

**Характеристики грозовой деятельности и параметры молнии. Первоначальный механизм электризации. Атмосферные перенапряжения . Грозопоражаемость контактной сети**

# Природа молнии

- **Молния** - это мощный электрический разряд, возникающий при достаточно сильной электризации облаков или туч между собой или между тучей и землей.

## Как происходит образование заряда в грозовом облаке?

- Мельчайшие кристаллы льда устремляются с восходящими потоками воздуха в верхнюю часть облака, развивая скорость до 150 километров в час и многократно соударяясь с другими кристаллами. При этих столкновениях мелкие кристаллы льда теряют электроны и приобретают положительный заряд. В то же время более тяжелые частицы льда приобретают отрицательный заряд и опускаются в нижнюю часть облака. Таким образом создается разделение зарядов с разностью потенциалов в миллионы вольт, которая и является причиной молний.

# Фотографии молнии





# Разряд молнии на территории ПС



# Процесс развития наземной молнии

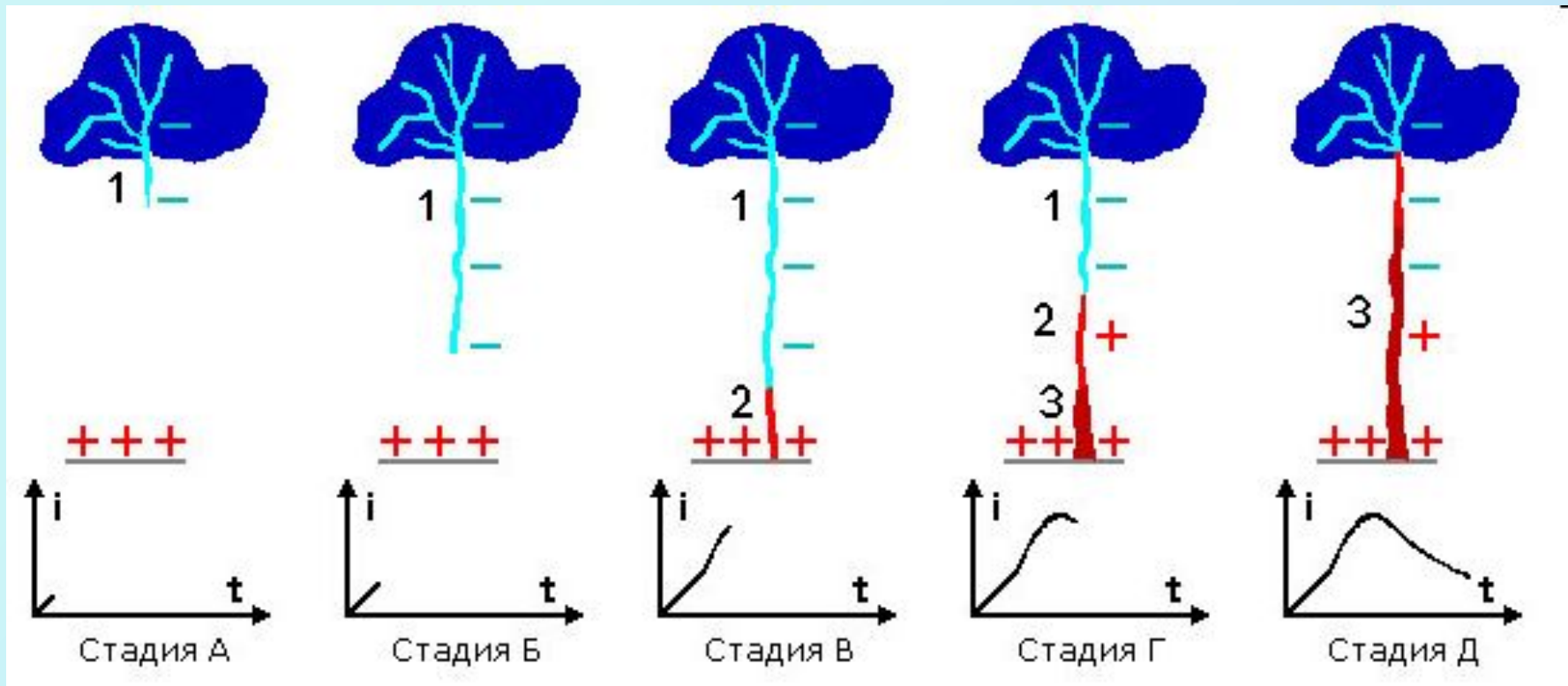
- На первой стадии, в зоне, где электрическое поле достигает критического значения, начинается ударная ионизация На первой стадии, в зоне, где электрическое поле достигает критического значения, начинается ударная ионизация, создаваемая вначале свободными электронами На первой стадии, в зоне, где электрическое поле достигает критического значения, начинается ударная ионизация, создаваемая вначале свободными электронами, всегда имеющимися в небольшом количестве в воздухе, которые под действием электрического поля На первой стадии, в зоне, где электрическое поле достигает критического значения, начинается ударная ионизация, создаваемая вначале свободными электронами, 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. Таким образом возникают электронные лавины На первой стадии, в зоне, где электрическое поле достигает критического значения, начинается ударная ионизация, создаваемая вначале свободными электронами, 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. Таким образом возникают электронные лавины

# Процесс развития наземной молнии

- 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 ~100000 километров в секунду, а в конце уменьшающейся до ~10 000 километров в секунду. Температура канала при главном разряде может превышать 25 000 °С. 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.



## Отдельные стадии развития обратного разряда и изменение во времени тока молнии



- А - начальная стадия лидерного разряда;
- Б - последняя стадия лидерного разряда;
- В - возникновение зоны интенсивной ионизации вблизи поверхности земли;
- Г - промежуточная стадия развития обратного разряда;
- Д - заключительная стадия развития обратного разряда;
- 1 - канал лидера;
- 2 - зона перестройки канала;
- 3 - канал обратного разряда.



## Воздействие ударов молнии

Воздействия молнии принято подразделять на две основные группы:

- **первичные**, вызванные прямым ударом молнии;
- **вторичные**, индуцированные близкими ее разрядами или занесенные в объект протяженными металлическими коммуникациями.

## Прямой удар молнии вызывает следующие воздействия на объект:

- **электрические**, связанные с поражением людей или животных электрическим током и появлением перенапряжения на пораженных элементах.
- **термические**, связанные с резким выделением теплоты при прямом контакте канала молнии с содержимым объекта и при протекании через объект тока молнии.
- **механические**, обусловленные ударной волной, распространяющейся от канала молнии, и электродинамическими силами, действующими на проводники с токами молнии.

## Вторичные проявления молнии

Вторичные проявления молнии связаны с действием на объект электромагнитного поля близких разрядов. Обычно это поле рассматривают в виде двух составляющих:

- первая (**электростатическая**) обусловлена перемещением зарядов в лидере и канале молнии,
- вторая (**электромагнитная**) - изменением тока молнии во времени.

Электростатическая индукция проявляется в виде перенапряжения, возникающего на металлических конструкциях объекта и зависящего от тока молнии, расстояния до места удара и сопротивления заземлителя.

Электромагнитная индукция связана с образованием в металлических контурах ЭДС, пропорциональной крутизне тока молнии и площади, охватываемой контуром.

# Нормативные документы по молниезащите

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ);
- **РД 34.21.122-87** Инструкция по молниезащите зданий и сооружений;
- **СО 153-343.21.122-2003** Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций;
- **РД 153-34.3-35.125-99** Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений;
- **ГОСТ Р 50571.19-2000** Электроустановки зданий Часть 4 Требования по обеспечению безопасности Глава 44 Защита от перенапряжений Раздел 443 Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.



# Комплекс средств молниезащиты

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система (МЗС)) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС).

