последующих компонентов – только 13 кА. Разница в распределениях 1 и 2 указывает на то, что при положительных разрядах токи молнии бывают больше, чем при отрицательных.

Крутизна фронта тока молнии:

$$a = \frac{di_M}{dt}. \quad (8)$$

Данное понятие определяет индуктивные падения напряжения в проводниках и индуктированные напряжения в магнитно–связанных цепях. На ниже, на рис.12 приведены вероятности максимальной крутизны фронта тока молнии.

Однако удобнее бывает пользоваться средней крутизной:

$$a_{cp} = \frac{I_m}{\tau_\phi}. \quad (9)$$

Это не вносит большой ошибки при способе определения продолжительности фронта, показанном на рис. 12. Для первых компонентов отрицательных молний 50 %-ное значение максимальной крутизны фронта тока молнии составляет 13 кА/мкс, а для последующих компонентов – 30 кА/мкс.

При оценочных расчетах можно использовать усредненные распределения тока молнии и крутизны его фронта для отрицательных нисходящих от облака молний без учета различия первого и последующих компонентов. В этом случае статистические распределения можно аппроксимировать экспоненциальными функциями (данные ЛПИ):

$$P(I_m) = \exp(-0,04I_m), \quad (10)$$

$$P(a) = \exp(-0,08a), \quad (11)$$

где $P(I_m)$ и $P(a)$ – вероятности того, что соответственно ток молнии и крутизна будут равны или превысят заданные значения.

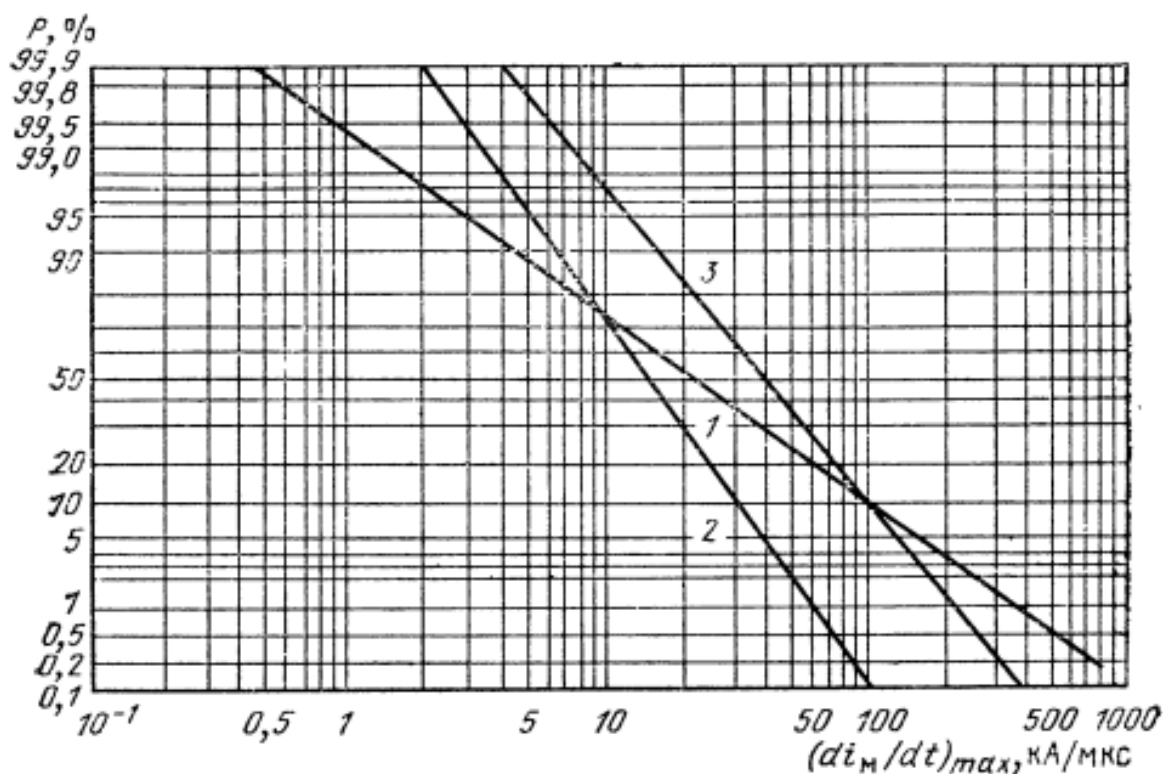


Рисунок 12 – Вероятности крутизны фронта тока молнии:

