



Департамент сельского хозяйства США
Бюро погоды
Вашингтон, округ Колумбия
2 февраля 1906 года

Достопочтенному Джеймсу Уилсону (James Wilson)
министру сельского хозяйства

Сэр, имею честь настоящим препроводить доклад озаглавленный «Современная практика в установке молниеотводов», Альфреда Дж. Генри (Alfred Judson Henry), профессора метеорологии, и рекомендовать его публикацию в качестве бюллетеня Бюро погоды.

С большим уважением,
Директор Бюро погоды США

Уиллис Л. Мур (Willis L. Moore)

© Ротанов А.В., перевод на русский язык, 2021

Современная практика установки молниеотводов

RECENT PRACTICE IN THE ERECTION OF LIGHTNING CONDUCTORS

Автор Альфред Дж. Генри (Alfred Judson Henry), профессор метеорологии.
Подготовлено под руководством Уиллис Л. Мур (Willis L. Moore), Директор
Бюро погоды США

© Ротанов А.В., Полетаев И.Ю., перевод на русский язык, октябрь 2021

Ключевые слова: молния, молниезащита, молниеотвод, защита от молнии

Содержание

Практика Федерального правительства по возведению громоотводов	
Молниеотводы на монументе Вашингтона	
Молниеотводы в пригородах	
Заметное сокращение использования молниеотводов	
Отчет Комитета по исследованию молний (Великобритания).....	
Предисловие Сэра Оливера Лоджа (Oliver Lodge) К отчету Комитета по исследованию молний (Великобритания)	
Замечания и предложения	
Правила монтажа молниеотводов, изданные Конференцией по молниеотводам в 1882 году, с комментариями по ним Комитета по исследованию молний, 1905 год	
Предложения Комитета	
Приложение В. Новейшая практика за рубежом.	
Голландия	
Венгрия	
Германия	

Нельзя сказать, что в Соединенных Штатах существует какое - либо единообразие практики возведения молниеотводов. В больших городах иногда можно увидеть здание, на котором они установлены, чаще церковь, но очень редко общественное здание. Федеральное правительство не устанавливает молниеотводы ни на одном из строений, которые оно возводит. Однако в случае пороховых погребов соответствующий Департамент армии обеспечивает очень полную систему защиты от молнии. То же самое и в случае с воздушными линиями электропередач, которые входят в федеральные здания, заботятся о том, чтобы защитить здание от перенапряжений, которые могут передаваться по линии.

О том, что правительственные инженеры не без уважения относятся к важности молниеотводов, свидетельствует очень полная система защиты, установленная на монументе Вашингтона в 1885 году. При установке молниеотводов на памятник ответственные инженеры руководствовались здравыми принципами и, как и следовало ожидать, создали систему защиты, которая успешно выполняет свои функции уже более 20 лет. Подробное описание приводится здесь, поскольку оригинальный документ теперь недоступен для широкой публики.

Молниеотводы на монументе Вашингтона

Установка молниеотводов на монумент была начата в январе 1880 года и закончена в январе 1885 года. Проводниками служат четыре полые колонны *Phoenix columns* из кованого железа, установленных в колодце шахты, которые поддерживают оборудование лифта и служат направляющими для кабины лифта. Эти колонны имеют наружный диаметр 6 дюймов (152,4 мм), толщину 5/8 дюйма (15,9 мм) и состоят из секций длиной 20 футов (около 6,1 м), скрепленных вместе длинными внутренними соединениями, которые плотно прилегают к колоннам и крепятся к ним 16 винтовыми болтами. Днища этих четырех колонн опираются и прикреплены болтами к чугунным башмакам-основаниям, которые, в свою очередь, стоят на полу большой барабанной ямы (*помещение для оборудования лифта* – прим. переводчика) под полом памятника. Башмаки-основания соединены с 3/4-дюймовыми (19 мм) стержнями из мягкой меди, которые ведут на дно колодца в центре фундамента. Глубина этого колодца составляет 32 фута 10 дюймов (около 10 м) ниже дна барабанной ямы и на 15 футов 8 дюймов (около 4,8 м) ниже основания фундамента каменной кладки, и вода постоянно находится в ней на 2 фута 8 дюймов (около 0,8 м) выше ее дна. После того, как были вставлены медные стержни, колодец был заполнен чистым строительным песком на глубину 15 футов 8 дюймов (около 4,8 м), или до уровня дна старого бутового фундамента памятника. Расположенные таким образом и всегда выступающие над верхней частью шахты, эти четыре колонны постоянно удлинялись по мере строительства шахты, и в течение 5 лет, в течение которых велась кладка, выступали в качестве молниеотводов. За эти 5 лет не было зафиксировано ни одного сбоя в подаче электроэнергии.

Когда в декабре 1884 года стены были закончены и покрыты мрамором, 4 медных стержня диаметром 3/4 дюйма (19 мм) были протянуты, по одному от каждой колонны, к верхнему блоку, и там были объединены в 1,5-дюймовый (38 мм) медный стержень, который, проходя вертикально через камень, был ввинчен в цельную металлическую конструкцию из алюминия. Этот металл был выбран для молниеприемника из-за его белизны и вероятности того, что его полированные поверхности не потускнеют при воздействии воздуха. Это была квадратная в основании пирамида (пирамидион), по форме похожая на пирамиду обелиска, и, располагаясь на верхнем блоке, завершала вершину. Этот пирамидион весил 100 унций (около 2,8 кг) и был высотой 8,9 дюймов (226 мм) и 5,6 дюймов (142 мм) в ширину у основания. Угол в вершине между двумя противоположными сторонами составлял около 34°48'.

Проводники, как описано выше, при испытании давали электрическое сопротивление в 0,1 Ом от вершины стержня до медных стержней у основания и 2,2 Ом для соединений заземления, что составляло общее сопротивление в 2,3 Ом для одного проводника. Система была полностью завершена и подключена 20 января 1885 года.

5 апреля 1885 года, во время прохождения тяжелого грозового облака над памятником, в течение 20 минут было замечено по меньшей мере 5 огромных искр или вспышек электрического света, которые вспыхивали между вершиной монумента и облаком без слышимого для наблюдателей звука. Тщательное изучение проводников и вала *подъемного устройства* (прим. переводчика) после этих явлений не выявило каких-либо последствий этих разрядов.