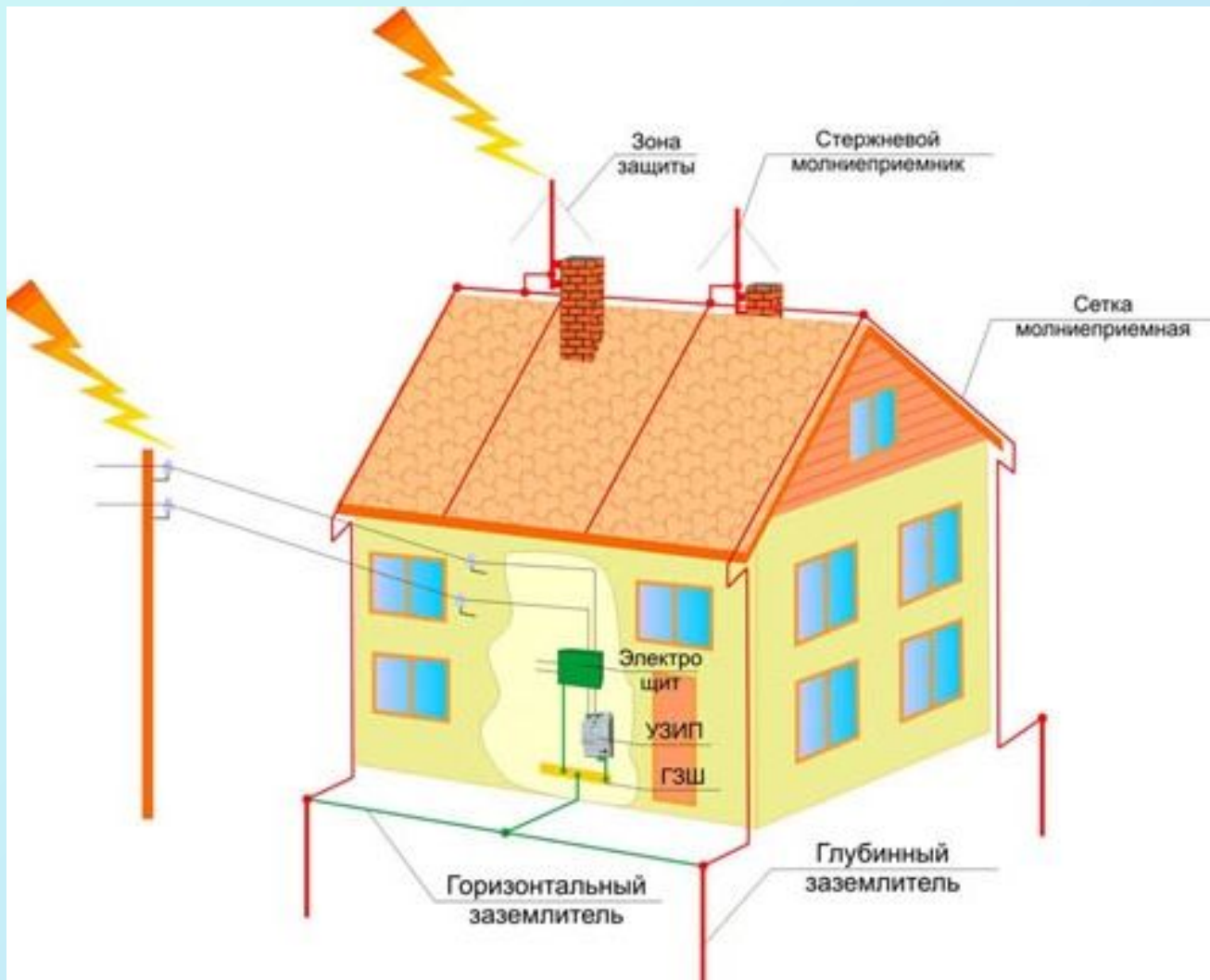
- Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие молниеотводы - стержневые или тросовые, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), или может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью.
- Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта.

# Внешняя молниезащитная система (МЗС)

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей:

- **Молниеприемник** - часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молний.
- **Токоотвод (спуск)** - часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.
- **Заземлитель** - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду.

# Внешняя молниезащитная система



# Молниеприемники: искусственные и естественные

Искусственные молниеприемники – это специально установленные, в том числе и на объекте, молниеприемники.

Естественные молниеприемники:

- а) металлические кровли и металлические конструкции крыши
- в) металлические элементы типа водосточных труб, украшений, ограждений по краю крыши и т.п.,
- г) технологические металлические трубы и резервуары,

Естественный молниеприемник должен соответствовать определенным требованиям по толщине, сечению металла и проплавление или прожог этого металла не должен привести к опасным или недопустимым последствиям;



# Классификация молниеотводов по типу молниеприемников

Молниеотводы разделяют на стержневые, тросовые и сетки.

**Стержневые** молниеотводы представляют собой вертикальные стержни (мачты), установленные на заземленных конструкциях объекта (сооружения) или рядом с ним и соединенные с заземлителем.

**Тросовые** молниеотводы имеют молниеприемник в виде горизонтально подвешенных тросов, соединенные с заземлителем через токоотводы.

**Сетки** состоят из продольных и поперечных горизонтальных электродов, соединенных в местах пересечений.

## Расположение токоотводов

В целях снижения вероятности возникновения опасного искрения токоотводы должны располагаться таким образом, чтобы между точкой поражения и землей:

- а) ток растекался по нескольким параллельным путям;
- б) длина этих путей была ограничена до минимума.

Желательно, чтобы токоотводы равномерно располагались по периметру защищаемого объекта.

По возможности они прокладываются вблизи углов зданий.

Токоотводы прокладываются по прямым и вертикальным линиям, так чтобы путь до земли был по возможности кратчайшим. Не рекомендуется прокладка токоотводов в виде петель.

# Заземлители

Во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель молниезащиты следует совместить с заземлителями электроустановок и средств связи. Если эти заземлители должны быть разделены по каким-либо технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов.

Целесообразно использовать следующие типы заземлителей: один или несколько контуров, вертикальные (или наклонные) электроды, радиально расходящиеся электроды или заземляющий контур, уложенный на дне котлована, заземляющие сетки.

Сильно заглубленные заземлители оказываются эффективными, если удельное сопротивление грунта уменьшается с глубиной и на большой глубине оказывается существенно меньше, чем на уровне обычного расположения.

## Основные характеристики разряда молнии в расчетах грозозащиты

При отрицательном ударе молнии вслед за главным разрядом обычно наблюдаются повторные разряды по тому же каналу.

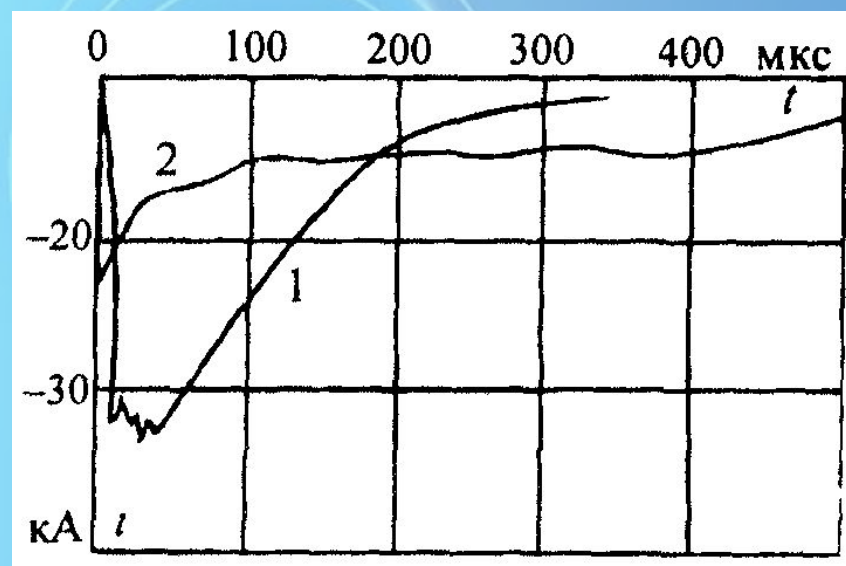
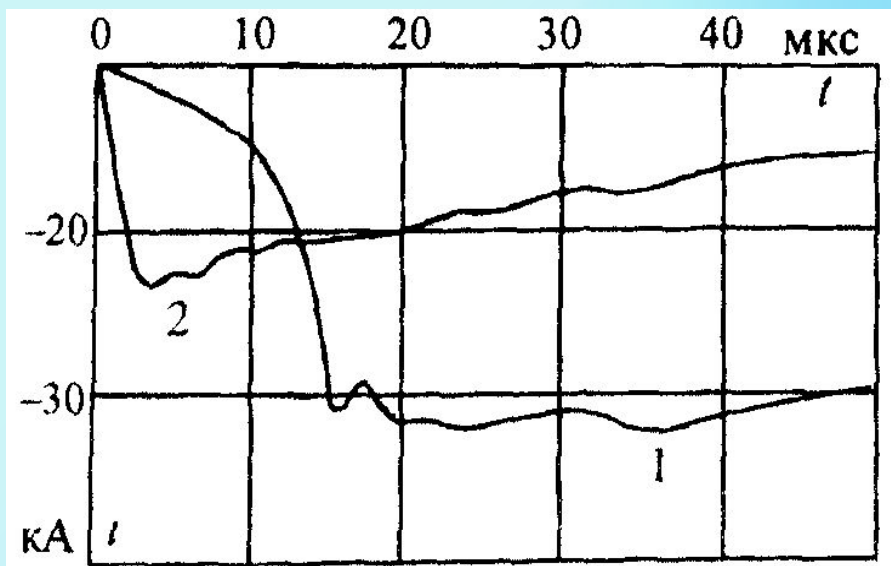
В отдельных случаях наблюдалось до тридцати и более повторных разрядов в одном ударе молнии, однако 50% ударов содержит не более двух-трех импульсов.