- 1 – все компоненты отрицательных и положительных молний; 2 – первые компоненты отрицательных молний; 3 – последующие компоненты отрицательных молний

Между амплитудой и крутизной фронта тока молнии имеется слабая положительная корреляционная связь: большим токам соответствует большая крутизна. Однако данных пока недостаточно, поэтому принято считать I_M и a независимыми случайными величинами. В этом случае при малых значениях вероятностей

$$P(I_m, a) \approx P(I_m) + P(a). \quad (12)$$

При проектировании молниезащитных устройств необходимо учитывать тепловое и электродинамическое действия молнии. Значения зарядов, переносимых молнией, характеризуют энергию, выделяющуюся в точке удара молнии, и расплавление металла в этом месте. [3]

Вывод по разделу 3

Данная методика расчета учитывает множество значений:

- среднюю продолжительность гроз;
- количество ударов молнии в здание;
- площадь, с которой объект собирает на себя удары молний;
- амплитуду тока молнии;
- сопротивление контура заземления здания;
- стекание тока молнии в землю по конструкциям, присоединенным к ГЗШ;
- снижение сопротивления заземлителя при стекании по нему тока молнии.

Что делает её универсальной для большинства зданий и сооружений, вне зависимости от географического положения, занимаемой площади и высоты объекта.

4 РАСЧЕТ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

4.1 Характеристика объекта исследования

При ударе молнии по молниеотводу, составными частями которого являются молниеприемник, токоотвод и заземлитель, стекает импульс тока, амплитуда которого может достигать сотен кА. Согласно требований Правил устройства электроустановок заземлитель молниеотвода соединяется с главной заземляющей шиной (ГЗШ), к которой подключаются все металлические конструкции, находящиеся в доме (металлоконструкции здания, трубы водопровода, отопления и канализации, короба вентиляции и т.д.). Все перечисленные элементы и их соединения образуют систему уравнивания потенциалов, обеспечивающую практически нулевую разность потенциалов между любыми токопроводящими частями здания, что обеспечивает безопасность находящихся в здании людей. При стекании по молниеотводу тока молнии в указанную систему осуществляется «занос потенциала», величина которого определяется значением тока молнии (кА) и сопротивлением контура заземления (Ом) по периметру здания и может быть весьма существенной.

В качестве примера рассмотрим систему молниезащиты 24-х этажного жилого дома. Здание считается высотным, высота составляет 80 м. Система представляет собой 12 молниеприемников, расположенных по периметру кровли здания на расстоянии 10 м один от другого. Молниеприемники соединены с токоотводами. Токоотводы представляют собой стальной пруток диаметром 8 мм из черной стали. Молниеприемники, в свою очередь, состоят из молниеприемного стержня диаметром 16 мм, и возвышающегося над кровлей здания на высоту 2 м.

Токоотводы присоединены к заземляющему устройству (ЗУ) и к ГЗШ.

По высоте здания токоотводы соединены между собой через каждые 20 метров стальной полосой размером 40x4 мм.

4.2 Расчет уровней напряжения в системе уравнивания потенциалов

Согласно [10] существуют 4 уровня защиты, объектов от прямых ударов молнии. В качестве примера рассмотрим 1-й уровень защиты. Этому уровню соответствует надежность защиты 0,98 с пиковым значением тока 200 кА. Поясним сказанное: вышеприведенные цифры следует рассматривать так, что вероятность возникновения тока молнии в 200 кА на данном объекте составляет 0,8%

Плотность ударов молнии в землю считается по выражению (1), $T_d = 60 \dots 80$ часов – среднегодовая продолжительность гроз в городе Челябинске [3]. Измеряется в $1/\text{км}^2 \cdot \text{год}$:

