

Краевая научно-практическая конференция учебно-исследовательских работ
учащихся 6-11 классов «Прикладные и фундаментальные вопросы математики и
физики»

экспериментальная физика

Ток в газах. Молния. Модель молниеотвода

Валеева Александра Наилевна,
11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Пермь

Саввина Марина Витальевна,
учитель физики

Пермь. 2017.

В мире зафиксированы случаи, когда в людей ударяли молнии, и они не только выживали, но и приобретали некие неординарные способности: становились полиглотами, начинали притягивать к себе металлические предметы и т.д. Но самое удивительное в этом – это то, что они в принципе выживали. Потому что сила тока при ударе молнии составляет 10-300 тысяч ампер, а смертельная для человека величина силы тока составляет свыше 100 мА. (Электрическое сопротивление обычного человека при условии, что кожа у него чистая, сухая и неповреждённая, лежит в пределах 3 - 100 кОм) Ежегодно от удара молнии погибают десятки человек только в Пермском крае. Летом 2015 года в городе Добрянка во время грозы погибли отец с сыном, которые решили переждать непогоду под деревом, что категорически запрещено. В Гайнском районе тем же летом удар молнии убил рыбака. Во время грозы также нельзя находиться вблизи водоемов. Важно не только соблюдать меры безопасности, находясь на открытом пространстве, но существует необходимость обезопасить и свое жилище. При строительстве жилых многоквартирных домов соблюдается все меры безопасности. Но при строительстве загородных дачных домов, многие забывают сконструировать молниеотвод, что приводит к печальным последствиям. Молния бьет в деревянные дома, уничтожая их за частую вместе с людьми.

Чтобы обезопасить нашу семью, при строительстве дачного дома мы установили молниеотвод. Поскольку эта тема мне знакома и интересна, я решила изготовить модель молниеотвода. Но сначала - побольше узнать об этом явлении.

Молния — гигантский электрический искровой разряд в атмосфере, обычно может происходить во время грозы, проявляющийся яркой вспышкой света и сопровождающим её громом. Молнии также были зафиксированы на Венере, Юпитере, Сатурне и Уране и др. Сила тока в разряде молнии достигает 10-300 тысяч ампер, напряжение — от десятков миллионов до миллиарда вольт. Мощность разряда — от 1 до 1000 ГВт. Количество электричества, расходуемого молнией при разряде — от 2 до 10 кулон.

Молния ударяет в землю сто раз в секунду и свыше восьми миллионов раз в день. Эта сила природы в пять раз горячее, чем поверхность солнца. Электрический разряд бьет с силой в 300`000 ампер и миллион вольт в долю секунды. В повседневной жизни мы думаем, что можем контролировать электричество, которое питает наши дома, наружное освещение, а теперь и автомобили. Но электричество в его первоначальной форме не поддается контролю. А молния – это электричество в громадных масштабах. И всё же молния остаётся большой загадкой. Она может ударить неожиданно, и её путь может быть непредсказуемым.

Когда разность электрических потенциалов становится достаточно большой, между землёй и облаком или между двумя частями облака происходит разряд, известный

под названием молнии.

Электрический разряд между нижней частью облака и землёй можно объяснить следующим образом. При трении слоев атмосферы возникает статический электрический заряд. Если часть облака заряжена отрицательно, то на возвышенных участках земной поверхности, находящихся непосредственно под облаком, наводится положительный заряд. И если разность потенциалов (напряжение) между этими зарядами достаточно велика, происходит разряд.

Свечение молнии вызывается ионизацией молекул воздуха на пути молнии теми же механизмами, какими возбуждается свечение неоновых рекламных трубок. Поскольку для возникновения искры, проскакивающей через воздушный промежуток длиной в сантиметр, необходимо напряжение в несколько тысяч вольт, то соответствующие напряжения в молниях имеют величину порядка миллионов вольт.

Итак, молния представляет собой физическое явление, весьма сходное с разрядкой конденсатора, это искровой электрический разряд в атмосфере. Итак, молния представляет собой физическое явление, весьма сходное с разрядкой конденсатора, это искровой электрический разряд в атмосфере. Это прерывистый разряд, который сопровождается характерным звуком – треском. Мы слышим его в виде грома чуть с запаздыванием, что связано с различием в скоростях света и звука. Скорость звука намного меньше, поэтому, подсчитав после вспышки молнии секунды и умножив их примерно на 300 (скорость звука около 330 м/с), мы определим расстояние до грозовой зоны.

Формирование молнии

Наиболее часто молния возникает в кучево-дождевых облаках, тогда они называются грозовыми; иногда молния образуется в слоисто-дождевых облаках, а также при вулканических извержениях, торнадо и пылевых бурях.

Обычно наблюдаются линейные молнии, которые относятся к так называемым безэлектродным разрядам, так как они начинаются (и заканчиваются) в скоплениях заряженных частиц. Это определяет их некоторые до сих пор не объяснённые свойства, отличающие молнии от разрядов между электродами.

Так, молнии не бывают короче нескольких сотен метров;

они возникают в электрических полях значительно более слабых, чем поля при межэлектродных разрядах;

сбор зарядов, переносимых молнией, происходит за тысячные доли секунды с миллиардов мелких, хорошо изолированных друг от друга частиц, расположенных в

объёме нескольких км³.