Положительные удары молнии, составляющие в среднем 10%, бывают, как правило, однократные.

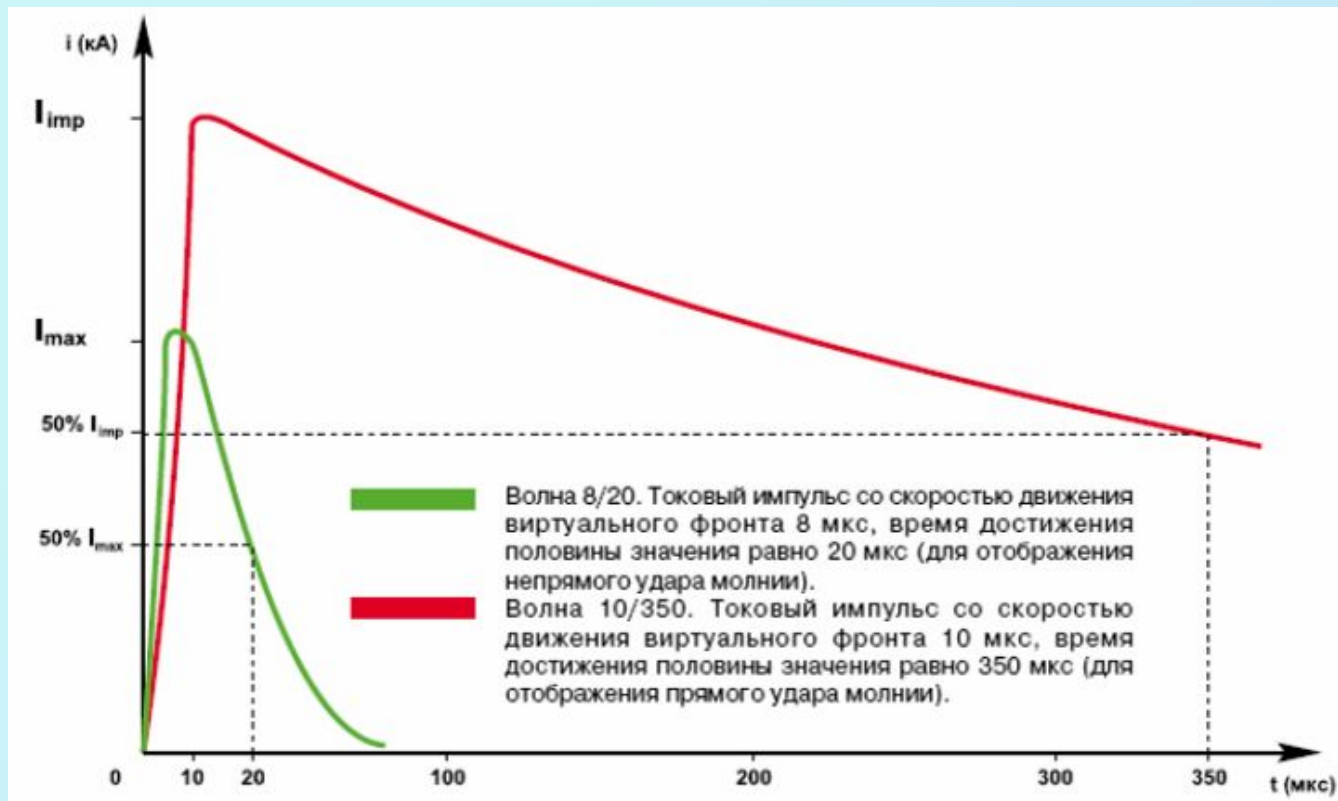


# Характерные осциллограммы импульсов тока

первой (1) и последующих (2) составляющих многократного разряда молнии отрицательной полярности в двух масштабах времени.



# Форма волны тока молнии

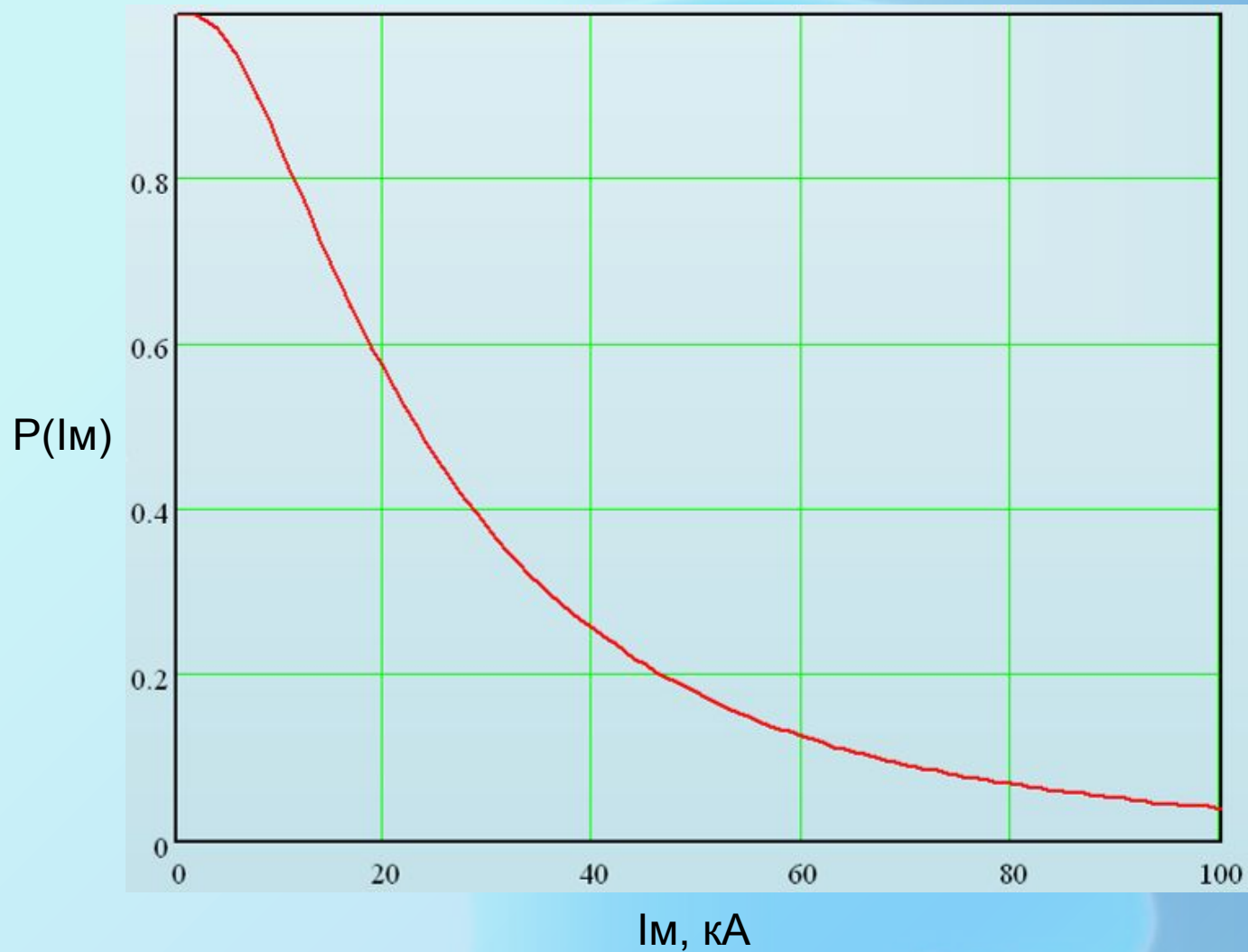


Импульс с формой волны 10/350 мкс соответствует импульсу тока при прямом ударе молнии (ПУМ) в систему молниезащиты здания или в воздушную линию (десятки-сотни килоампер).

Импульс с формой волны 8/20 мкс соответствует импульсу тока, наведенному в металлических конструкциях объекта или в линии электропередач при межоблачных разрядах или при удаленном ударе молнии (десятки-сотни килоампер).

Импульс с формой волны 1,2/50 мкс соответствует остаточным перенапряжениям и может достигать амплитуды в десятки килоампер.