$$N_g = 6,7 \cdot \frac{80}{100} = 5,36.$$

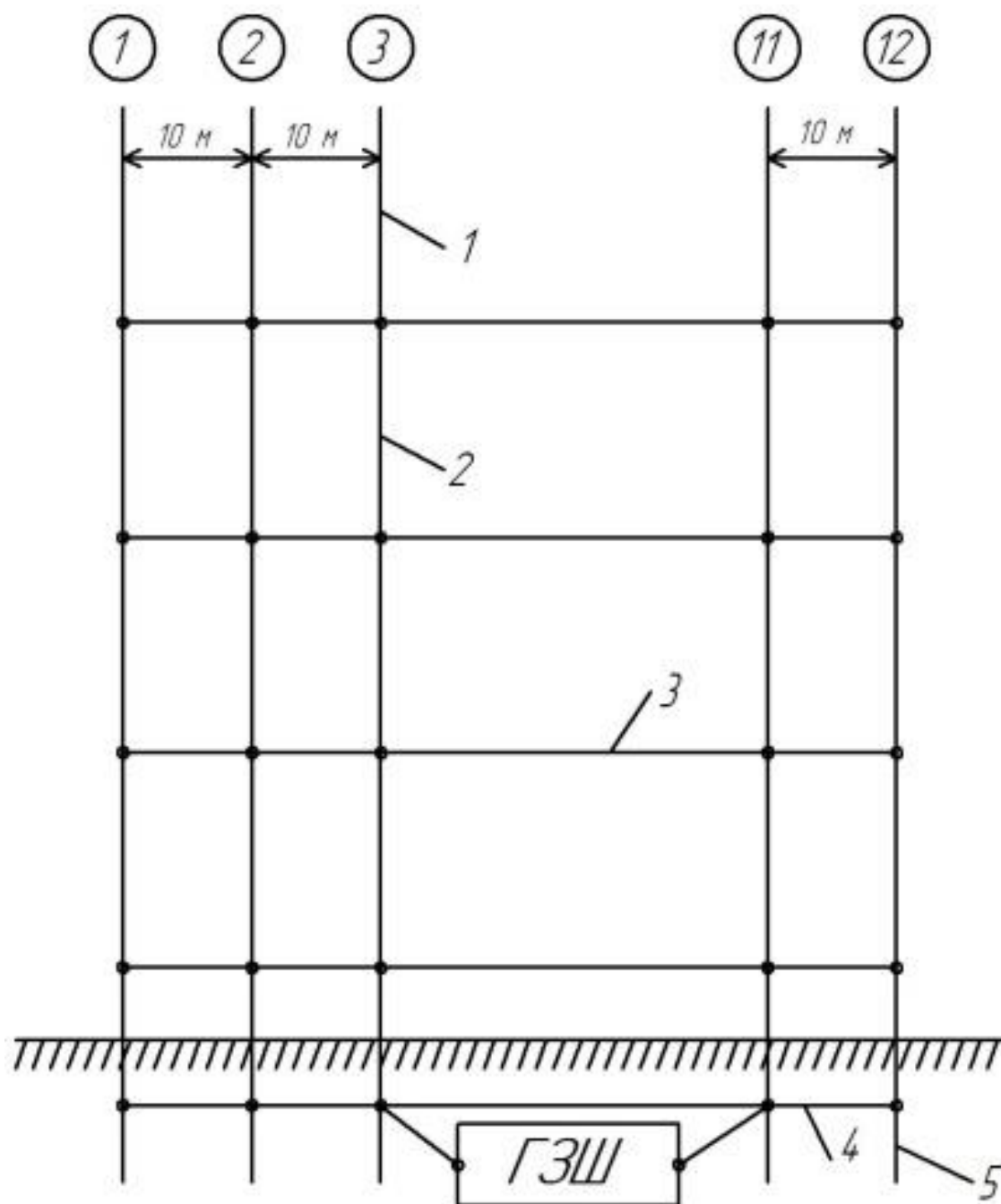


Рисунок 13 – Схема молниезащиты здания:

1–молниеприемник – пруток $\varnothing 16$ мм; 2–токоотвод – сталь $\varnothing 8$ мм; 3–горизонтальные пояса – полоса 40×4 мм; 4,5–ЗУ (4–полоса 40×4 мм; 5–вертикальные заземлители – пруток $\varnothing 16$ мм).

Площадь S , с которой объект собирает на себя удары молний, определим по формуле (3), для здания прямоугольной формы с размерами $h=80$ м; $A=44,2$ м; $B=34,7$ м:

$$S = [(44,2 + 6 \cdot 80)(34,7 + 6 \cdot 80) - 7,7 \cdot 80^2] \cdot 10^{-6} = 0,2206 \text{ км}^2$$

Теперь мы располагаем всеми данными для нахождения количества ударов молнии в здание за один год. Воспользуемся выражением (2):

$$N = 5,36 \cdot 0,2206 = 1,1824$$

Это значение говорит нам о том, что в площадь, занимаемую зданием, молния ударит около одного раза в год.