Наиболее изучен процесс развития молнии в грозовых облаках, при этом молнии могут проходить в самих облаках — внутриоблачные молнии, а могут ударять в землю — наземные молнии.

Для возникновения молнии необходимо, чтобы в относительно малом (но не меньше некоторого критического) объёме облака образовалось электрическое поле с напряжённостью, достаточной для начала электрического разряда (~ 1 МВ/м), а в значительной части облака существовало бы поле со средней напряжённостью, достаточной для поддержания начавшегося разряда ($\sim 0,1—0,2$ МВ/м). В молнии электрическая энергия облака превращается в тепловую, световую и звуковую.

Напряжённость - это векторная физическая величина, характеризующая электрическое поле в данной точке и численно равная отношению силы F , действующей на неподвижный точечный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда q .

Наземные молнии

Процесс развития наземной молнии состоит из нескольких стадий. На первой стадии, в зоне, где электрическое поле достигает критического значения, начинается ударная ионизация, создаваемая вначале свободными зарядами, всегда имеющимися в небольшом количестве в воздухе, которые под действием электрического поля приобретают значительные скорости по направлению к земле и, сталкиваясь с молекулами, составляющими воздух, ионизируют их.

По более современным представлениям, ионизация атмосферы для прохождения разряда происходит под влиянием высокоэнергетического космического излучения — частиц с энергиями 10¹²-10¹⁵ эВ, формирующих широкий атмосферный ливень (ШАЛ) с понижением пробивного напряжения воздуха на порядок от такового при нормальных условиях.

По одной из гипотез, частицы запускают процесс, получивший название пробоя на убегающих электронах («спусковым крючком» процесса при этом являются космические лучи). Таким образом возникают электронные лавины, переходящие в нити электрических разрядов — стримеры, представляющие собой хорошо проводящие каналы, которые, сливаясь, дают начало яркому термоионизованному каналу с высокой проводимостью — ступенчатому лидеру молнии.

Движение лидера к земной поверхности происходит ступенями в несколько десятков метров со скоростью $\sim 50\,000$ километров в секунду, после чего его движение приостанавливается на несколько десятков микросекунд, а свечение сильно ослабевает; затем в последующей стадии лидер снова продвигается на несколько

десятков метров. Яркое свечение охватывает при этом все пройденные ступени; затем следуют снова остановка и ослабление свечения. Эти процессы повторяются при движении лидера до поверхности земли со средней скоростью 200 000 метров в секунду.

По мере продвижения лидера к земле напряжённость поля на его конце усиливается и под его действием из выступающих на поверхности Земли предметов выбрасывается ответный стример, соединяющийся с лидером. Эта особенность молнии используется для создания молниеотвода.

В заключительной стадии по ионизованному лидером каналу следует обратный (снизу вверх), или главный, разряд молнии, характеризующийся токами от десятков до сотен тысяч ампер, яркостью, заметно превышающей яркость лидера, и большой скоростью продвижения, вначале достигающей до $\sim 100\,000$ километров в секунду, а в конце уменьшающейся до $\sim 10\,000$ километров в секунду. Температура канала при главном разряде может превышать $20000\text{--}30000\text{ }^\circ\text{C}$. Длина канала молнии может быть от 1 до 10 км, диаметр — несколько сантиметров. После прохождения импульса тока ионизация канала и его свечение ослабевают. В финальной стадии ток молнии может длиться сотые и даже десятые доли секунды, достигая сотен и тысяч ампер. Такие молнии называют затяжными, они наиболее часто вызывают пожары. Но земля не является заряженной, поэтому принято считать что разряд молнии происходит от облака по направлению к земле (сверху вниз).

Главный разряд разряжает нередко только часть облака. Заряды, расположенные на больших высотах, могут дать начало новому (стреловидному) лидеру, движущемуся непрерывно со скоростью в тысячи километров в секунду. Яркость его свечения близка к яркости ступенчатого лидера. Когда стреловидный лидер доходит до поверхности земли, следует второй главный удар, подобный первому. Обычно молния включает несколько повторных разрядов, но их число может доходить и до нескольких десятков. Длительность многократной молнии может превышать 1 сек. Смещение канала многократной молнии ветром создаёт так называемую ленточную молнию — светящуюся полосу.

Внутриоблачные молнии

Внутриоблачные молнии включают в себя обычно только лидерные стадии; их длина колеблется от 1 до 150 км. Доля внутриоблачных молний растёт по мере смещения к экватору, меняясь от 0,5 в умеренных широтах до 0,9 в экваториальной полосе. Прохождение молнии сопровождается изменениями электрических и магнитных полей и радиоизлучением, так называемыми атмосфериками.

Вероятность поражения молнией наземного объекта растёт по мере увеличения его высоты и с увеличением электропроводности почвы на поверхности или на

некоторой глубине (на этих факторах основано действие молниеотвода). Если в облаке существует электрическое поле, достаточное для поддержания разряда, но недостаточное для его возникновения, роль инициатора молнии может выполнить длинный металлический трос или самолёт — особенно, если он сильно электрически заряжен. Таким образом иногда «провоцируются» молнии в слоисто-дождевых и мощных кучевых облаках.

