

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СТЫГИВАНИЯ МОЛНИИ ПО НАВЕДЕННОМУ ЗАРЯДУ НАЗЕМНОГО ОБЪЕКТА

Шишигин С.Л., Мещеряков В.Е.

ctod28@yandex.ru

Вологодский государственный университет,
ООО «ЗУМ»

Грозопоражаемость наземных объектов

Среднее число ударов молнии в систему «молниеотвод-объект» [МЭК-62305]

$$N_d = N_g \cdot S_a \cdot C_d \cdot 10^{-6},$$

где N_g - плотность молниевых разрядов; S_a - площадь стягивания;

C_d - поправочный коэффициент, учитывающий окружение объекта и рельеф местности

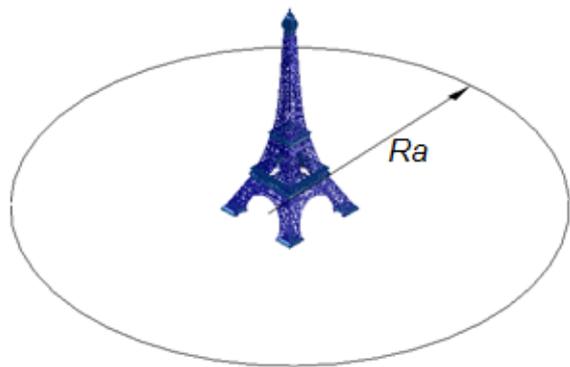
1. Площадь стягивания молнии S_a объектами высотой h

Молниеотвод, башня: $S_a = \pi R_a^2$

Радиус стягивания по МЭК

Не очевидно, поскольку

$$R_a = 3h$$



Воздушная линия длиной L

$$S_a = 2R_a L$$

Здание с основанием $a \times b$

$$S_a = (a + 2R_a)(b + 2R_a)$$

РД -99

РД 153-34.3-35.125-99

$$R_a = 20 \cdot h^{0.426}, \quad 25 < h < 125$$

Эриксон

$$R_a = 16.6 \cdot h^{0.55}, \quad h < 100$$

Ризк

$$R_a = 2.57 \cdot I^{0.615} h^{0.422}, \quad 1 < I < 31, \quad 10 < h < 50$$

Курэй

$$R_a = 2.27 \cdot I^a h^{0.46}, \quad a = 0.5 h^{0.05}, \quad 3 < I < 90, \quad 5 < h < 50$$

МКС

$$R_a = h \cdot (2D(I)/h - 1)^{0.5}, \quad D(I) = 10I^{0.65}, \quad D(I) > h$$

1). R_a пропорционально $h^{0.5}$.

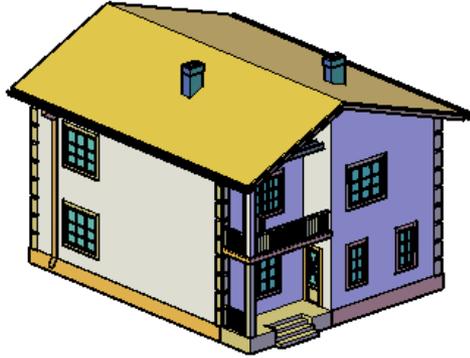
2). R_a зависит от тока молнии I сильнее, чем от h

Влияние окружения объекта на площадь стягивания.

Коэффициент C_d

$C_d=0.25$. Объект окружен более высокими объектами:

$C_d=1$



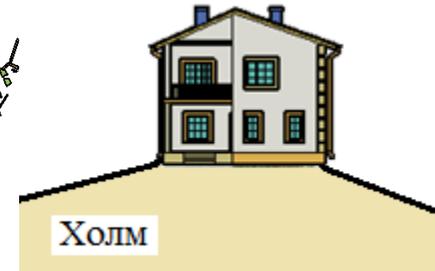
$C_d=0.5$ (?). Объект окружен объектами той же высоты или ниже:



$C_d=?$. Объект окружен частично:



$C_d=2$ (?).



Вывод: коэффициент C_d выбирается на основании рекомендаций качественного характера и не отражает многие практические ситуации.