Согласно [3] вероятность появления тока молнии с амплитудой $I_m = 200$ кА составляет 0,8%. Значит, количество ударов молнии с амплитудой 200 кА в здание в течение года будет равно (4):

$$N_{200} = 1,1824 \cdot 0,008 = 0,0095$$

Оценим аналогичные величины для токов с амплитудой, 100, 50, 20,10 и 5 кА при различных значениях сопротивления контура заземления здания от минимального до максимально разрешенного. Результаты расчетов сведем в таблицы 2...5.

На втором этапе анализа определим величины напряжений в системе уравнивания потенциалов дома при стекании токов молнии с указанными амплитудами.

Максимальное значение напряжения определим по выражению (5):

$$U_m = 200 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 300 \text{ кВ}$$

где:

R_3 – сопротивление контура заземления здания. Минимальное значение 4 Ом, максимально разрешенное 10 Ом [14], следовательно, будет целесообразно произвести расчет со значениями 4...10 Ом;

K_K – коэффициент, учитывающий стекание тока молнии в землю по конструкциям, присоединенным к ГЗШ, при нехватке исходных данных его рекомендуется принимать равным 0,5;

K_{II} – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления заземлителя при стекании по нему тока молнии [3], а нашем случае его следует принять равным 0,75.

Результаты расчетов приведены в таблицах 2...5.