Молнии в верхней атмосфере

В 1989 году был обнаружен особый вид молний — эльфы, молнии в верхней атмосфере. В 1995 году был открыт другой вид молний в верхней атмосфере — джеты.

Эльфы

Эльфы (англ. Elves; Emissions of Light and Very Low Frequency Perturbations from Electromagnetic Pulse Sources) представляют собой огромные, но слабосветящиеся вспышки-конусы диаметром около 400 км, которые появляются непосредственно из верхней части грозового облака. Высота эльфов может достигать 100 км, длительность вспышек — до 5 мс (в среднем 3 мс).

Джеты

Джеты представляют собой трубки-конусы синего цвета. Высота джетов может достигать 40-70 км (нижняя граница ионосферы), живут джеты относительно дольше эльфов.

Спрайты

Спрайты трудно различимы, но они появляются почти в любую грозу на высоте от 55 до 130 километров (высота образования «обычных» молний — не более 16 километров). Это некое подобие молнии, бьющей из облака вверх. Впервые это явление было зафиксировано в 1989 году случайно. Сейчас о физической природе спрайтов известно крайне мало.

Грозовая энергетика

Грозовая энергетика — это способ получения энергии путём поимки и перенаправления энергии молний в электросеть. Данный вид энергетики использует возобновляемый источник энергии и относится к альтернативным источникам энергии.

Компания Alternative Energy Holdings 11 октября 2006 года объявила об успешном развитии прототипа модели, которая может продемонстрировать возможности «захвата» молнии для дальнейшего её превращения в электроэнергию.

Ещё одна проблема грозовой энергетики состоит в том, что разряд молнии длится доли секунд и, как следствие, его энергию нужно запастись очень быстро. Для этого потребуются мощные и дорогостоящие конденсаторы. Также могут применяться различные колебательные системы с контурами второго и третьего рода, где можно согласовывать нагрузку с внутренним сопротивлением генератора.

Молния является сложным электрическим процессом и делится на несколько разновидностей: отрицательные — накапливающиеся в нижней части облака и положительные — собирающиеся в верхней части облака. Это тоже надо учитывать при создании молниевой фермы.

По некоторым данным, при одной мощной грозе высвобождается столько же энергии, сколько все жители США потребляют за 20 минут.

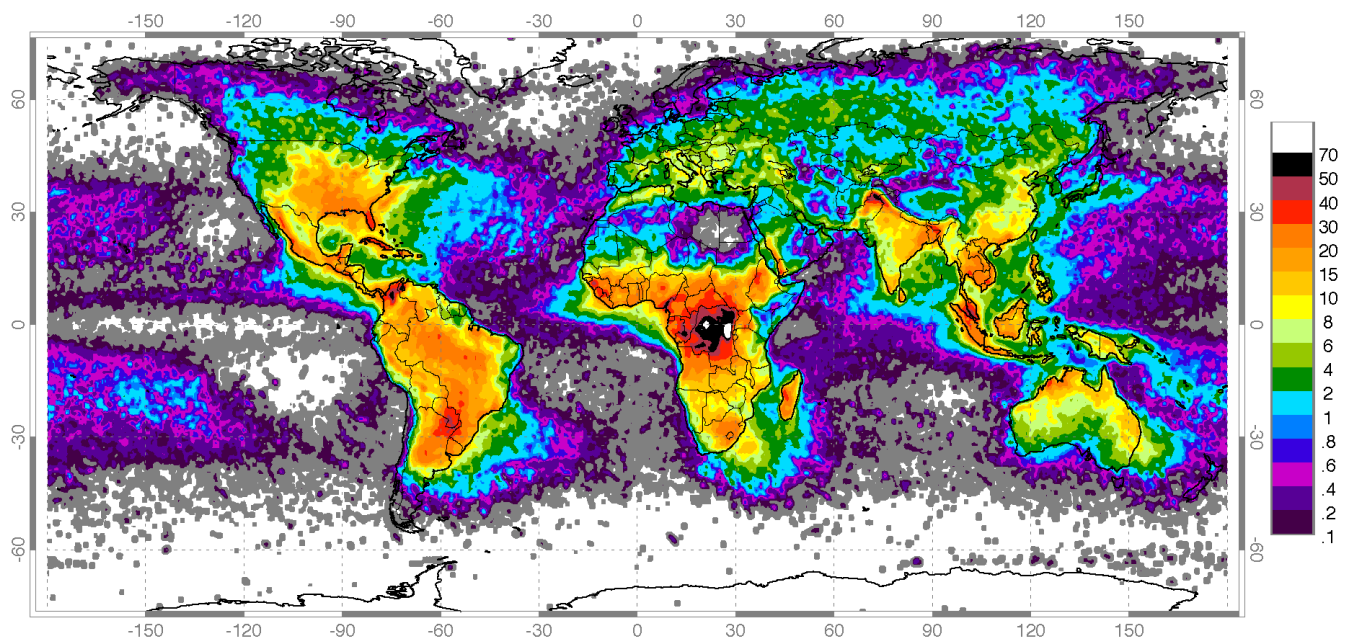
И еще немного о молниях:

Молнии приносят и пользу: они успевают выхватить из воздуха млн тн азота, связать его и направить в землю, удобряя почву.