Однако 8 июня во время грозы был замечен сильнейший разряд, прошедший между вершиной пирамидиона и облаком. При осмотре сооружения была обнаружена трещина в камне на северной стороне пирамиды прямо под верхним камнем, проходящая через блок по линии, почти параллельной северо-восточному углу, и примерно в 8,5 дюймах (216 мм) от него. Фрагмент был выдавлен наружу примерно на 3/4 дюйма (19 мм) в нижней части; отколов небольшой кусочек от нижнего угла верхнего камня, к которому он был присоединен *изначально* (прим. переводчика), его легко вернули на место и прикрепили болтами к цельному камню, от которого он был оторван.

В виду данного обстоятельства и для разработки, если возможно, какого-либо плана, с помощью которого обелиск мог бы быть более эффективно защищен от молнии, профессорам Х.А. Роланду (H . A . Rowland) из Университета Джона Хопкинса, Саймону Ньюкомбу (Simon Newcomb) из Военно-морского флота Соединенных Штатов и Т.К. Менденхоллу (T . C . Mendenhall) из Службы связи Соединенных Штатов было предложено осмотреть систему молниезащиты и рекомендовать любые изменения в них, которые, по их мнению, были бы уместны для достижения требуемой цели. Они любезно согласились это сделать и после тщательного изучения рекомендовали соединить систему молниезащиты с внутренними проводниками и установить на внешней стороне пирамиды большое количество молниеприемников.

Дополнения, разработанные ими, состоят из четырех медных стержней толщиной в 0,5 дюйма (12,7 мм), прикрепленных лентой к алюминиевому молниеприемнику и токоотводов идущих вниз по углам к основанию пирамидиона; оттуда, проходя через каменную кладку, эти токоотводы проходят внутрь и соединяются с железными колоннами, описанными выше. Поскольку каждый из этих наружных стержневых молниеприемников имеет длину более 60 футов (около 18,3 м), они также соединены в двух промежуточных точках своей длины с железными колоннами с помощью медных проводников длиной в 0,5 и 3/4 дюйма соответственно (12,7 мм и 19 мм), обеспечивая соединение всех шестнадцати стержней, образующих внешнюю систему проводников с внутренними проводящими колоннами. Там, где внешние стержни по углам пересекают одиннадцать самых высоких горизонтальных стыков кладки пирамидиона, они соединены друг с другом со всех сторон другими медными стержнями, погруженными в эти стыки. Все эти внешние стержни, муфты и фитинги покрыты золотом и усеяны на каждые 5 футов (около 1,5 м) их длины медными наконечниками (*стержневыми молниеприемниками* - прим. переводчика) длиной 3 дюйма (76,5 мм), позолоченными и покрытыми платиной. Всего таких наконечников насчитывается 200 штук.

Молниеотводы в пригородах

В пригородах применение молниеотводов для сельскохозяйственных и жилых зданий встречается гораздо чаще, чем в крупных городах и поселках. Следует ли устанавливать молниеотводы на зданиях или нет, как правило, определяется индивидуальным решением владельца. Насколько известно, планы архитекторов, когда таковые используются, не предусматривают молниеотводов.

Заметное сокращение использования молниеотводов

За последние 30 лет произошло заметное сокращение использования молниеотводов. Согласно статистике переписи населения Соединенных Штатов, в 1860 году насчитывалось двадцать предприятий, производивших молниеотводы, которые выпускали продукцию стоимостью 182750 долларов. В 1870 году число производств возросло до 25, а стоимость продукции - до 1374631 доллара. В следующем десятилетии число предприятий сократилось до 20, а стоимость продукта - до 801192 долларов, и, наконец, в 1890 году число производств выросло до 22, но стоимость продукта снизилась до 483296 долларов. При переписи 1900 года классификация, принятая с 1860 по 1890 год, была отменена, и молниеотводы были занесены в общую классификацию «Продукция литейного и механического цехов». На сегодняшний день нет никакой возможности абсолютно точно определить, означает ли значительное снижение стоимости произведенного продукта с 1870 по 1890 год сокращение использования молниеотводов; несомненно, однако, что «Человек с громоотводом» не так актуален, как в начале семидесятых.

Возможности и ограничения правильно установленного молниеотвода полностью изложены на следующих страницах. В целом, сделанные ниже выводы согласуются с выводами должностных лиц Бюро погоды, которые уделили внимание этому вопросу. В крупных городах использование молниеотводов не является обязательным из-за преобладания современных стальных конструкций и в целом зданий с металлическими крышами. Для зданий, которые изолированы на открытой местности, разумным решением было бы установить на них систему защиты от молнии. Степень, в которой здание должно быть защищено, и, естественно, затраты на установку должны иметь определенное отношение к стоимости здания. Если здание застраховано от потерь в результате пожара или молнии, было бы нецелесообразно идти на дополнительные расходы по установке молниеотводов. В любом случае окончательное решение должно быть принято владельцем здания. При принятии своего решения он должен руководствоваться тем фактом, что хотя абсолютная защита от повреждений молнией достижима только с большим трудом и значительными затратами, разумная степень защиты может быть обеспечена очень простыми средствами при условии, что система защиты будет разработана и установлена полностью компетентным лицом.

Отчет Комитета по исследованию молний (Великобритания)

Недавно в Журнале Королевского института британских архитекторов (Royal Institute of British Architects, RIBA), Третья серия, Том XII, № 13 появился отчет, подготовленный Комитетом по исследованию молний - органом, который был создан с целью получения достоверной информации о катастрофах, которым подвергаются здания от удара молнии, расследования причин отказа молниеотводов для защиты и, наконец, предложения, если это возможно, улучшенных средств защиты. Краткое предисловие к отчету было написано сэром Оливером Лоджем (Sir Oliver Lodge FRS), членом Лондонского королевского общества. И предисловие, и отчет Комитета содержат так много информации, представляющей ценность для американских архитекторов и строителей, что здесь приводится очень полное изложение. Мы выражаем признательность Комитету,

который подготовил доклад, а также Журналу Королевского института британских архитекторов, который его опубликовал.