# Логнормальный закон распределения амплитуд тока молнии



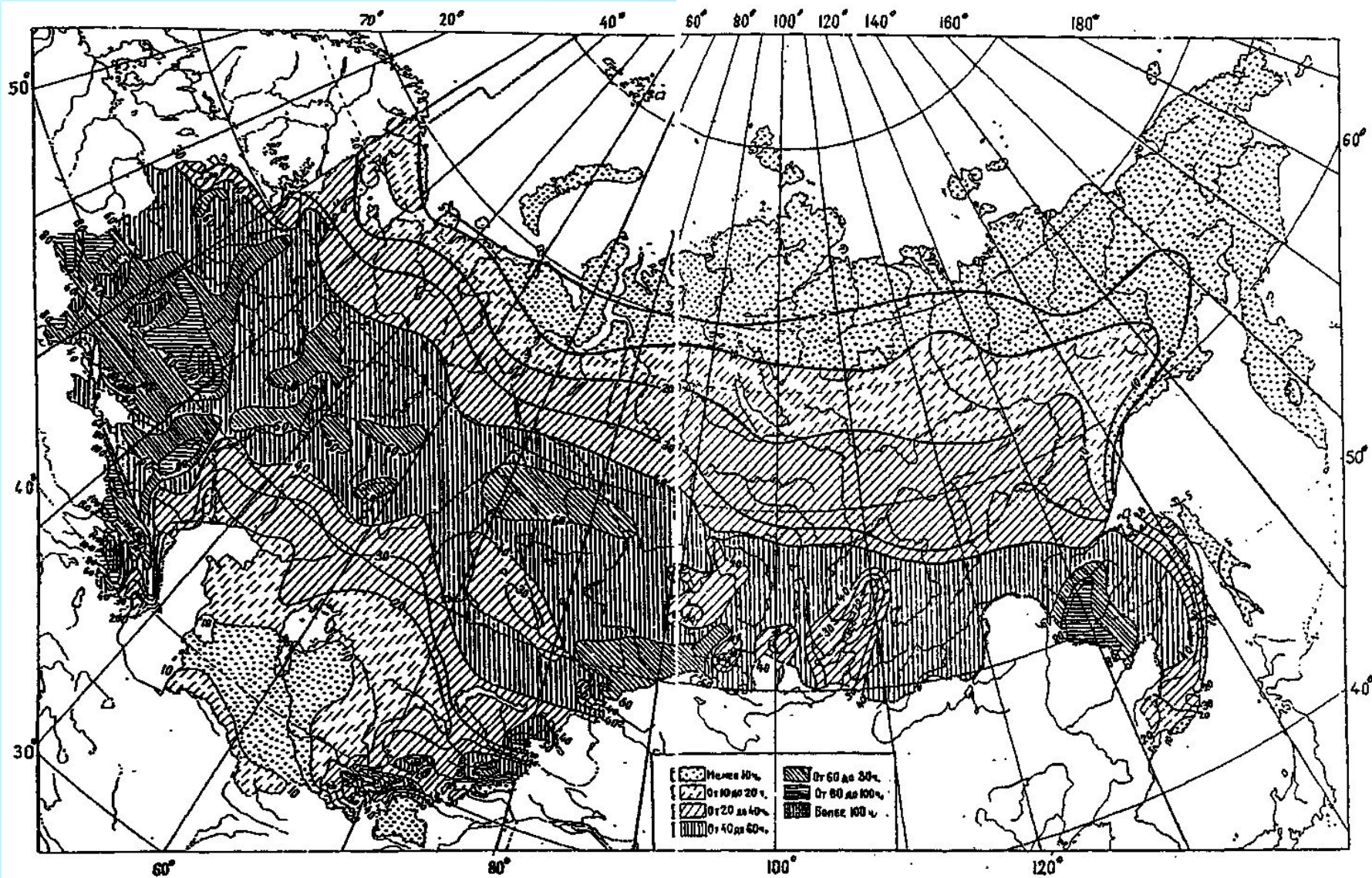
# Интенсивность грозовой деятельности

- Наиболее информативной для расчета грозопоражаемости энергетических объектов характеристикой является плотность разрядов молнии на землю  $\rho_o$ ;
- Число грозовых дней  $N_{г.д}$  - наиболее распространенный и длительно наблюдаемый во многих странах показатель грозовой активности;
- Продолжительность ежегодной грозовой деятельности в часах  $N_{г.ч}$  наблюдается в ряде стран (30 лет и дольше), в том числе и на территории бывшего СССР;
- Отмечена корреляция  $\rho_o$  и  $N_{г.ч}$ , описываемая для равнинных районов зависимостью

$$\rho_o = 0,05N_{г.ч}$$



# Карта годовой продолжительности гроз в часах для территории бывшего СССР



## Защита от прямых ударов молнии

Согласно принятой расчетной модели невозможно создать идеальную защиту от прямых ударов молнии, полностью исключающую прорывы на защищаемый объект.

Однако на практике осуществимо взаимное расположение объекта и молниеотвода, обеспечивающее низкую вероятность прорыва, например 0,1 и 0,01, что соответствует уменьшению числа поражений объекта примерно в 10 и 100 раз по сравнению с незащищенным объектом.

Для большинства современных объектов при таких уровнях защиты обеспечивается малое количество прорывов за весь срок их службы.

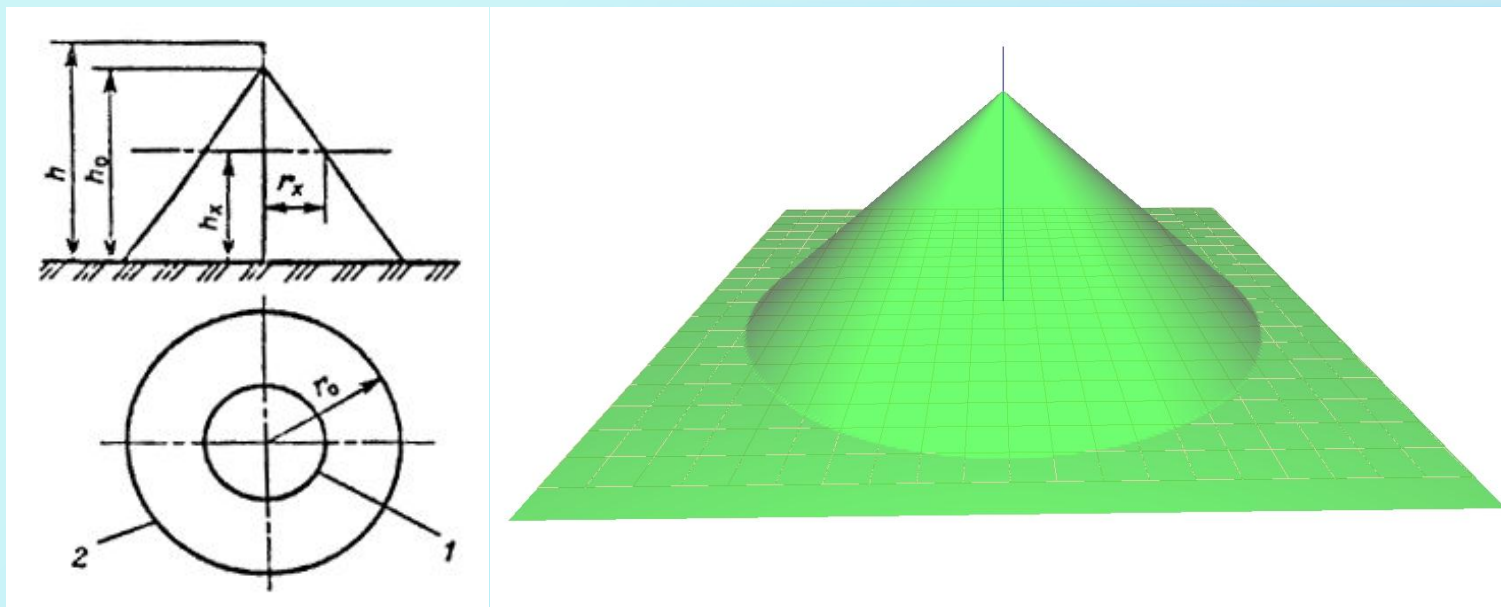
## Определение зон защиты молниеотводов

Зона защиты молниеотвода - пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения. Наименьшей и постоянной надежностью обладает поверхность зоны защиты; в глубине зоны защиты надежность выше, чем на ее поверхности.

Зона защиты типа А (РД 34.21.122-87): обладает надежностью 99,5% и выше, а типа Б - 95 % и выше.



# Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода



Зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов высотой  $h \leq 150$  м имеют следующие габаритные размеры (РД 34.21.122-87):

Зона А:

$$\begin{aligned}h_0 &= 0,85h, \\r_0 &= (1,1 - 0,002h)h, \\r_x &= (1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85).\end{aligned}$$

Зона Б:

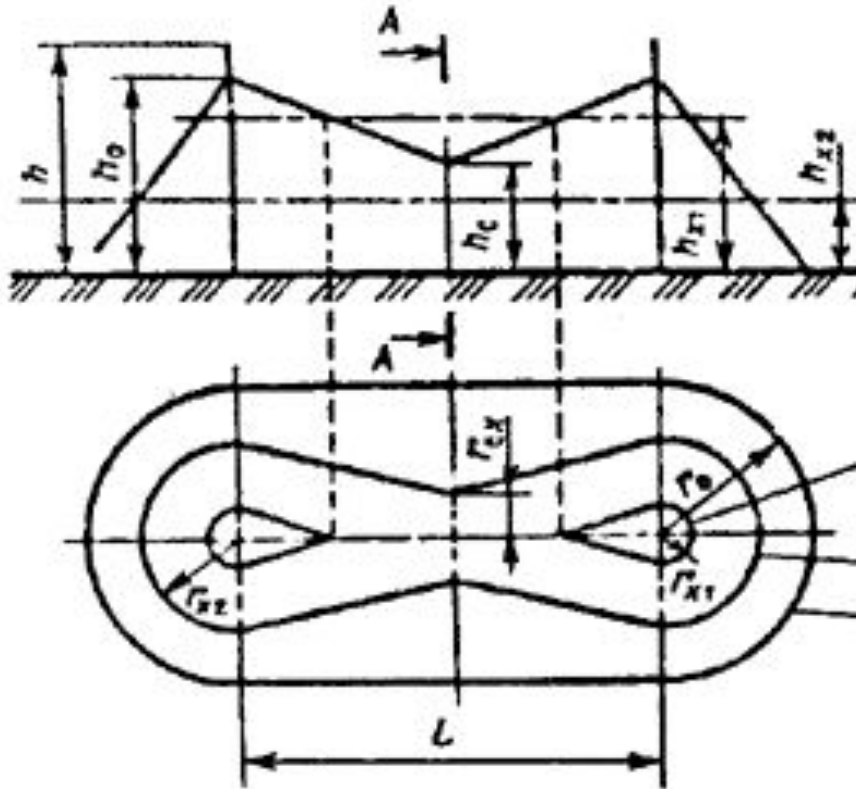
$$\begin{aligned}h_0 &= 0,92h; \\r_0 &= 1,5h; \\r_x &= 1,5(h - h_x/0,92).\end{aligned}$$



# Защитная зона одиночной антенной мачты



# Зона защиты двойного стержневого молниеотвода



Зона А:  
при  $L \leq h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(L - h);$$

$$r_c = r_0;$$

$$r_{cx} = r_0(h_c - h_x) / h_c;$$

при  $2h < L \leq 4h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(L - h);$$