Молнии Сатурна в миллион раз сильнее земных.

Разряд молнии обычно состоит из трех или более повторных разрядов – импульсов, следующих по одному и тому же пути. Интервалы между последовательными импульсами очень коротки, от 1/100 до 1/10 с (этим обусловлено мерцание молнии).

Ежесекундно на Земле вспыхивает около 700 молний. Мировые очаги гроз: остров Ява - 220, экваториальная Африка - 150, южная Мексика - 142, Панама - 132, центральная Бразилия - 106 грозных дней в году. Россия: Мурманск - 5, Архангельск - 10, С-Петербург - 15, Москва - 20 грозных дней в году.



Глобальная карта частоты молний. Шкала сбоку показывает количество молний в год на каждый квадратный километр. В 2006 году специалисты, работающие со спутником NASA «Миссия измерения тропических штормов», опубликовали данные по количеству гроз в разных регионах планеты. По данным исследования стало известно, что существуют районы, где в течение года происходит до 70 ударов молний в год на квадратный километр площади.

Воздух в зоне канала молнии практически мгновенно разогревается до температуры 30 000-33 000° С. От удара молнии в мире в среднем ежегодно погибает около 3 000 человек.

Статистика показывает, что на 5000-10000 летних часов приходится один удар молнии в самолет, к счастью, почти все поврежденные самолеты продолжают полет.

Несмотря на сокрушительную мощь молнии, уберечься от нее довольно просто. Во время грозы следует немедленно уходить с открытых мест, ни в коем случае нельзя прятаться под отдельно стоящими деревьями, а также находиться вблизи высоких мачт и ЛЭП. Не следует держать в руках стальные предметы. Также во время гроз нельзя пользоваться средствами радиосвязи, мобильными телефонами. В помещении нужно отключить телевизоры, радиоприемники и электроприборы.

Как защитить людей, здания и имущество от разрушительной силы молнии?

Рассмотрим такой пример. В одном из опытов искусственная смертельная молния в метр длиной была направлена на стальную крышу автомобиля, в котором находился человек. Молния прошла по обшивке, не нанеся вреда человеку. Как же так получилось? Поскольку заряды на заряженном предмете взаимно отталкиваются,

они стремятся разойтись как можно дальше друг от друга. В случае полого механического шара пи цилиндра заряды распределяются по внешней поверхности предмета. Аналогично, если молния ударит в металлическую крышу автомобиля, то отталкивающиеся электроны чрезвычайно быстро разойдутся по поверхности автомашины и уйдут через ее корпус в землю. Поэтому молния по поверхности металлической машины уходит в землю и не попадает внутрь автомобиля.

По той же причине совершенной защитой от молнии является металлическая клетка. В результате ударов в автомашину искусственных молний напряжением 3 млн. вольт, потенциал автомобиля и тела, находящегося в нём человека, повышается почти до 200 тыс. вольт. Человек при этом не испытывает ни малейшего признака удара электрического тока, поскольку между любыми точками его тела нет никакой разности потенциалов.

Значит, почти полностью защищает от молнии пребывание в хорошо заземленном здании с металлическим каркасом, а таковых много в современных городах.

Для защиты людей и сооружений от разрушительной силы молний, изобретены различные **молниеотводы**.

Молниеотвод — устройство, устанавливаемое на зданиях и сооружениях и служащее для защиты от удара молнии. В быту также употребляется некорректное, но более благозвучное «громоотвод».

Молниеотводы защищают здания от поражения молнией по двум причинам: они дают возможность стекать в воздух наведенному на здании заряду, а при ударе молнии в здание уводят её в землю.

Считается, что молниеотвод был изобретён Бенджамином Франклином в 1752 году, хотя есть свидетельства о существовании конструкций с молниеотводами и до этой даты (например, Невьянская башня, бумажные змеи Жака Рома).

Описание первого способа защиты от молний появляется в ежегоднике «Альманах Бедного Ричарда». «Способ этот таков, — писал Франклин. — Возьмите тонкий железный стержень (каким, например, пользуются гвоздильщики) длиной достаточною для того, чтобы три-четыре фута одного конца опустить во влажную землю, а шесть-семь другого поднять над самой высокою частью здания. К верхнему концу стержня прикрепите медную проволоку длиной в фут и толщиной с вязальную спицу, заостренную как игла. Стержень можно прикрепить к стене дома бечевой (шнуром). На высоком доме или амбаре можно поставить два стержня, по одному на каждом конце, и соединить их протянутой под коньками крыши проволокой. Дому, защищенному таким устройством, молния не страшна, так как острие будет притягивать ее к себе и отводить по металлическому стержню в землю, и она уже

никому не причинит вреда. Точно так же и суда, на верхушке мачты которых будет прикреплено острие с проволокой, спускающейся вниз на палубу, а затем по одному из вантов и обшивке в воду, будут предохранены от молнии».