Методы имитационного моделирования

Стохастическая модель лидера

Прямолинейная модель лидера

Две стадии ориентировки:

- 1). Электростатическое стягивание;
- 2) Развитие встречного лидера



Ориентировка начинается в момент возникновения встречного лидера

Критерии возникновения и развития встречного лидера

- 1). Потенциал;
- 2). Напряженность;
- 3). Заряд короны $>$ критической величины
- 4). Электро-геометрическая модель

Вывод. Методы имитационного моделирования трудоемки и пока далеки от инженерного применения.

Моделирование на основе наведенного заряда

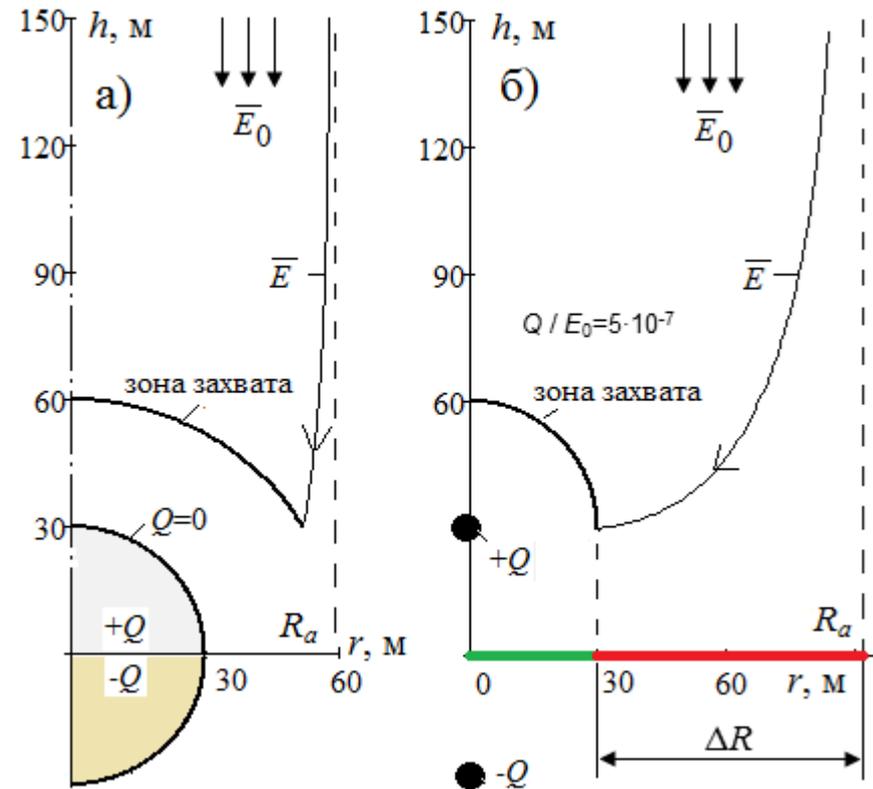
Модель усредненного лидера

- 1). Лидер молнии развивается в среднем по направлению силовых линий внешнего поля [РД-99, Э.М.Базелян]
- 2). Наведенный заряд объекта притягивает (стягивает) молнию до зоны захвата. **НАСКОЛЬКО СИЛЬНО?**



Модельная задача. ШАР

В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ.



Вывод. 1). Площадь стягивания $S_a = S + \Delta S$ больше площади проекции зоны захвата на поверхность земли S на величину ΔS , которая может быть значительна для высоких объектов. 2). ΔS определяется относительным наведенным зарядом Q/E_0 . 3). Решение задач грозозащиты следует начинать с построения зоны захвата.

Метод Г.Н.Александрова (метод наведенного заряда)

Эксперимент Александрова и Кадзова. Вероятность поражения молнией объекта определяется относительной величиной заряда Q , наведенного на нем развивающимся лидером молнии q