Предисловие Сэра Оливера Лоджа (Oliver Lodge) К отчету Комитета по исследованию молний (Великобритания)

Со времени доклада на Конференции по молниезащите, много лет назад, объем знаний по данному вопросу значительно возрос, и эффект самоиндукции, который тогда был полностью проигнорирован, был принят во внимание и понят. Основные различия между тем, что рекомендуется сегодня, и тем, что считалось достаточным тогда, зависят от признания влияния самоиндукции или явления электрической инерции. Тогда к электричеству относились так, как будто у него не было инерции, и как будто все, что было необходимо, - это доставить его из облаков на землю как можно быстрее и легче по кратчайшему пути, который можно назвать теорией дренажной (водосточной) трубы. Предполагалось, что электрический разряд всегда будет происходить по самому легкому пути, и что этот самый легкий путь защитит всех остальных. Внимание было направлено на количество электричества, которое должно было быть передано вниз, и ни на что другое.

Теперь, однако, осознается, что необходимо уделять внимание не столько количеству электричества, сколько электрической энергии; что эта электрическая энергия хранится между облаками и землей в опасном количестве, и что нашей целью должно быть рассеивание этой энергии в земле не так быстро, но как можно тише. Стремительное рассеивание энергии всегда приводит к катастрофе. Никто в здравом уме не пожелает внезапно останавливать маховик или железнодорожный поезд; внезапное или поспешное рассеивание - это не то, что нужно. Оружейный выстрел обладает запертой в порохе запасом потенциальной энергии в опасной степени; если эта энергия рассеивается внезапно, как при ударе, происходит сильный взрыв; но если она рассеивается постепенно, как пламя, энергия высвобождается без особого труда и возможного ущерба от пожара. Броневая плита может быстро остановить пушечное ядро, однако куча песка или рыхлой земли делает это более плавно, но также эффективно.

Так же обстоит дело и с запасом энергии под наэлектризованным облаком или между одним облаком и другим. Молниеотвод идеальной проводимости, при попадании молнии в него, будет иметь дело с энергией слишком быстро и внезапно, и результат будет эквивалентен взрыву. Проводник с умеренно высоким сопротивлением, такой как железная проволока, избавился бы от него медленнее и, следовательно, гораздо безопаснее и тише, хотя при слишком малом диаметре проводника может возникнуть опасность возгорания.

Однако в любом случае ток молнии, скорее всего, будет довольно сильным, и, подобно лавине, он не пойдет по самому легкому пути, предусмотренному для него, как если бы это был ручеек, но прорвется сквозь препятствия и проложит свой собственный путь, некоторые его части пойдут по совершенно неожиданному пути. Следовательно, нельзя сказать, что ни один путь полностью не защищает другие, и единственный способ защитить здание с абсолютной надежностью - это полностью заключить его в металл. Однако невидимая сетка или каркас из железной проволоки, спускающейся по его элементам, с использованием любого

металла в его конструкции, достаточна для всех практических целей, если только здание не является пороховым складом.

Влияние молниеприемников, а также дождя, на постепенное рассеивание заряда и, таким образом, повышение безопасности, давно понято; но особенность, которая не была известна, заключается в том, что бывают случаи, когда молниеприемники работают не в полном объеме, а именно: когда энергия хранится между облаком и облаком, а не между облаком и землей, и когда первоначальный разряд происходит от одного облака к другому, после чего нижнее облако может внезапно разрядиться на землю через область, в которой не было предварительной подготовки, и где любое количество молниеприемников или ливень, или любая другая форма легкой утечки будут совершенно неэффективны. Тогда может произойти сильный разряд даже в самую острую точку, также предпочтительнее молниеприемника может быть горячий столб воздуха, например, поднимающийся из дымовой трубы. Это разряды, от которых молниеотводы и дождь не являются защитой, и, вероятно, именно они наносят наибольший ущерб защищенным зданиям. Но следует понимать, что, когда удар молнии происходит в здание, не имеет большого значения, какого рода этот удар (вспышка) - и тот, и другой может быть одинаково внезапным и сильным, - но если здание хорошо снабжено молниеотводами, первый вид разряда вряд ли произойдет, за исключением исключительных случаев, большая опасность заключается в внезапной или чрезмерной вспышке (разряде).

Таким образом, возникли два новых момента:

1. Возможность возникновения совершенно неподготовленного и внезапного разряда в предварительно ненапряженном воздухе по причине переполнения от разряда, инициированного в другом месте; это явление называется разрядом В, возникающим как вторичный результат разряда А.

2. Эффект электрической инерции, заключающийся в том что разряд представляет собой не простую утечку или ток в одном направлении, а сильное колебание и всплеск или импульс, гораздо более похожий на взрыв, и способный развиваться во всех направлениях одновременно, без особого внимания к пути, который был для него предусмотрен. Требуется, чтобы большая его часть могла быть принята хорошими проводниками и тем самым предотвращено попадание любой его части в идеально закрытое металлическое здание.

Однако даже небольшая доля бокового разряда способна воспламенить газ, если есть утечка, или даже вызвать утечку в композитной трубе, где ее пересекает электрический провод, а затем поджечь ее; следовательно, после того, как здание было поражено ударом молнии, в течение некоторого времени следует внимательно следить за возможностью возникновения пожара.

Объем защиты, который должен быть предоставлен любому зданию, несомненно, аналогичен вопросу страхования в целом; в том смысле что размер необходимых затрат (страхового взноса), должен быть сопоставлен с поставленным на карту капиталом и возможным риском; несомненно, этот вопрос должен быть рассмотрен как самими владельцами зданий, так и государственными органами.

Что может сделать Комитет, так это изучить случаи повреждения зданий, которые по старым правилам должны были быть защищены, свести их в таблицу и запросить тщательно записанные наблюдения; они также могут составить такие

советы и предложения, которые могут быть полезны архитекторам, чьи клиенты хотят, чтобы их здания были защищены более тщательно, но не обязательно более дорогостоящим способом.

Эти случаи и эти попытки быть полезными объясняют издание настоящего доклада.

Замечания и предложения

Сэр Оливер Лодж (Oliver Lodge) указал, что разряды молнии имеют два различных характера, которые он назвал вспышкой А и вспышкой В соответственно. Вспышка А относится к простому типу, который возникает, когда электрически заряженное облако приближается к поверхности земли в отсутствие промежуточного облака, и в этих условиях обычный тип молниеотвода действует двумя способами: во-первых, бесшумным разрядом и, во-вторых, поглощая энергию разрушительного разряда. Во втором типе, В, где другое облако вмещается между облаком, несущим первичный заряд, и землей, два облака практически образуют конденсатор; и когда разряд из первого облака происходит во второе, свободный заряд на стороне земли нижнего облака внезапно сбрасывается, и разрушительный разряд из последнего на землю проходит таким неопределенным курсом, что никаких молниеотводов признанного типа недостаточно для защиты здания.