Один из новых способов защиты – водная струя, выпускаемая из лазера. Это совершенно новый подход к изобретению громоотвода. Предполагается, что струя высотой около 300 метров будет выпускаться в грозовые облака. По ней на землю будут спускаться разряды, оберегая тем самым окружающих людей от удара молнии. Включаться такая защита будет автоматически, когда датчики уловят достаточно сильную напряжённость электрического поля. Но пока эта идея не получила развития, человечество продолжает использовать проверенные временем молниеотводы.

Что нужно знать о категориях молниезащиты.

Все здания условно разделены на три категории:

- 1) Промышленные здания и объекты, в которых ведутся работы со взрывоопасными и легковоспламеняющимися материалами.
- 2) Склады топлива, горючесмазочных материалов (машинное масло), аммиачные холодильники, комбикормовые и мукомольные цеха.
- 3) Именно она наиболее распространена. Детские больницы, школы, ясли, силосные башни, трубы промышленных предприятий и котельных, а также отдельно стоящие дома, если их высота превышает тридцать метров.

Здания, которые не попадают ни в одну из этих категорий, считаются условно безопасными. Но, как показывает практика, удары молний, хоть редко, но приходится и на них.

Последствие попадания молнии в крышу дома.



Молниеотвод состоит из трёх связанных между собой частей:

молниеприёмник — служит для приёма разряда молнии и располагается в зоне возможного контакта с каналом молнии; в зависимости от защищаемого объекта может представлять собой металлический штырь, сеть из проводящего материала или металлический трос, натянутый над защищаемым объектом.

заземляющий проводник или токоотвод — проводник, служащий для отвода заряда от молниеприёмника к заземлителю; обычно представляет собой провод достаточно большого сечения.

заземлитель — проводник или несколько соединённых между собой проводников, находящихся в соприкосновении с грунтом; обычно представляет собой металлическую плиту, заглублённую в грунт.

Элементы молниеотвода соединяются между собой и закрепляются на несущей конструкции. Поскольку вероятность поражения наземного объекта молнией растёт по мере увеличения его высоты, молниеприёмник располагается на возможно большей высоте либо прямо на защищаемом объекте, либо как отдельное сооружение рядом с объектом. **Радиус** защитного действия молниеотвода определяется его высотой и приближенно рассчитывается по формуле:

$$R=1,732 \times h$$

где h — высота от самой высокой точки дома до пика молниеотвода.

Иногда молниеотвод встраивается в декоративные элементы здания или сооружения (флюгеры, навершия колонн и т. д.).

Важным этапом любых строительных работ является установка системы

молниезащиты, так как только таким образом можно защитить здание, находящихся в нем людей и электронику от поражения молнией во время грозových дождей.

Проектирование молниезащиты начинается с осмотра территории и расчета необходимых параметров, что позволяет определиться с типом системы защиты.

Виды молниеотводов, в зависимости от их расположения, делятся на **отдельно стоящие мачтовые системы защиты** или же **расположенные непосредственно на самом защищаемом объекте**.

Самые распространенные молниеотводы – это тросовые и стержневые.

Тросовый тип молниеотвода



Существует еще один способ защиты от поражения молнии — это натяжка стальных тросов над объектом, который следует обезопасить, с последующим их заземлением. Правильно выбранное месторасположение тросов сделает этот вид защиты наиболее эффективным и предпочтительным.

Любой тип молниезащиты будет работать, если правильно подобран и выполнен токопровод, а также при условии, что соединение с заземляющим устройством соответствует стандарту. Даже незначительное отклонение от технологии установки и монтажа всех элементов конструкции может привести не только к неспособности выполнять поставленные задачи (принимать на себя разряд и отводить его в землю), но и усугубить ситуацию, сделав молниеотвод магнитом для мощных электрических разрядов молнии, а притянув их к себе, не обеспечить полноценный отвод. Поэтому такую достаточно серьезную и ответственную работу по установке молниеотвода лучше доверить специалистам.

Стержневые молниеотводы могут быть отдельно стоящими и установленными на здании.

Отдельно стоящие молниеотводы представляют собой металлическую мачту, закрепленную на заземленном основании. Виды таких конструкции могут отличаться, но в последнее время широко используют сборно-разборные мачты, выполненные из легких алюминиевых сплавов. Достоинством таких систем защиты является легкость в транспортировке и монтаже.

При установке **молниеотвода на здании**, в качестве токоотводящих элементов могут быть использованы металлические конструкции самого здания, отвечающие необходимым характеристикам: арматура, водосточная система, металлические части стеклопакетов или элементы декоративной отделки фасада. При необходимости вертикально вдоль стен прокладываются дополнительные токоотводы, диаметр которых не должен быть меньше 6 мм. Такие проводники устанавливаются по периметру здания с шагом от 10 и более метров (в зависимости о степени защиты), и могут быть спрятаны под декоративную штукатурку.

По типу молниеприемной части, виды молниеотводов делятся на активные и пассивные.

Активные молниеотводы, помимо высокой эффективности, обладают еще и способностью снижать потенциал напряженности электромагнитного поля, возникающего во время грозных разрядов. В состав активных молниеприемников входит электронное устройство. Они стоят ощутимо дороже, а также подвержены выходу из строя, как и любое техническое устройство.