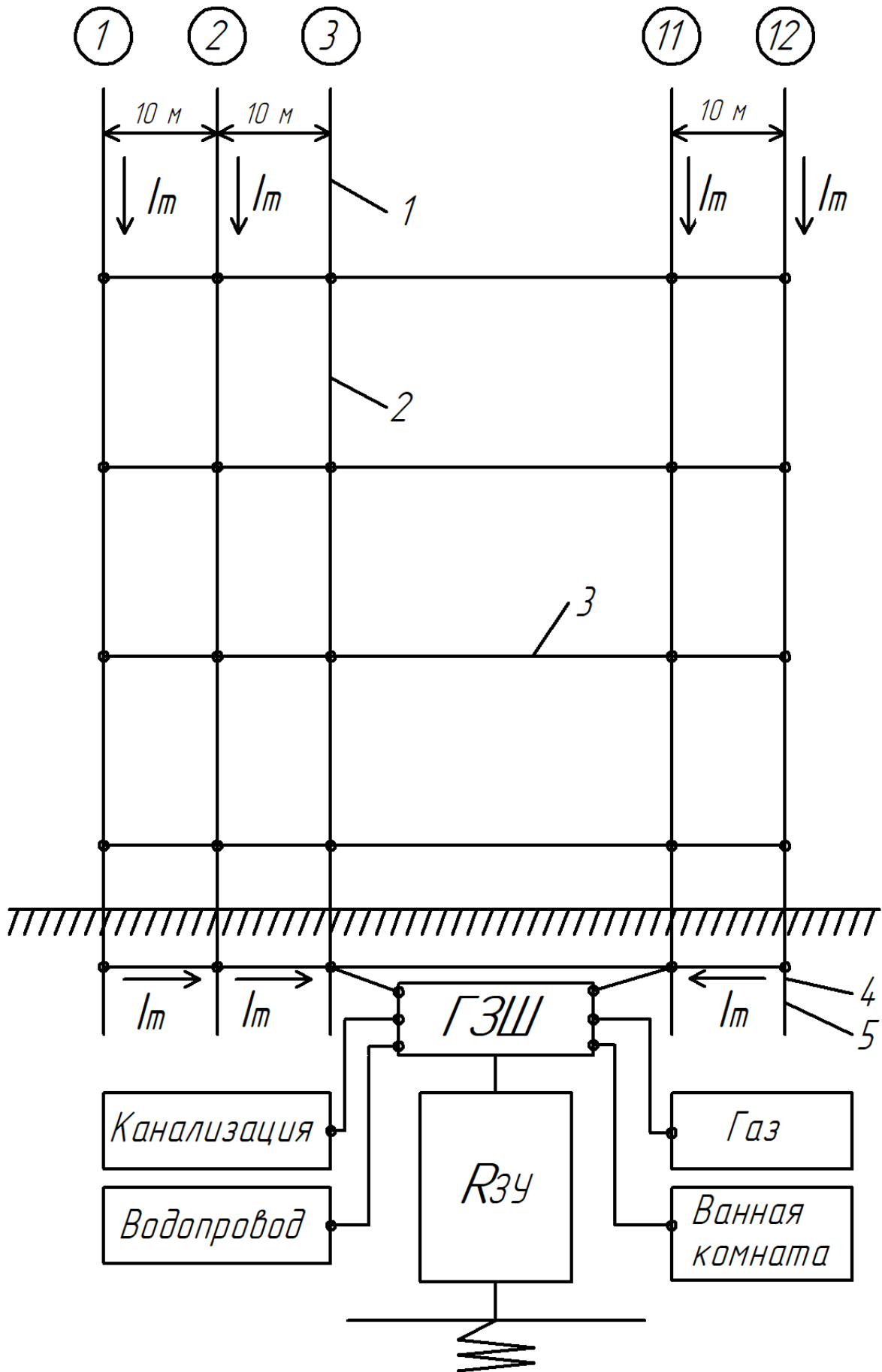


Рисунок 14 – Схема замещения

Таблица 2. Расчет максимального значения напряжения при $R_3 = 4$ Ом.

№	Амплитуда тока, кА	Вероятность появления тока заданной амплитуды[3]	Ожидаемое число ударов молнии в год	Количество ударов молнии за определенный срок	Максимальное напряжение на ГЗШ, кВ
1	200	0,008	0,0095	1 раз в 105 лет	300
2	100	0,08	0,0946	1 раз в 10 лет	150
3	50	0,18	0,2128	1 раз в 5 лет	75
4	20	0,72	0,8512	1 раз в 14 мес.	30
5	10	0,96	1,1349	1 раз в год	15
6	5	0,995	1,1763	1 раз в 9 мес.	7,5

Таблица 3. Расчет максимального значения напряжения при $R_3 = 6$ Ом.

№	Амплитуда тока, кА	Вероятность появления тока заданной амплитуды[3]	Ожидаемое число ударов молнии в год	Кол-во ударов молнии за определенный срок	Максимальное напряжение на ГЗШ, кВ
1	200	0,008	0,0095	1 раз в 105 лет	450
2	100	0,08	0,0946	1 раз в 10 лет	225
3	50	0,18	0,2128	1 раз в 5 лет	112,5
4	20	0,72	0,8512	1 раз в 14 мес.	45
5	10	0,96	1,1349	1 раз в год	22,5
6	5	0,995	1,1763	1 раз в 9 мес.	11,25

Таблица 4. Расчет максимального значения напряжения при $R_3 = 8$ Ом.

№	Амплитуда тока, кА	Вероятность появления тока заданной амплитуды[3]	Ожидаемое число ударов молнии в год	Количество ударов молнии за определенный срок	Максимальное напряжение на ГЗШ, кВ
1	200	0,008	0,0095	1 раз в 105 лет	600
2	100	0,08	0,0946	1 раз в 10 лет	300
3	50	0,18	0,2128	1 раз в 5 лет	150
4	20	0,72	0,8512	1 раз в 14 месяцев	60
5	10	0,96	1,1349	1 раз в год	30
6	5	0,995	1,1763	1 раз в 9 мес.	15

Таблица 5. Расчет максимального значения напряжения при $R_3 = 10 \text{ Ом}$.

№	Амплитуда тока, кА	Вероятность появления тока заданной амплитуды[3]	Ожидаемое число ударов молнии в год	Количество ударов молнии за определенный срок	Максимальное напряжение на ГЗШ, кВ
1	200	0,008	0,0095	1 раз в 105 лет	750
2	100	0,08	0,0946	1 раз в 10 лет	375
3	50	0,18	0,2128	1 раз в 5 лет	187,5
4	20	0,72	0,8512	1 раз в 14 мес.	75
5	10	0,96	1,1349	1 раз в год	37,5
6	5	0,995	1,1763	1 раз в 9 мес.	18,75

Выводы по разделу 4

Результаты расчета величин напряжений ГЗШ дома при ударе молнии показывают, что эти величины могут быть весьма значительными, так приблизительно один раз в сто лет возможно появление напряжения от 300 до 750 кВ в зависимости от сопротивления контура заземления здания, один раз в десять лет до 375 кВ и один раз в 14 месяцев до 75 кВ.

На основании представленных диапазонов напряжений можно произвести полноценный анализ всей системы молниезащиты, а также выявить её слабые стороны. Эти данные необходимы для обеспечения максимальной безопасности помещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью данной методики расчета можно получить следующие данные: максимально возможное напряжение на главной заземляющей шине во время стекания тока молнии по молниеотводу в зависимости от амплитуды тока и сопротивления заземляющего контура. Эти данные позволяют иметь полное представление возможных перенапряжений, следовательно, при проектировании всего комплекса грозозащиты будут исключены какие-либо повреждения, вызванные перегрузкой. Так же будет обосновываться экономическая выгодность проекта за счёт использования оптимальных материалов и устройств с учетом известных максимальных значений нагрузки.