28 мая 1904 года сэр Оливер Лодж провел интересную демонстрацию действия вспышек А и В соответственно перед членами комитета и другими лицами, заинтересованными в этих исследованиях. Тонкий лист металла, смонтированный на непроводящих стойках, имитировал облако, которое заряжалось по желанию испытателя из лейденской банки. «Облако» было устроено таким образом, что у экспериментатора была возможность перемещать вершины модельных молниеприемников ближе или дальше от его («облака») нижней поверхности, меняя их положение на столе. Были проведены эксперименты с проводниками из меди, железа и мокрой струны. Разрушительный разряд в медь оказался, безусловно, самым громким и интенсивным из трех. Железный провод воспринял вспышку с меньшим шумом, мокрая струна - почти без шума; но когда разряд прошел через нее, другие и, по-видимому, лучшие проводники не пострадали. Эксперименты продемонстрировали, что железо во многих ситуациях является наиболее полезным материалом для молниеотводов, поскольку эффективная энергия вспышки молнии быстро рассеивается в железе. Однако этот металл, к сожалению, быстро окисляется в городах и задымленных районах, по причине чего в качестве материала для молниеотвода и основных проводников в относительно труднодоступных местах по-прежнему рекомендуется использование меди, хотя железо электрически предпочтительнее.

Рассмотрение приведенных в Приложении В описаний последней зарубежной практики и случаев, приведенных в резюме ущерба, Приложение А (здесь не приведено), позволяет сделать следующие общие выводы:

Вполне вероятно что, за немногими исключениями, здания в этой стране на самом деле не защищены эффективно от воздействия вспышки В, хотя во многих случаях можно сказать, что молниеотводы, по крайней мере, частично выполнили свое предназначение, отводя на себя большую часть разряда, и что без них во многих сообщенных случаях произошел бы больший ущерб.

Некоторые из этих наблюдений проливают очень интересный свет на эффекты, обусловленные колебательным характером грозовых разрядов. Например, разряд происходит над токоотводом, который может соприкасаться с металлическими частями крыши или приближаться к ним вплотную. В этих проводниках возникают мощные электрические колебания, и на противоположных концах этих проводников может создаваться опасно высокое электрическое напряжение. Если бы в этих точках они были соединены с землей, напряжение было бы снижено, и разряд безвредно рассеялся. При отсутствии этого безопасного пути разряд может произойти в трубы или пробить крышу, чтобы достичь внутренних проводящих элементов. Случаи наблюдений последовательных или одновременных вспышек, могут быть вызваны одной вспышкой, вызывающей эти колебания.

В некоторых случаях повреждение здания вспышкой А не обязательно связано с первичным разрядом. Иногда происходит боковой удар, который часто вызывает незначительные, хотя в некоторых случаях бывают и серьезные повреждения из-за падающих материалов.

Многие сообщения о повреждениях незащищенных зданий показывают, что разряд молнии прошел по пути проволочных канатов, металлических труб и других проводников и что повреждение конструкции произошло в местах разрыва *электрической (прим. переводчика)* непрерывности на верхнем и нижнем выводах соответственно.

Можно считать, что молниеотвод обычного типа, если он правильно сконструирован, обеспечивает некоторую область защиты от вспышек А, но нельзя сказать, что он имеет какую-либо защитную область от вспышек В.

Абсолютную защиту всего здания можно обеспечить, только заключив конструкцию в систему проволочной сетки - изобретение, по сути, напоминающее птичью клетку. Оно должно быть хорошо соединено в разных точках с землей, так как почти во всех зданиях есть газовые и водопроводные трубы а также другие металлические проводники, которые также заземлены. Для сооружений, предназначенных для производства или хранения пороха и других взрывчатых веществ, применение такой защиты типа «птичьих клеток» было бы оправдано только с точки зрения общественной безопасности. Архитектурные соображения препятствуют применению такого метода во всей его полноте для обычных зданий. Однако нет никаких сомнений в том, что практически идеальная защита может быть обеспечена разумным изменением существующей практики возведения одиночных громоотводов, особенно в случае протяженных и высоких зданий, которые значительно возвышаются над окружающими сооружениями или стоят изолированно на открытой местности.

Очевидно, что требуемая степень защиты здания и расходы, связанные с этой защитой, должны иметь определенное соотношение с важностью или стоимостью самого здания. В случаях, когда защита считается желательной, но большие затраты не оправданы, могут быть установлены обычным способом два или более молниеотводов, которые будут соединены горизонтальным проводом, а металлические части крыши и водосточные трубы для дождевой воды должны быть металлически соединены и хорошо заземлены.

Высокие шахты дымохода неэффективно защищены от вспышки В обычным одиночным молниеотводом, так как горячий столб дыма, выходящий из дымохода, проводит так же хорошо или даже лучше, чем стержень. Верхнюю часть шахты

должна окружать кольцевая полоса, над которой должны быть подняты в форме короняля четыре или более проводников; также может быть использована практика европейских стран соединения выступающих стержней вместе, чтобы образовать арку над дымоходом. От этой круговой полосы должны отходить один или, предпочтительно, два токоотвода до земли способом, описанным ниже.

Поскольку большинство зданий содержат системы газовых и водопроводных труб, очень желательно хорошее заземление для молниеотводов. В случае печи внутри здания с металлической печной трубой, вынесенной наружу, печь должна быть заземлена, а от трубы должен быть подведен снаружи провод к земле или к ближайшему проводящему элементу.

Различные случаи, отмеченные Комитетом, показывают, что, хотя даже отдельные молниеприемники, как правило, уменьшают ущерб, наносимый зданиям молнией, нельзя полагаться на зону защиты. Судя по новейшей зарубежной практике, опыт европейских стран, по-видимому, подтверждает эту точку зрения (см. Голландию, Венгрию и Германию, Приложение В). В церквях и других зданиях со шпилями и башнями нижние выступы также должны быть защищены, даже если они являются частью основных элементов здания.

Комитет не уведомлял о каких-либо случаях повреждения современных стальных каркасных конструкций. Однако обычный метод строительства в этой стране не обеспечивает полной защиты. Во многих случаях стальные колонны стоят на каменных фундаментах, и металл не погружается достаточно глубоко для эффективного заземления. Металлические колонны должны быть заземлены во время строительства.