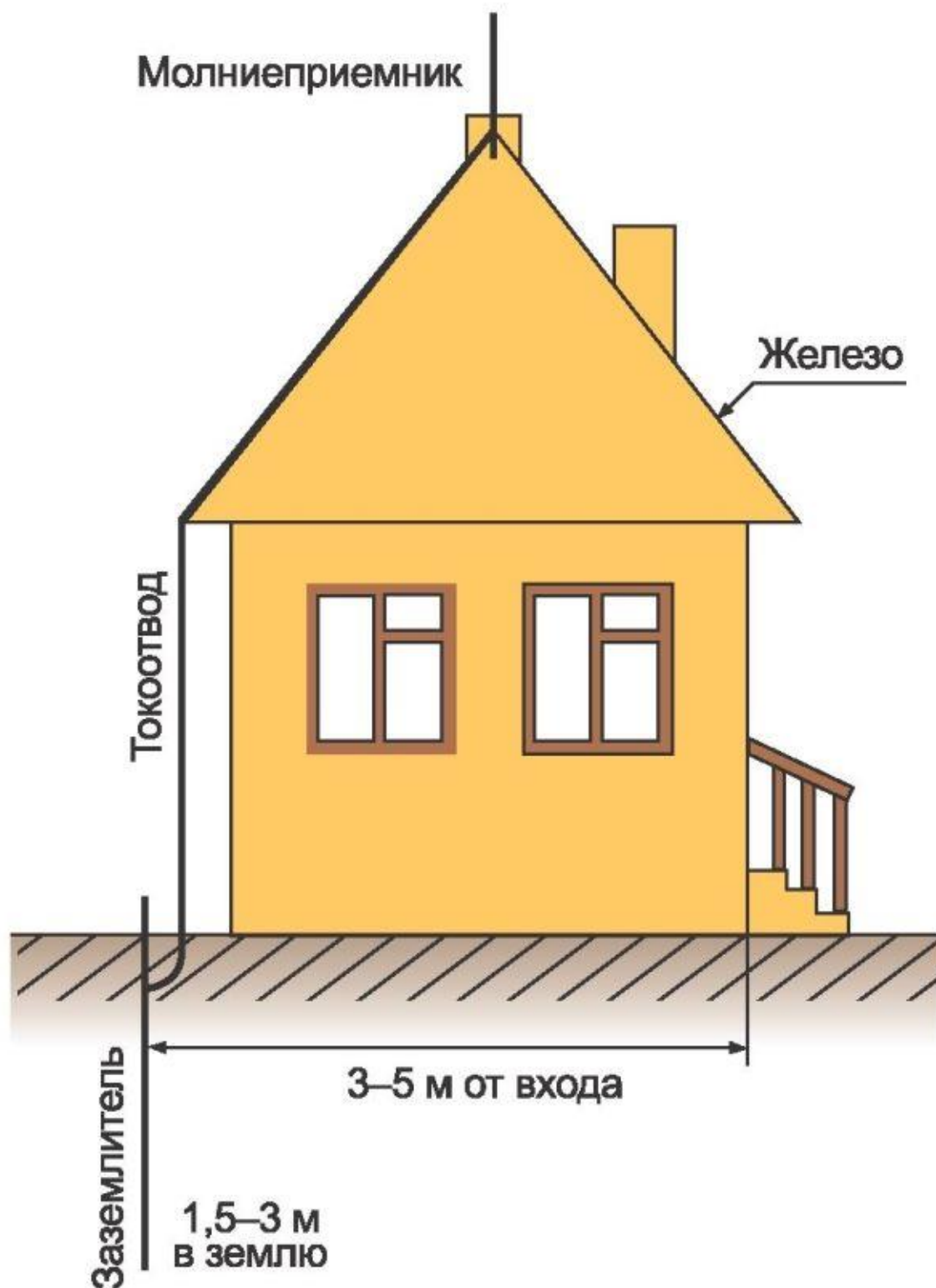
Пассивные виды молниеотводов бывают нескольких разновидностей: стержневые, тросовые и сетчатые. Стержневая молниеприемная часть представляет собой металлический штырь, направленный в небо, и может быть выполнена с помощью алюминиевого прутка диаметром не менее 12 мм. Длина такого стержня варьируется от 0,2 до 2 метров, а площадь сечения должна быть более 100 мм².

При устройстве тросового молниеприемника, вдоль периметра крыши с помощью деревянных (или других изолирующих от кровли) опор растягивают провод, который затем надежно соединяется с токоотводящей частью. Зона действия таких молниеотводов больше, чем стержневых, и они надежно обеспечивают защиту здания и окружающей территории.

В случае сетчатых молниеприемников вдоль кровли прокладывается провод, и дополнительно используются металлические элементы крыши для создания приемной части, которая затем соединяется с несколькими уходящими в землю токоотводами. В этом случае здание как бы помещается в металлическую сетку и

надежно защищено от поражения молнией со всех сторон.

Во что ударяет молния, представляющая собой искру электрического происхождения? Она как бы разыскивает наиболее приемлемый для нее металлический проводник, способный оказать ей содействие в быстрейшем достижении земли. Если взглянуть на любой дом, на котором вполне может быть металлическая крыша, различные антенны, дымоход, покрытый цинком и тому подобные предметы, то для молнии он представляет явный интерес, который для людей может обернуться бедой.