С точки зрения электробезопасности эти напряжения не приведут к поражению человека электрическим током, так как при правильном выполнении системы уравнивания потенциалов появление значительной разницы потенциалов между любыми токопроводящими элементами и конструкциями в доме невозможно.

Вопрос о повреждении изоляции и выходе из строя оборудования в данной работе не рассматривался, так как для ответа на него необходимы дополнительные исследования, связанные с тем, что при появлении импульсного напряжения в нулевом проводнике происходит наводка напряжения в фазных проводах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Дорина А.Н. Определение параметров молниевых разрядов. Труды всероссийской научно–практической конференции "Повышение надёжности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических сетей". – М.: 2010. – 118 с.

2.Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 218 с.

3.Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.

4.Воронцов А.С., Цым А.Ю. Итоги работы исследовательской комиссии МСЭ–Т "Защита от электромагнитных влияний окружающей среды" в исследовательском периоде 1997 – 2000 г. М.: "Электросвязь" №6, 2000. – 86 с.

5.Горелов С.В. Перенапряжения и молниезащита: Учебное пособие / В.Н. Андреев, М.А. Бучельников, С.В. Горелов, В.И. Мухин; Под ред. В.П. Горелова.– 3–е изд., дополн.– Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп, 2003. – 251 с.

6.Горшков А.В. Анализ состояния находящихся в эксплуатации заземляющих устройств с точки зрения требований электробезопасности и термической стойкости кабелей вторичных цепей. Автореферат диссертации. М.: МЭИ, 1999.

7.ГОСТ Р 50571.10–96 (МЭК 364–5–54–80) Электроустановки зданий. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники. М.: Издательство стандартов, 2000.

8.ГОСТ Р 50571.2–94 (МЭК 364–3–93) Электроустановки зданий. Основные характеристики. М.: Издательство стандартов, 2000.

9.ГОСТ Р 50571.3–94 (МЭК 364–4–41–92) Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. М.: Издательство стандартов, 2000.

10.Инструкция по устройствам молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО 153–34.21.122–2003). М.: Издание МЭИ, 2004. – 57 с.

11.Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. М.: "Энергосервис", 1998. – 69 с.

12.Карякин Р.Н. Нормативные основы устройства электроустановок. М.: "Энергосервис", 1998. – 105 с.

13.Карякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления. М.: "Энергосервис", 1999. – 93 с.

14. Колечицкий Е.С. Основы расчета заземляющих устройств: Учебное пособие М.: Издательство МЭИ, 2001. – 48 с.

15. МЭК 1024–1: 1990 Защита сооружений от удара молний. Часть 1: Общие принципы.

16. Нестеров С.В. Математическая модель заземляющего устройства. Первая Российская конференция по заземляющим устройствам: Сборник докладов / Под ред. Ю.В. Целебровского – Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2002. 256 с. 45–50.

17. Ослон А.Б. Некоторые вопросы теории заземлений. М., КМК – 2003. – 74 с.

18. Правила устройства электроустановок. Изд.7. М., 2006. – 557 с.

19. Раков В.А., Рашиди Ф. Обзор исследований молнии и молниезащиты за последние 10 лет. // Научно–технические ведомости СПбГПУ СПб. – 2010. – №1 – 24–47 с.

20. РД 34.31.122–87 Инструкции по молниезащите зданий и сооружений. Москва. ГНИЭИ им.Кржижановского, 1987г. М.: ГОСЭНЕРГОНАДЗОР, 1995. – 11 с.

21. Терентьев Д.Е. Заземление экранов кабелей связи при наличии разности потенциалов или низкочастотной помехи // Вестник связи. 2006. № 4. – 14 с.

22. Терентьев Д.Е. Заземляющие устройства объектов связи: проблемы и пути их решения: Сб. тр. I Всероссийской конференции по заземляющим устройствам. Новосибирск, 2002. – 80 с.

23. Терентьев Д.Е. Концепция защиты электронных АТС. Сб. тр. I Всероссийской конференции "Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно–кабельных сооружений связи СТЛКС42002". СПб, 2002. – 32с.

24. Терентьев Д.Е. Минимизация и стабилизация переходного сопротивления разъемных контактов в системах уравнивания потенциалов и заземляющих устройствах: Сб. тр. VI Всероссийской конференции "Состояние и перспективы развития энергетики связи СПРЭС42005". СПб, 2005. – 98 с.