По мнению Комитета, методы, пропагандируемые в Докладе Конференции по молниеотводам, по-прежнему эффективны при условии, что будут приняты меры для поддержания постоянной влажности земли. Поэтому Комитет считает удобным опубликовать здесь правила, изданные Конференцией по молниеотводам в 1882 году, дополнив их собственными наблюдениями и предложениями, основанными на результатах недавних исследований.

**Правила монтажа молниеотводов,
изданные Конференцией по молниеотводам в 1882 году,
с комментариями по ним Комитета по исследованию молний, 1905 год**

(Примечание: Параграфы, начинающиеся с нечетных номеров, относятся к Правилам 1882 года; параграфы с четными номерами - к комментариям (выделены курсивом – прим. переводчика) Комитета по исследованию молний 1905 года)

1. Наконечники. Острие молниеприемника не должно быть острым, не острее конуса, высота которого равна радиусу его основания. Но на фут ниже верхнего конца должно быть привинчено и припаяно медное кольцо, в котором должно быть закреплено три или четыре острых медных наконечника, каждый длиной около 6 дюймов (152,4 мм). Желательно, чтобы эти наконечники были покрыты платиной, позолотой или никелем, чтобы противостоять окислению.

2. *Нет необходимости нести расходы на платинирование, золочение или гальваническое покрытие. Желательно иметь три или более наконечника рядом с острием молниеприемника, которые также могут быть заострены; эти*

наконечники не должны крепиться одним винтом, а стержень должен быть сплошным, а не трубчатым.

3. Молниеприемники. Требуемое количество проводников или молниеприемников, будет зависеть от размера здания, материала, из которого оно построено, и относительной высоты нескольких частей. Для этого не может быть дано никакого общего правила, но архитектор должен руководствоваться данными указаниями. Однако он должен иметь в виду, что даже обычные дымовые трубы, должны быть защищены короткими наконечниками, подключенными к ближайшему стержню, поскольку несчастные случаи часто происходят из-за хорошей проводящей способности нагретого воздуха и сажи в дымоходе.

4. Этот вопрос рассматривается ниже в предложении Комитета № 3.

5. Изоляция. Молниеприемник не должен отделяться от здания стеклом или другими изоляторами, а крепиться к нему металлическими креплениями.

6. Настоящее положение остается в силе

7. Фиксация. Токоотводы предпочтительно следует проводить с той стороны здания, которая наиболее подвержена воздействию дождя. Они должны быть надежно закреплены, но держатель не должен быть вбит так плотно, чтобы зажать стержень или предотвратить сжатие и расширение, вызванные изменением температуры.

8. В большинстве случаев предпочтительно поддерживать проводники с помощью креплений (которые должны быть того же металла, что и проводник) таким образом, чтобы избежать всех острых углов. Вертикальные проводники следует переносить на определенное расстояние от стены, чтобы предотвратить накопление грязи, а также избавиться от необходимости обводить их вокруг выступающих элементов каменной или кирпичной кладки.

9. Фабричные трубы. Они должны иметь медную полосу вокруг верха и прочные, острые медные наконечники, каждый длиной около одного фута (примерно 0,3 м), с интервалом в два или три фута (0,6 – 0,9 м) по всей окружности, и стержень должен быть соединен со всеми полосами и металлическими элементами внутри или рядом с дымоходом. Окисление наконечников должно быть предотвращено.

10. В качестве альтернативы стержни над полосой могут быть изогнуты в дугу, снабженную тремя или четырьмя наконечниками. Предпочтительно, чтобы два токоотвода соединяли полосу с землей способом, описанным ранее. Окисление наконечников не имеет значения.

11. Декоративные изделия из железа. Все флюгеры, шпили, коньковые украшения из железа и т. п. должны быть соединены с проводником, и нет абсолютно никакой необходимости использовать какой-либо другой молниеприемник, кроме того, который образуется такими декоративными изделиями из железа, при условии, что соединение их будет надежным и масса изделий из железа значительная. Однако, поскольку существует риск выхода из строя в результате ремонта, безопаснее иметь независимый молниеприемник.

12. Такие металлические конструкции должны быть соединены, как указано ниже в предложении Комитета № 3. В случае длинного металлического конька крыши одного основного вертикального стержня недостаточно, но каждый конец конька должен быть непосредственно соединен с землей проводником. Там, где конек крыши неметаллический, на небольшом расстоянии над ним должен проходить горизонтальный проводник (который не обязательно

должен иметь большую площадь сечения) и быть аналогичным образом соединен с землей.

13. Материал для молниеприемника. Медь, весом не менее 6 унций (170,1 г) на фут (304,8 мм) длины (диаметр около 4,5 мм), проводимость которой составляет не менее 90 процентов от проводимости чистой меди, либо в виде ленты, либо кабеля из толстых проводов - каждый отдельный провод не менее № 12 по стандарту BWG (диаметр провода 2,77 мм). Может использоваться железо, но стержень должен весить не менее 2,25 фунтов (1,02 кг) на фут (304,8 мм) длины (диаметр около 11,6 мм).

14. Приведенные размеры по - прежнему подходят для основных проводников. Вспомогательные проводники для соединения металлических ребер и т.д. с землей могут с преимуществом быть из железа и меньшего калибра, например, из оцинкованного железа № 4 по стандарту SWG (диаметр 5,893 мм). Проводимость используемой меди абсолютно неважна, за исключением того, что высокая проводимость увеличивает перенапряжения и интенсивность электромагнитных помех и, следовательно, является безусловно нежелательной. Именно по этой причине железо намного лучше.

15. Соединения. Плохие соединения снижают эффективность проводника, поэтому каждое соединение, помимо того, что оно хорошо очищено, завинчено, скручено или заклепано, должно быть тщательно пропаяно.

16. Соединения должны скрепляться механически, а также соединяться электрически, и должны быть защищены от воздействия воздуха, особенно в городах.

17. Защита. Медные стержни на высоте 10 футов (около 3 м) над землей должны быть защищены от травм и кражи, будучи заключенными в железную трубу, уходящую на некоторую глубину в землю.

18. Настоящее положение остается в силе.

19. Окраска. Железные стержни, оцинкованные или нет, должны быть окрашены; медные могут быть окрашены в соответствии с архитектурными требованиями.

20. Настоящее положение остается в силе.