Для защиты дома от молний необходимо соорудить громоотвод, или молниеотвод. Многие домовладельцы закрепляют молниеотвод прямо на крыше дома, но разумнее все-таки было бы поставить для этого отдельную вышку. Почему такой вариант

является более разумным? Дело в том, что молния всегда ищет кратчайший путь. Если же вы поставите громоотвод на крыше и при этом сделаете что-то не так, как нужно, молния может не воспользоваться подготовленным для нее путем и ударить прямо в дом. Поставив отдельную вышку и установив на нее громоотвод, можно защитить дом на 90%, поскольку такова вероятность удара молнии именно в вышку, а не в дом. Беремся за изготовление громоотвода Прежде всего, необходимо выбрать место для установки громоотвода. Как правило, громоотвод рекомендуют устанавливать на расстоянии нескольких метров от дома. Выбирая высоту громоотвода, необходимо учитывать, что он должен быть выше дома не менее чем на 2 метра. Но он не должен быть и чрезмерно высоким, чтобы не притягивать молнии, которые потенциально могут его обойти стороной.

Далее нужно будет смонтировать вышку, которая будет нести элементы грозозащиты. Конструкцию вышки можно определить самостоятельно, не забывая о том, что в ее середине должно быть некоторое пространство, куда следует уложить проводник, который будет играть роль заземления. На вершине вышки следует установить хомуты, к которым нужно прикрепить стержень из меди или алюминия, соединенный с помощью провода с заземлением. Выкопав яму не менее 2 метров глубиной, установить в ней подготовленную вышку. Укрепив вышку в земле, необходимо соединить грозозащиту с заземлением. Для обустройства заземления вокруг вышки необходимо начертить равносторонний треугольник, в вершины которого следует вбить на глубину до 2 метров медные стержни или арматуру, которые будут играть роль заземляющих контуров. Забив стержни, их необходимо соединить между собой с помощью прутьев из того же материала. На завершающем этапе необходимо подсоединить проводник молниеотвода к заземлению. И это будет последней операцией по созданию надежной защиты от молний.

Изготовление стержневого молниеотвода

1. Исходя из площади сооружения, рассчитать высоту молниеотвода

Радиус защитного действия молниеотвода определяется его высотой и приближенно рассчитывается по формуле:

$$R=1,732 \times h$$

где h — высота от самой высокой точки дома до пика молниеотвода.

Заземлитель выбираем с $R \leq 10 \text{ Ом}$, т.к. устанавливаем молниеотвод жилого дома.

2. Изготовить стержневую молниеприемную часть, которая представляет собой металлический штырь, направленный в небо, и может быть выполнена с помощью

алюминиевого прутка. Длина такого стержня варьируется от 0,2 до 2 метров, а площадь сечения должна быть более 100 мм².

3. Затем связать его молниеотводом (6-миллиметровой проволокой) с заземлителем.

4. Заземлитель изготовить из забитых в землю вертикальных стальных стержней, объединенных стальным прутком.

В нашем проекте все части молниеотвода изготовлены из медного провода.

$$S \text{ макета дома} = 0,23 * 0,25 = 0,0575 \text{ кв.м}$$

$$\text{Высота макета дома} = 0,22 \text{ м}$$

$$\text{Высота макета молниеприемника} = h = 0,08 \text{ м}$$

$$R = 1,732 \times 0,08 = 0,13856$$

То есть, радиус действия нашего молниеотвода перекрывает площадь дома.

Он будет являться надежной защитой от молнии.

В качестве молнии используем электрошокер. В качестве земли используем емкость с соленой водой, так как соленая вода – хороший проводник.

Использование электрошокера не вполне корректно, так как разряд возникает между обкладками прибора, а не между противоположно заряженными облаком и поверхностью земли. Но, тем не менее, видно, что заряд притягивается к нашему молниеотводу. То же самое произошло бы с настоящей молнией.

Теперь рассмотрим зависимость сопротивления молниеприемника от его способности притягивать молнию.

Для этого возьмем молниеприемники одинаковой длины, но разного сечения, изготовленные из разных металлов: меди и алюминия.

$L = 0.08 \text{ м}$ – высота молниеприемника.

Сечение провода S , мм ²	1,5	3	4	5
R (Cu), Ом	0,0009	0,0005	0,0004	
R (Al), Ом		0,0007		0,0004

При поднесении дуги хорошо видно, что дуга лучше притягивается к проводнику из меди сечением 5 мм², примерно так же к проводнику из алюминия сечением 4 мм², хуже всего – к проводнику из меди сечением 1,5 мм².

Формула сопротивления $R = \rho \cdot L / S$ доказана экспериментально.

Удельное сопротивление меди равно 0,0175 Ом * кв.мм / м,

Удельное сопротивление алюминия равно 0,028 Ом * кв.мм / м.

У алюминия удельное сопротивление больше. Он обладает большим сопротивлением, чем медь, и хуже проводит электрический ток.

Следовательно, при изготовлении молниеотвода надо использовать проводники с меньшим сопротивлением, достаточного сечения. В то же время необходимы точные расчеты, особенно в промышленных масштабах, чтобы была обеспечена необходимая безопасность, и не возникали излишние материальные затраты.