$$r_c = r_0 \left[ 1 - \frac{0,2(L - 2h)}{h} \right];$$

$$r_{cx} = r_c(h_c - h_x) / h_c;$$

Зона Б:  
при  $L \leq h$

$$h_c = h_0;$$

$$r_c = r_0;$$

$$r_{cx} = r_x;$$

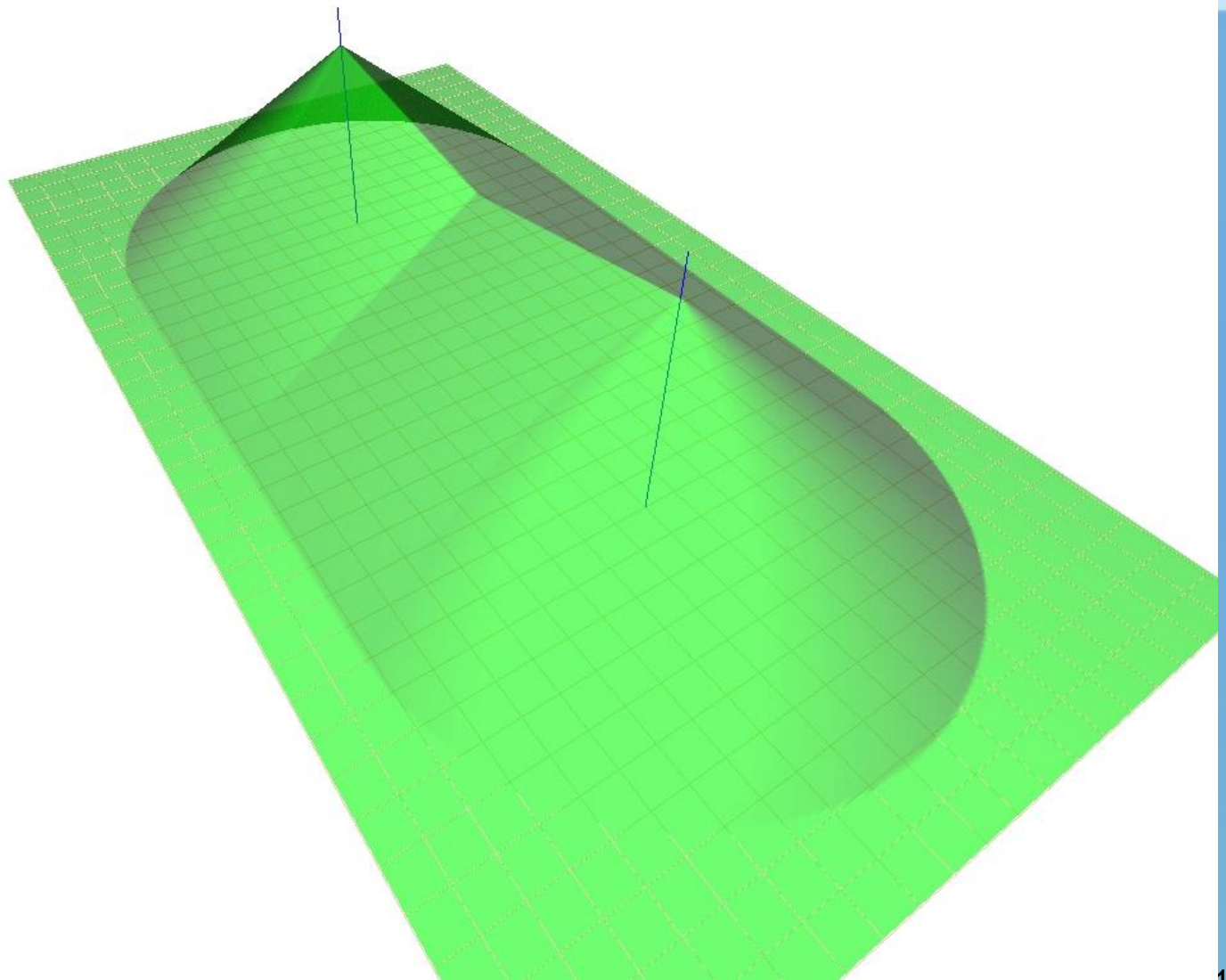
при  $h < L \leq 6h$

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h);$$

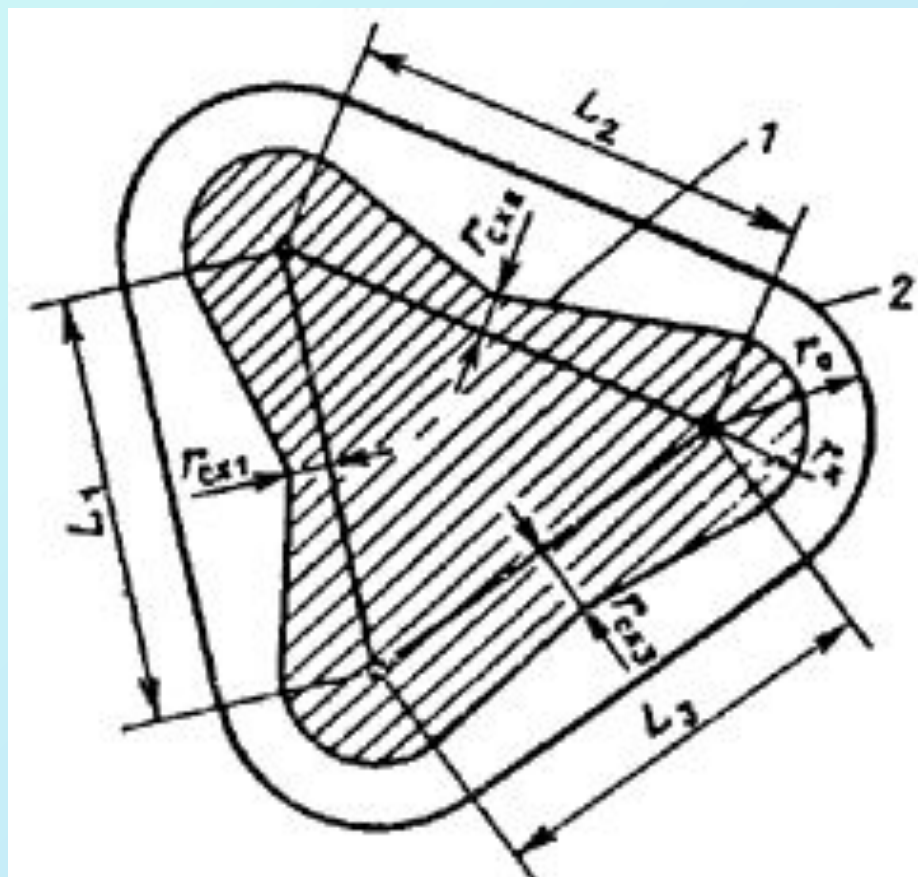
$$r_c = r_0;$$

$$r_{cx} = r_0(h_c - h_x) / h_c;$$

# Зона защиты двойного стержневого молниеотвода



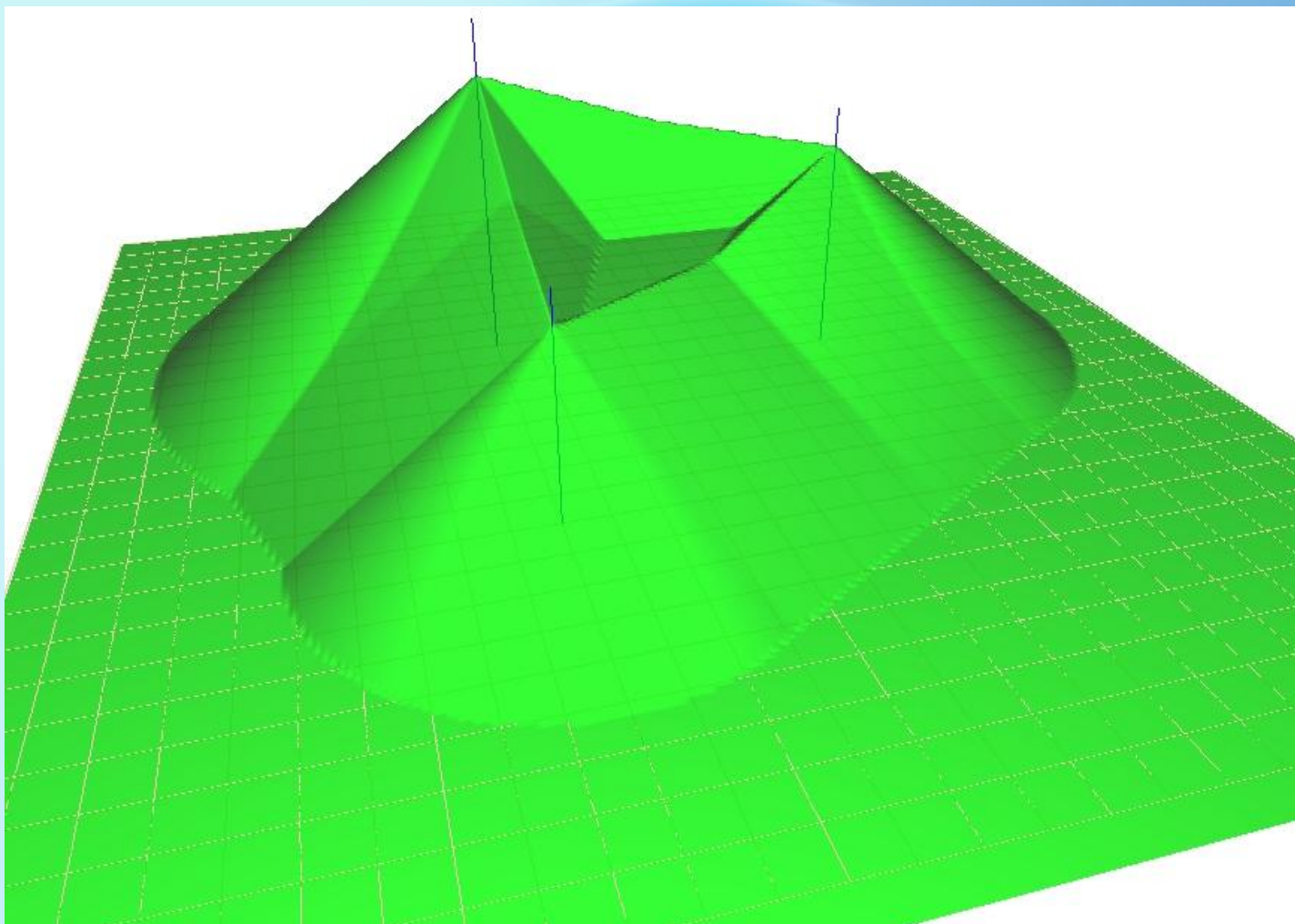
# Зона защиты многократного молниеотвода



Основным условием защищенности одного или нескольких объектов высотой  $h_x$  с надежностью, соответствующей надежности зоны А и зоны Б, является выполнение неравенства  $r_{сх} > 0$  для всех попарно взятых молниеотводов.

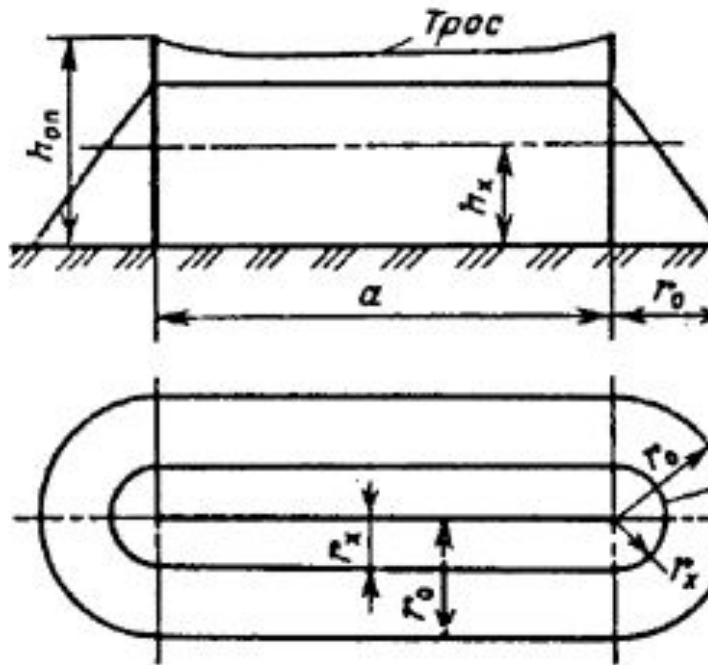


## Общая зона защиты трех стержневых молниеотводов





# Зона защиты тросового молниеотвода



Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода имеют следующие габаритные размеры.

Зона А:

$$h_0 = 0,85h;$$

$$r_0 = (1,35 - 0,0025h)h$$

$$r_x = (1,35 - 0,0025h)(h - h_x / 0,85)$$

Зона Б:

$$h_0 = 0,92h;$$

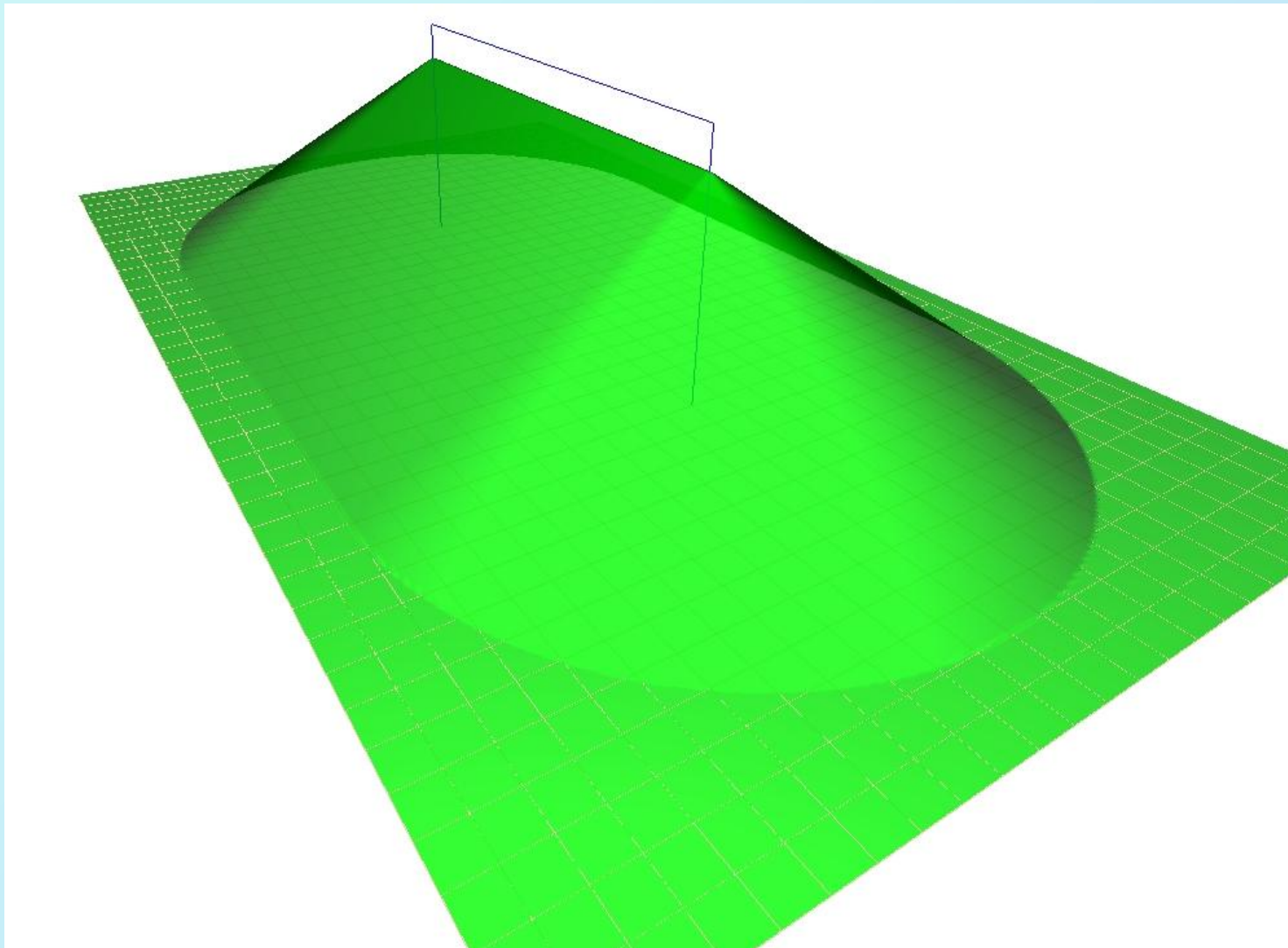
$$r_0 = 1,7h;$$

$$r_x = 1,7(h - h_x / 0,92)$$

Для зоны типа Б высота одиночного тросового молниеотвода при известных значениях  $h_x$  и  $r_x$  определяется по формуле

$$h = (r_x + 1,85h_x) / 1,7$$

# Зона защиты тросового молниеотвода

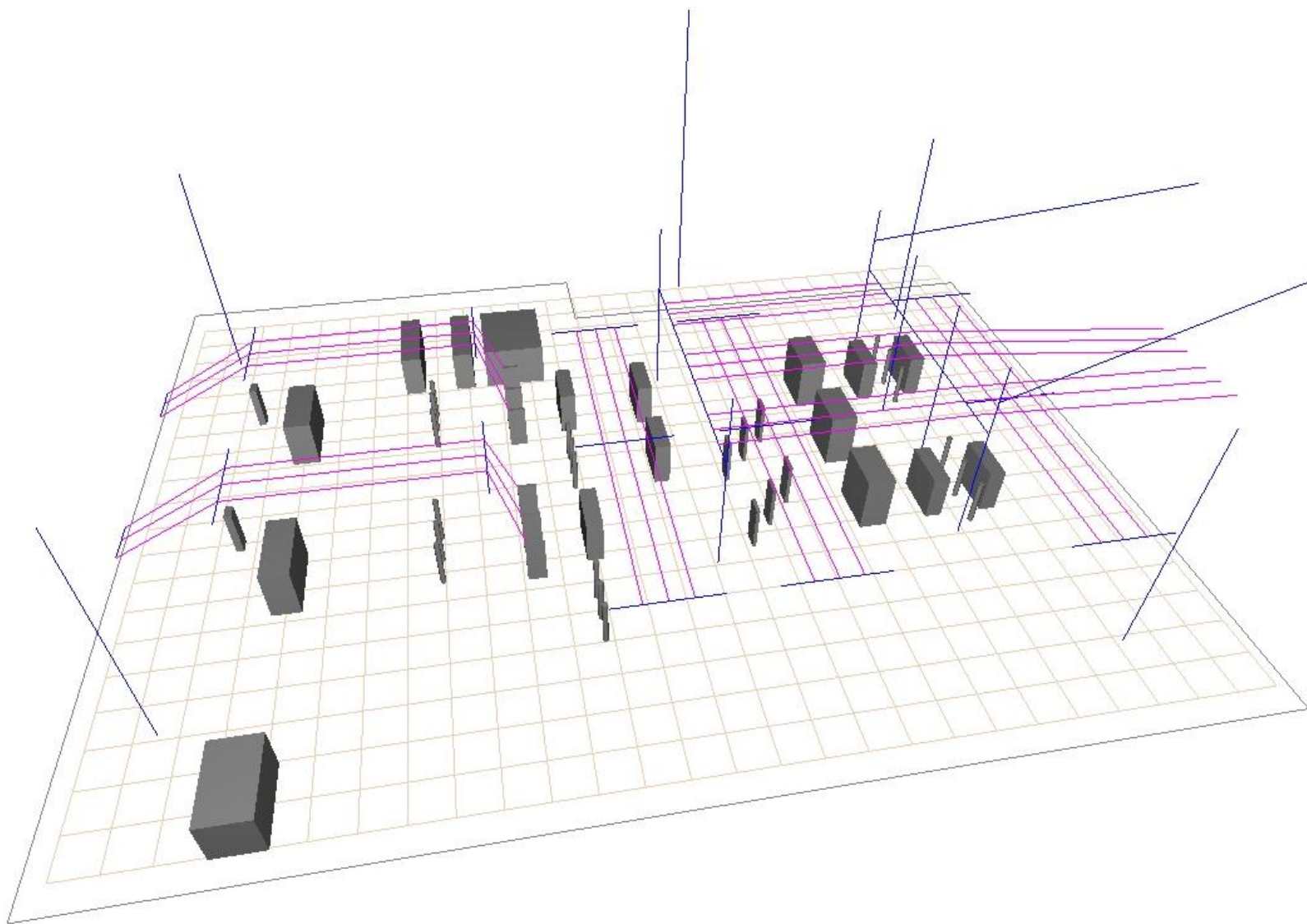


# Программа расчета зон молниезащиты, разработана в УНЛ ЭТМ НГТУ

The screenshot displays the PARZON-M software interface, which is used for calculating lightning protection zones. The main window is titled "Конфигурация системы молниезащиты" (Lightning protection system configuration) and shows a 2D grid-based layout of a facility with various structures and lightning rods. The grid has a horizontal axis from 0 to 60 and a vertical axis from 0 to 100. The layout includes several rectangular buildings, vertical lightning rods, and horizontal lines representing protection zones or conductors. A 3D view of the same layout is shown in an inset window, providing a perspective view of the structures and rods. The software interface includes a menu bar (File, Схема, Расчет, Сервис, Справка), a toolbar with icons for file operations and calculations, and a status bar at the bottom showing statistics: "Стержн.:11, Тросов:19, Линий:48, Прямоуг.:31, Эллипсов:18". The status bar also displays coordinates "X:150, Y:80". The right side of the interface features a control panel with the following options:

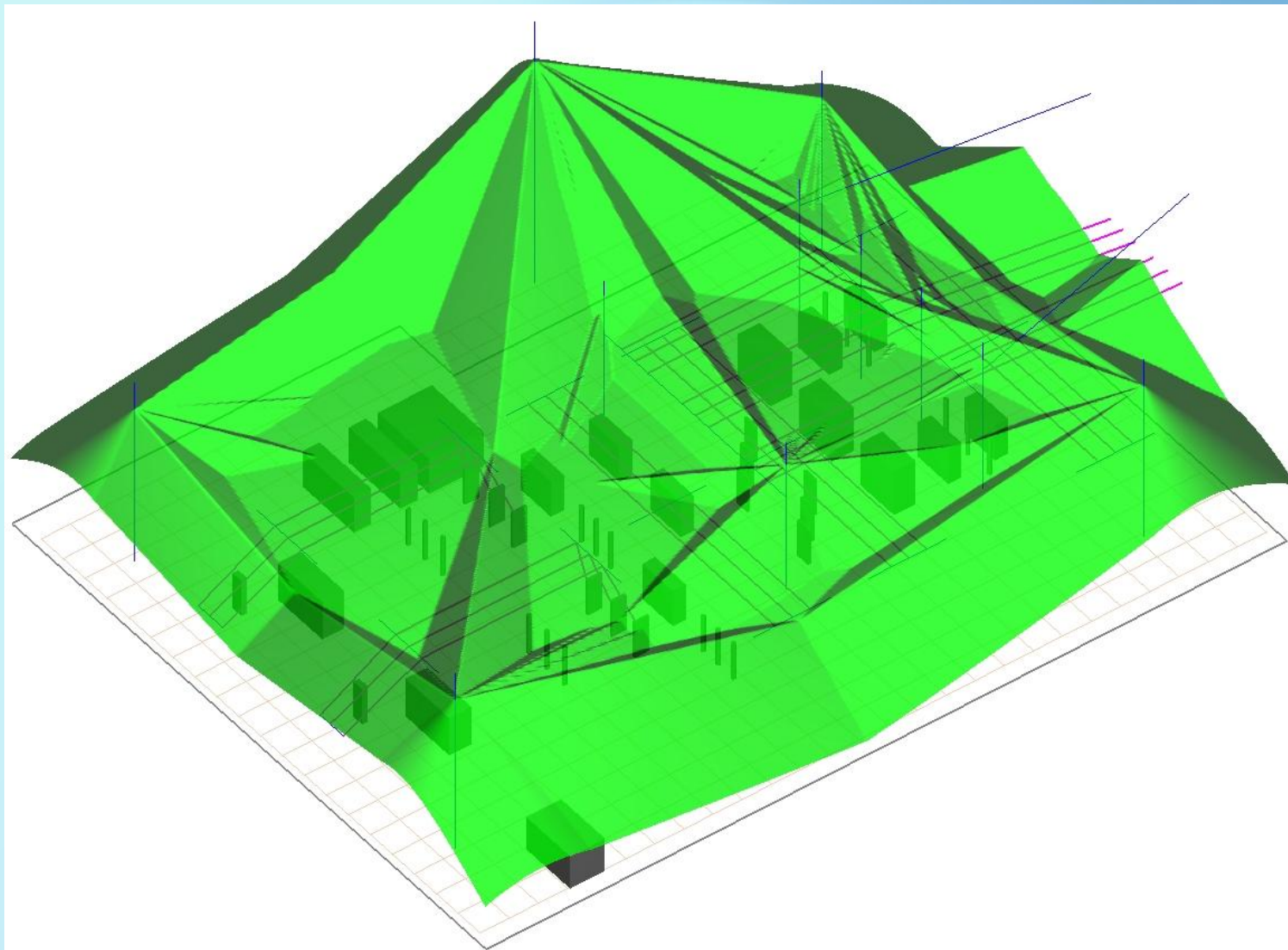
- Загрузка** (Load)
- Зоны защиты:**  Зона А,  Зона Б
- Вид зон:**  3D,  2D
- Прозрачность:** Sliders for zones A and B.
- Зоны по высоте:** Sliders for height zones.
- Применить** (Apply)
- Разное** (Other):  Секунная плоск. (Secondary plane),  Показать (Show),  Высота: 0 (Height: 0),  Показать пол (Show floor).

# Расположение оборудования и МЗС ПС 220 кВ





# Результат расчета зон защиты (зона А по РД 34.21.122-87)







# **Зонная концепция защиты от вторичных проявлений МОЛНИИ**

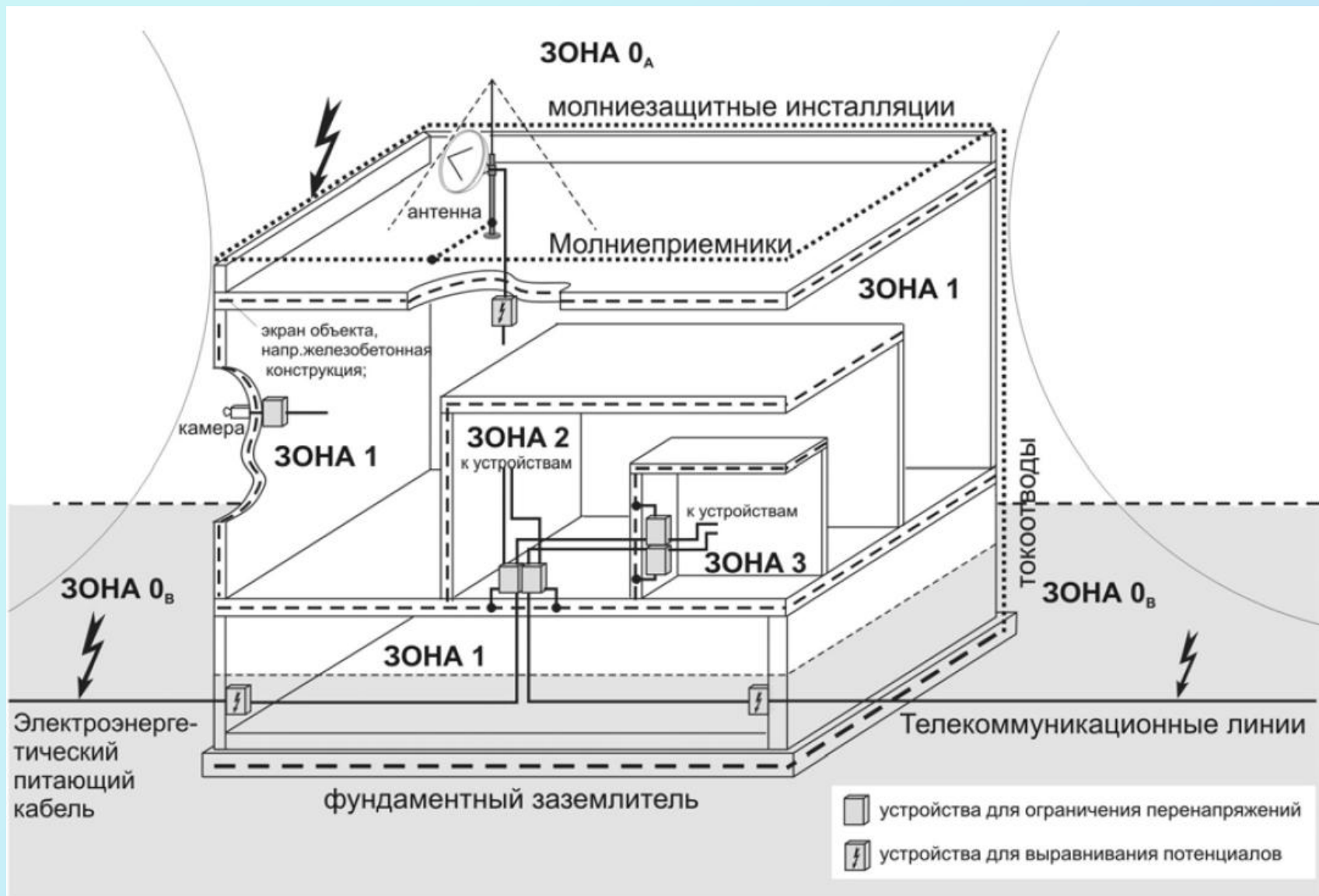
## Зонная концепция защиты от вторичных проявлений молнии

- Общий принцип защиты основывается на создании внутри исследуемого объекта зон, в которых существует определенная степень подверженности устройств на воздействие:
- напряжений и импульсных токов в сети низкого напряжения;
  - напряжений и импульсных токов в системах передачи сигналов;
  - импульсного электромагнитного поля (непосредственное воздействие на устройства в отдельных зонах).

В объекте, разделенном на зоны, при переходе из одной зоны в другую происходит ограничение пиковых величин перенапряжений, возникающих в установках низкого напряжения, и импульсов электромагнитного поля до уровней, допустимых в данной зоне.

В принятых обозначениях зоны с наибольшим риском обозначены как зоны 0А и 0В. Последующие зоны обозначаются номерами 1, 2, 3, ... Чем выше номер зоны, тем ниже значения допустимых уровней импульсных помех.

# Пример разделения объекта на зоны



## Характеристики отдельных зон

Номер зоны	Пиковое значение импульсного напряжения в сети питания, кВ	Пиковое значение импульсного напряжения в линиях передачи сигналов, кВ
Зона 0 <sub>В</sub>	10	6
1	6	4
2	4	2
3	2,5	1
4	1,5	0,5



# Соединения проводников с шиной выравнивания потенциалов в месте их ввода в объект