21. Изгибы. Токоотвод не должен резко изгибаться образуя острые углы. Ни в коем случае длина проводника между двумя точками не должна быть больше двукратной длины соединяющей их прямой. Там, где это возможно, стержень может проходить прямо, а не вокруг выступающей каменной кладки. В этом случае отверстие должно быть достаточно большим, чтобы проводник мог свободно проходить, допускал расширение и т.д.

22. Чем прямее проложен токоотвод, тем лучше. Хотя в некоторых случаях при возникновении необходимости провести токоотвод через выступ, лучше проложить его снаружи, располагая его дальше от конструкции с помощью соответствующих креплений, как описано выше.

23. Большие массы металла. Насколько это практически возможно, желательно, чтобы проводник был подключен к большим массам металла, таким как трубы горячей воды и т. д. как внутренним, так и внешним. В то же время его следует располагать как можно дальше от всех труб из мягкого металла и от внутренних газовых труб любого вида. Церковные колокола внутри хорошо защищенных шпилей не нужно подключать.

24. *Желательно соединить церковные колокола и башенные часы с проводниками.*

25. *Заземление. Важно, чтобы нижняя оконечность проводника была погружена в постоянно влажную почву; следовательно, желательна близость к трубам дождевой воды и дренажным трубам. Очень хороший план состоит в том, чтобы сделать проводник раздвоенным непосредственно под поверхностью земли и применить два из следующих методов для обеспечения выхода молнии в землю. Медную полосу можно провести от нижней части стержня к ближайшей газовой или водопроводной магистрали, а не просто к свинцовой трубе, и припаять к ней; или эта полоса может быть припаяна к медной пластине размером 3 фута на 3 фута (около 1 м²) и толщиной в дюйм (25,4 мм), закопана в постоянно влажную землю и засыпана золой или коксом; или много ярдов (1 ярд = 0,9144 м) ленты можно уложить в траншею, заполненную коксом, следя за тем, чтобы общая поверхность меди, как и в предыдущих случаях, была не менее 18 квадратных футов (1,67 м²). Если для проводника используется железо, следует использовать оцинкованную железную пластину аналогичных размеров.*

26. *Использование золы или кокса представляется сомнительным из-за химического или электролитического воздействия на медь или железо. Лучше использовать древесный уголь или измельченный углерод (например, кусочки стержней дугового освещения). Трубчатый заземлитель, состоящий из перфорированной стальной заостренной трубы, плотно вбитой во влажный грунт и удлиненной до поверхности, и проводник, доходящий до ее дна и заполненный гранулированным древесным углем, обеспечивает такую же эффективную площадь, как и пластина большей поверхности. К тому же его легко поддерживать влажным, подключив его к ближайшей трубе для дождевой воды. Сопротивление трубчатого заземлителя в этом случае должно быть очень низким и практически постоянным.*

27. *Инспекция. Прежде чем выдавать свой окончательный сертификат, архитектор должен провести удовлетворительное обследование и тестирование проводника квалифицированным специалистом, так как повреждение его часто происходит вплоть до окончания работ по случайным причинам, а часто и по неосторожности рабочих.*

28. *Инспекция может рассматриваться по двум направлениям:*

А. Сам проводник.

Б. Соединение с землей.

А. Соединений проводников должно быть как можно меньше. Как правило, они необходимы только там, где соединены вертикальные и горизонтальные проводники, а сами основные проводники всегда должны быть непрерывными и без искусственных соединений. Соединения вертикальных и горизонтальных проводников всегда должны находиться в местах, легко доступных для осмотра. Видимой непрерывности достаточно для остальной части схемы. Электрическое тестирование всей цепи является сложным и ненужным

В. В простых случаях можно легко провести электрическое тестирование земли. В сложных случаях, когда проводников очень много, испытания могут быть проведены с помощью испытательных зажимов подходящей конструкции.

29. *Угольные шахты. Существуют несомненные доказательства взрыва метановоздушной смеси и угольной пыли в шахтах из-за искр от атмосферного электричества, которые попадают в шахту по проволочным тросам шахты и*

железным рельсам галерей. Следовательно, все шахтные копёры (наземная конструкция для размещения подъемной установки) должны быть защищены надлежащими молниеотводами.

Предложения Комитета

Исследования Комитета позволяют выдвинуть ряд следующих практических предложений:

1. Должны быть предусмотрены два основных токоотвода, по одному с каждой стороны, проходящие от вершины каждой башни, шпиля или высокой дымовой трубы самым прямым и кратчайшим путем к земле.

2. Горизонтальные проводники должны соединять все вертикальные проводники (а) проходящие вдоль конька или в любом другом подобном положении на крыше; и (б) на уровне земли или вблизи нее.

3. Верхний горизонтальный проводник должен быть снабжен эгретками (пучок проволоки) или молниеприемниками с интервалом 20 или 30 футов (около 6 м и 9 м соответственно).

4. На всех небольших выступах (вершинах) должны быть установлены короткие вертикальные стержни и соединены с верхним горизонтальным проводником.

5. Все металлические элементы крыши, такие как шпили, коньки, дождевые и вентиляционные трубы, металлические короба, водосточные желоба и т. д. должны быть подсоединены к горизонтальным проводникам.

6. Все большие массы металла в здании должны быть соединены с землей либо напрямую, либо с помощью нижнего горизонтального проводника.

7. Если крыши частично или полностью облицованы металлом, они должны быть соединены с землей с помощью токоотводов в нескольких точках.

8. Газовые трубы должны располагаться как можно дальше от токоотводов, и в качестве дополнительной защиты электрическая сеть к газовому счетчику должна быть металлически соединена с сетями, ведущими от счетчика.

John Slater, *Chairman*,

E . Robert Festing,

Oliver Lodge,

J . Gavey,

W . N . Shaw,

A . R . Stenning,

Arthur Vernon,

Killingworth Hedges, *Honorary Secretary*,

G . Northover, *Secretary*

Приложение В . Новейшая практика за рубежом.

Голландия

Ниже приводится перевод с голландского языка очень полного и ценного доклада, сделанного доктором Д. ван Гуликом (Dr. D. van Gulik) по просьбе Голландской академии наук, который только что был опубликован под названием

«Дальнейшие исследования в отношении защиты зданий от молнии» (Харлем, 1905 год):

1. Молниеотводы служат для снижения риска пожара и серьезного ущерба для защищаемых ими зданий, а также для значительного снижения опасности для жизни проживающих в них. Очень сомнительно, что риск поражения здания молнией также уменьшается при установке молниеприемников или пучков молниеприемников (эгретки). Поэтому там, где целью является экономичность, от них первоначально можно отказаться.