Определение высоты притяжения молнии к молниеотводу

Теперь в качестве молнии используем дарсонваль (прибор для физиотерапевтического воздействия на ткани тела человека импульсным быстрозатухающим током высокой частоты, высокого напряжения и малой силы тока). Для определения работы нашей электрической схемы воспользуемся елочной гирляндой, не подключенной к сети. Намотаем гирлянду на заземлитель. При приближении дарсонваля к молниеотводу, гирлянда загорается, цепь работает. Аналогично действуем с “человеком”.

Высота нашего дома – 0,22 м

Высота молниеотвода – 0,08 м

Высота человека – 0,1 м

Максимальная высота притяжения молнии к человеку – 0,1 м

Максимальная высота притяжения молнии к молниеотводу (Алюминий 5 мм) –

0,19м

Максимальная высота притяжения молнии к молниеотводу (Алюминий 3 мм) – 0,175 м

Максимальная высота притяжения молнии к молниеотводу (Медь 4 мм) – 0,23 м

Максимальная высота притяжения молнии к молниеотводу (Медь 3 мм) – 0,22 м

Максимальная высота притяжения молнии к молниеотводу (Медь 1,5 мм) – 0,19 м

Высота от земли до точки, на которой молния притянется к человеку = $0,1+0,1=0,2$ м

Высота от земли до точки, в которой молния притянется молниеотводом: Алюминий 5 мм – $0,22+0,19=0,41$ м

Высота от земли до точки, в которой молния притянется молниеотводом: Алюминий 3 мм – $0,22+0,175=0,395$ м

Высота от земли до точки, в которой молния притянется молниеотводом: Медь 4 мм – $0,22+0,23=0,45$ м

Высота от земли до точки, в которой молния притянется молниеотводом: Медь 3 мм – $0,22+0,22=0,44$ м

Высота от земли до точки, в которой молния притянется молниеотводом: Медь 1,5 мм – $0,22+0,19=0,41$ м

Провод (материал, сечение)	AL (5 мм) R=0,0004 Ом	AL (3 мм) R=0,0007 Ом	Cu (4 мм) R=0,0004 Ом	Cu (3 мм) R=0,0005 Ом	Cu (1,5 мм) R=0,0009 Ом
Макс.высота притяжения молнии к молниеотводу	0,19 м	0,175 м	0,23 м	0,22 м	0,19 м
Высота от земли (+0,22 м высота дома)	0,41 м	0,395 м	0,45 м	0,44 м	0,41 м

Таким образом, любой из представленных молниеотводов надежно защищает человека от удара молнии. Но, как показывают расчеты, медный молниеотвод надежней. 1,5 мм сечения меди равноценны по защите 5 мм сечения алюминия.

Определение защиты человека на площади радиуса действия молниеотвода

Молния перестает притягиваться к молниеотводу на расстоянии **0,21 м от дома** (экспериментально). После этого расстояния человеку опасно находиться во время грозы. Молниеотвод перестает его защищать.

$$S \text{ макета дома} = 0,23 * 0,25 = 0,0575 \text{ кв.м}$$

$$R = 1,732 * 0,08 = 0,13856 \text{ м}$$

$$S = \pi r^2 = 3,14 * 0,13856^2 = 0,06 \text{ кв.м}$$

$$R = 1,732 * (0,08 + 0,22) = 0,5196 \text{ м} - \text{если молниеотвод брать с учетом высоты дома}$$

$$S = 3,14 * 0,5196^2 = 0,8477 \text{ кв.м.}$$

Проверим с помощью расчетов, на каком расстоянии от дома человеку безопасно находиться во время грозы, если молниеотвод брать с учетом высоты дома. Катет 0,3 м, гипотенуза 0,51 м, следовательно, безопасное расстояние равно **$0,3^2 - 0,51^2 = 0,2601 - 0,09 = 0,1701$** , извлекаем квадратный корень и получаем **0,4124 м от центра дома**

Половина длины дома равна $0,25/2 = 0,125$ (это примерно центр)

0,4124-0,125=0,2874 м – безопасное расстояние, полученное расчетным путем.

В результате расчетов мы получили цифру, приближенную к экспериментальному значению.

Вывод:

На начальном этапе работы было проведено исследование проводников из различных материалов (Cu и Al) разного сечения, с целью определения их пригодности в качестве молниеотвода. Создан макет молниеотвода с различными молниеприемниками.

На следующем этапе работы были проведены экспериментальные замеры рабочих характеристик макета молниеотвода.

В заключение проведена проверка результатов, полученных опытным путем, с результатами, полученными расчетным путем, используя геометрические параметры макета.

Полученное в результате вычислений безопасное расстояние приближено к экспериментальному.

Макет работает. Он защищает строение и людей, находящихся в его радиусе действия, от удара молнии.

Список используемой литературы

1. А.В.Перышкин, Е.М.Гугник: Физика 8, 9 класс
2. Р.Фейман, Р.Лейтон, М.Сэндс: Феймановские лекции по физике, Электричество и магнетизм
3. Материалы Википедии, интернет
4. Г.Я. Мякишев, А.З. Сияков: Физика электродинамика 10, 11 класс