2. При защите зданий от молнии мы должны иметь в виду, что в отличие от постоянных электрических токов:

(а) разряд молнии имеет большую тенденцию распределяться по существующим проводникам, и при этом обращать мало внимания на электрическое сопротивление проводника;

(б) разряд молнии не испытывает больших трудностей при прохождении, часто на значительное расстояние, по воздуху или через любую другую хорошо проводящую среду;

(в) молния предпочитает продвигаться по возможно прямой линии, следовательно, резкие повороты или спиральные витки в проводниках создают препятствия, которые, с учетом свойств, упомянутых в пунктах (а) и (в), легко приводят к боковым разрядам.

Абсолютная безопасность недостижима или достижима только с большими сложностями и в любом случае за значительные средства. С другой стороны, вполне удовлетворительная степень защиты может быть обеспечена очень простыми средствами.

3. Чем большее значение придается сохранению здания и его содержимого, тем более совершенной должна быть система молниезащиты, и, следовательно, более высокий коэффициент безопасности достигается за счет увеличения расходов.

4. Молниеприемники, используемые в настоящее время в Голландии, обеспечивают довольно высокую степень безопасности в случае домов с черепичными или шиферными крышами, поскольку они снижают риск пожара при ударе в среднем от одной шестой до одной седьмой. Однако статистика показывает, что молния часто отклоняется от них и может даже ударить в здания, не касаясь молниеприемника. Более того, стоимость установки настолько велика, что многие люди отказываются от установки этих полезных приборов по этой причине. Однако можно указать на некоторые общие усовершенствования и упрощения, с помощью которых молниеприемники, даже при меньших затратах, лучше отвечали бы цели, для которой они предназначены.

5. Улучшения в основном заключаются в следующем:

(а) Все выступающие места, которые могут быть поражены, должны быть снабжены молниеприемниками в виде коротких стержней или проводов, а крыша должна быть опоясана со всех сторон токоотводами. Это позволит избежать необходимости установки высоких стержневых молниеприемников с их воображаемым конусом безопасности.

(б) Следует установить несколько токоотводов, идущих к земле.

(в) Система токоотводов должна быть соединена с любой обширной металлической массой, присутствующей в здании, при необходимости в более чем

одной точке. Такое подключение абсолютно необходимо для газовых и водопроводных труб.

б. Основные упрощения можно резюмировать следующим образом:

(а) Высокие стержневые молниеприемники следует отменить, так как их трудно закрепить достаточно надежно.

(б) Медь, которая является материалом, обычно используемым для проводов и соединений заземления, должна быть заменена железом. Качественно оцинкованное железо будет противостоять атмосферным воздействиям в течение очень долгого времени и, кроме того, может быть легко защищено слоем краски.

(в) Толщина проводников должна быть уменьшена. В подтверждение этого мы можем привести свидетельство обычного телеграфного провода, который редко, если вообще когда-либо, обнаруживается расплавленным, за исключением того места, где он бывает поражен. Даже в крайних случаях мы не должны упускать из виду тот факт, что провод будет выполнять свои обязанности, даже если он поддастся силе удара.

(г) Металлические конструкционные части здания должны быть задействованы в качестве токоотводов. Таким образом, либо система токоотводов расширяется с последующим увеличением запаса прочности, либо можно частично отказаться от использования специально изготовленных токоотводов. Использование металлических конструкций здания является готовым средством обеспечения довольно эффективных токоотводов при незначительных затратах. При условии, что металлические конструкции перекрывают друг друга на площади 10 квадратных сантиметров, отсутствует необходимость в металлическом контакте между ними.

7. При соединении с землей часто придается слишком большое значение необходимости достижения уровня грунтовых вод, в то время как слишком мало внимания уделяется обеспечению хорошего соединения между проводником и самым верхним слоем почвы.

Обращая на это внимание, в некоторых случаях можно значительно сэкономить на стоимости заземления. В отдельных случаях, когда возможно подключение к подземным трубам и т.д., специальное заземление не требуется.

При строительстве домов желательно, чтобы токоотводы всегда были отмечены на чертежах. Это облегчает их установку и снижает стоимость.

Кроме того, это позволяет архитекторам исключать из своих планов конструкции, которые, как правило, увеличивают риск пожара в случае удара молнии в дом.

В случае соломенных крыш необходимы особые меры предосторожности. Они заключаются главным образом в том, чтобы держать молниеприемники и токоотводы на некотором расстоянии от крыши и делать провод такой толщины, чтобы он не разрушался в месте удара молнии. Если это будет сделано, то будет достигнута высокая степень безопасности даже в случае соломенных крыш.

Венгрия

Благодаря доброжелательности ректора Королевского Политехнического университета имени Джозефа в Будапеште, д-р Мориц фон Хор (Moritz von Hoog) любезно предоставил Комитету следующие замечания относительно мер предосторожности против молнии, которые в настоящее время используются в

Венгрии, показывая метод их установки и их эффективность, подтвержденную опытом:

До 1892 года в Венгрии, как и в других странах, использовались только молниеотводы Франклина. Здесь, как и в других местах, было общепринято мнение о том, что абсолютная безопасность эффективности молниеотводов обеспечивается максимально возможным поперечным сечением молниеотвода, небольшим изменением его вершины и хорошим заземлением. Поэтому считалось, что молниеотвод был правильно установлен, когда его вершина и земля были соединены прочными медными проводами или кабелями, и были приняты меры для хорошего контакта с землей.

Однако опыт применения таких молниеотводов, а также систематические наблюдения, проводимые в Англии и английских колониях, а также в Германии, доказано, что молниеотводы по этому принципу не отвечали своему назначению, и в частности, что указания относительно зоны защиты молниеприемника и соотношения между его высотой и размерами защищаемой зоны в его основании не имели практической ценности и совершенно безосновательны.

Неоднократно наблюдалось, что были боковые разряды от проводника в направлении металлических деталей (плохо связанных, по-видимому, с землей), что искры проскакивали через искривления пути токоотвода, и в целом, что здания и другие объекты, защищенные молниеотводами, пострадали от молнии, хотя и в гораздо меньшей степени, как показывает статистика, чем объекты, вообще не оснащенные молниеотводами.

Проф. Мориц фон Хур (Moritz von Hoor), продолжая работу Герца и Лоджа, был первым в нашей стране, кто рассмотрел этот вопрос теоретически и экспериментально на основе новых научных принципов, и он был первым здесь, кто предложил отказаться от стержневых молниеприемников и ввести контурные молниеприемники без острий, подобно клетке Фарадея.

Леопольд Старк (Leopold Stark), главный инженер компании Messrs. Ganz & Co, провел исчерпывающие исследования этого вопроса, и разработал различные практические проекты проводящих сеток с особым акцентом их применения для защиты сельскохозяйственных объектов, особенно подверженных риску удара молнии (см. Villámhárítók különös tokintettel mezőgazdasági épületekre, irta: Stark Lipót gépészmérnök, Budapest, Fővárosi Nyomda, 19:3).

Вот уже несколько лет, в результате этих работ и агитации, начатой вышеупомянутыми учеными, у нас, как на городских зданиях, так и на сельскохозяйственных объектах, широко используются молниезащитные клетки (сетки – прим. перев) такого рода. Они состоят, как предположил сэр Оливер Лодж и задолго до него Фарадей, из колючей проволоки, или прочной железной проволоки, или полос листового железа, которые, следуя контурам крыши и здания или других объектов, ведут к отдельным заземлителям или к общему подземному кольцевому проводнику.

Стоимость таких проводников у нас едва ли больше, чем у молниеприемников с позолоченными остриями и медными токоотводами, и они были признаны значительно эффективнее, чем можно было бы заключить из теоретических рассуждений, так что военные ведомства как в Австрии, так и в Венгрии защитили все арсеналы взрывчатых веществ именно таким образом.

При установке таких проводящих сеток особое внимание уделяется тому, чтобы избежать резких изгибов (возникающих в результате внезапного изменения

направления) проводников заземления, чтобы максимально уменьшить самоиндукцию заземления.

Большое значение также придается хорошим землям, но опыт показывает, что если расположение сетки выполнено хорошо и количество отводов сетки не слишком мало, то даже без очень хорошего заземления, молниеотвод все равно работает удовлетворительно.

В настоящее время у нас используются как система сеток, так и система стержней Франклина; но в последние годы, особенно для сельскохозяйственных объектов, система сеток становится все более и более популярной, и, вероятно, в скором времени все новые устройства будут такого рода.

Германия

Ниже приводится информация из Регламента Берлинского электротехнического общества, изданного в 1901 году:

1. Молниеприемники должны состоять из стержней. Вершины башен или фронтонов, края конька крыши, вершины дымовых труб и другие высокие части зданий должны быть преобразованы в молниеприемники или оборудованы подходящими молниеприемниками. Молниеприемники должны быть металлически соединены с токоотводами и землей; токоотводы должны проходить по всему зданию, особенно на крыше, и по возможности со всех сторон, а затем проходить от молниеприемников к земле по самому прямому маршруту, избегая, по возможности, резких поворотов. Заземлители должны состоять из металлических проводников, соединенных с токоотводами здания, и должны быть погружены в землю как можно глубже, предпочтительно там, где земля влажная.

2. Металлические части здания и массы металла в нем и на нем, особенно те, которые соприкасаются с землей и имеют большие поверхности (например, трубы), должны быть соединены друг с другом как можно больше, а также с токоотводом.

Искусственные (*специально изготовленные* – прим. переводчика) молниеприемники и токоотводы становятся ненужными, если соответствующие металлические части здания отвечают требованиям пунктов 1, 4 и 5.

Как для совершенствования системы, так и для снижения затрат при возведении новых зданий следует учитывать вопрос об использовании труб в качестве токоотводов, обеспечивая также максимально возможное использование всех металлических частей здания в защитных целях.

3. Защита, обеспечиваемая системой молниезащиты, тем больше, чем полнее все выступающие части здания защищены молниеприемниками, чем больше количество молниеприемников и токоотводов и чем больше протяженность соединений с землей. Вообще говоря, ущерб от молнии уменьшается, если все металлические части зданий значительной протяженности соединены между собой, особенно если самые высокие части *электрически* (прим. переводчика) соединены с землей, даже если эти соединения не сделаны специально с целью защиты от молнии.

4. Искусственные проводники из железа не должны иметь площадь сечения менее 50 мм^2 , естественные, *такие как металлоконструкции здания* (прим. переводчика) - не менее 100 мм^2 . Для медных проводников достаточно площади сечения 25 мм^2 ; для цинковых проводников площадь сечения должна быть в полтора, а для свинцовых проводников - в три раза больше площади сечения

железных проводников. Проводники должны быть надежно закреплены, чтобы противостоять сильному ветру.

5. Соединения проводников между собой и соединения с проводниками должны быть прочными, иметь хороший электрический контакт и иметь как можно большую поверхность. Несваренные и непаянные соединения должны иметь поверхность контакта площадью не менее 10 см².

Система молниеотвода должна быть многократно протестирована; и когда в здании производятся изменения (например, достройка), следует учитывать необходимость изменений в системе молниеотвода.

Баурат Финдейзен (Baurat Findeisen) из Штутгарта выводит из определенных статистических данных об ударах молнии в Вюртемберге, что существует некоторое сомнение в эффективности стержневых молниеотводов для перехвата и защиты от молнии, и что нет смысла измерять сопротивление молниеотводов, поскольку высокое напряжение молнии преодолело бы даже высокие степени сопротивления. Он предполагает, что было бы достаточно выполнить следующее:

- соединить металлическое покрытие на коньке крыши и в других местах с желобами и трубами для дождевой воды,

- дымовую трубу, в которую так часто попадает молния, защитить тросом (3-4 мм) из оцинкованной железной проволоки, расположенным на высоте от половины до одного метра над дымоходом и соединенным проводником с металлическим покрытием крыши;

- водопроводные трубы использовать в качестве заземлителей;

- прочный трос, проходящий вдоль этих труб, на нижнем конце должен быть раскручен и заглублен в форме веера примерно на полметра вниз в землю. Четырех таких заземлителей по углам здания, подлежащего защите, было бы достаточно. Если требуются дополнительные меры предосторожности, этот «веер» может быть заменен оцинкованным железным листом. Молниеотводы этого типа доказали свою эффективность.