$$p = -Q/q$$

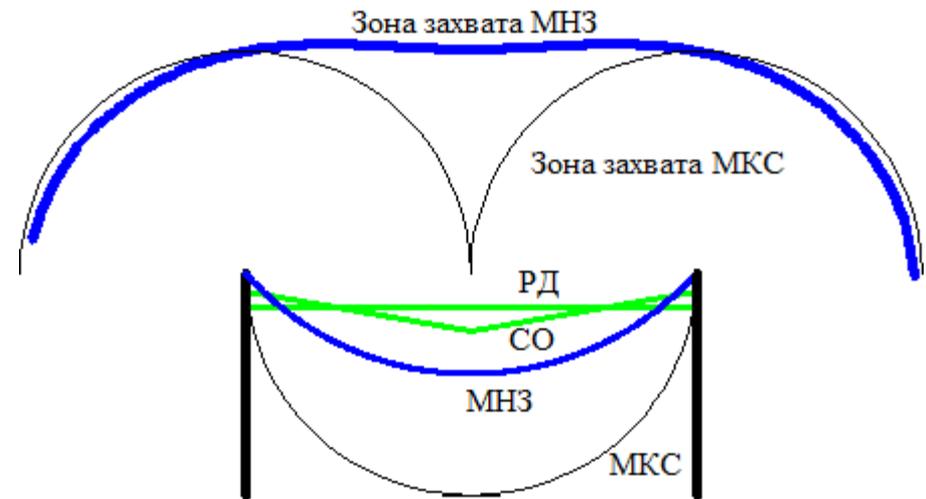
Расчет (очень быстро, сотни тысяч раз при изменении положения лидера молнии)

$$A\mathbf{Q} + \mathbf{B}q = 0; \mathbf{Q} = -\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}q \quad p = \frac{-\sum_{i=1}^N Q_i}{q} = \sum \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N A_{j,i}^{-1} \right) B_i = \sum_{i=1}^N C_i B_i = \mathbf{C} \cdot \mathbf{B}$$

Методика:

- 1). Расчет наведенного заряда объекта
- 2). Расчет зоны захвата молнии из условия $p = \text{const}$.
 - **Пояснение.** Наведенный заряд пропорционален заряду лидера, поэтому используется в качестве критерия возникновения встречного лидера
- 3). Построение зоны защиты молниеотводов
- 4). Расчет площади стягивания молнии.

Пример. Двойной молниеотвод



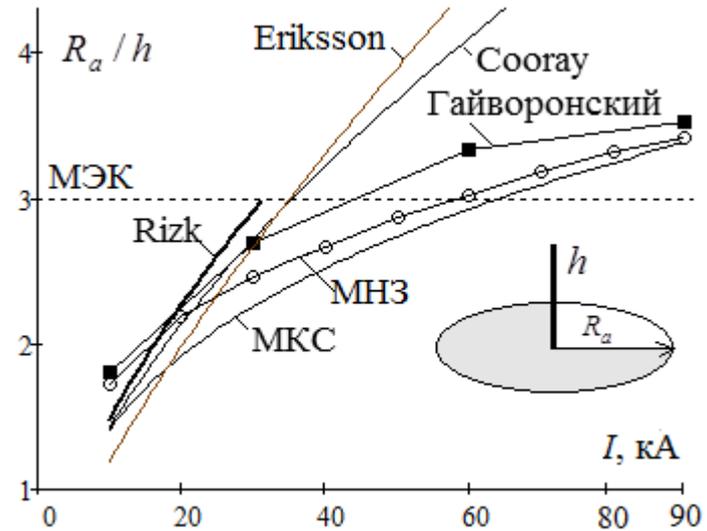
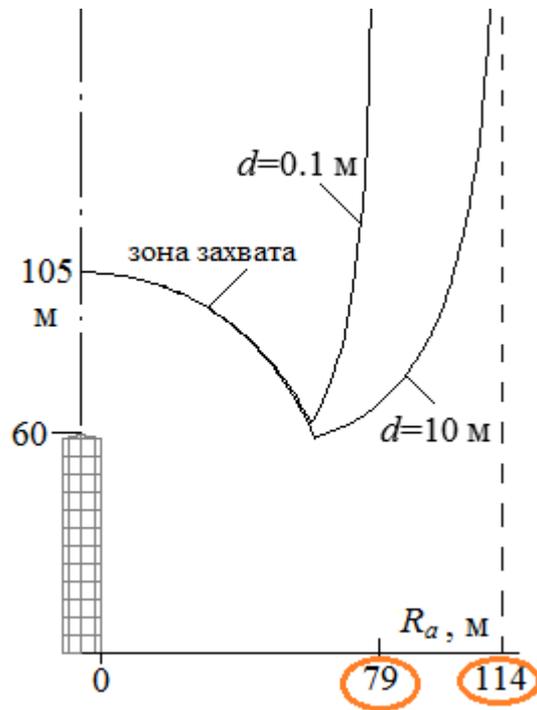
Подробности: Электричество №8, 2015 г

Зависимость радиуса стягивания молниеотвода

R_a

1). от диаметра d ($I=10$ кА)

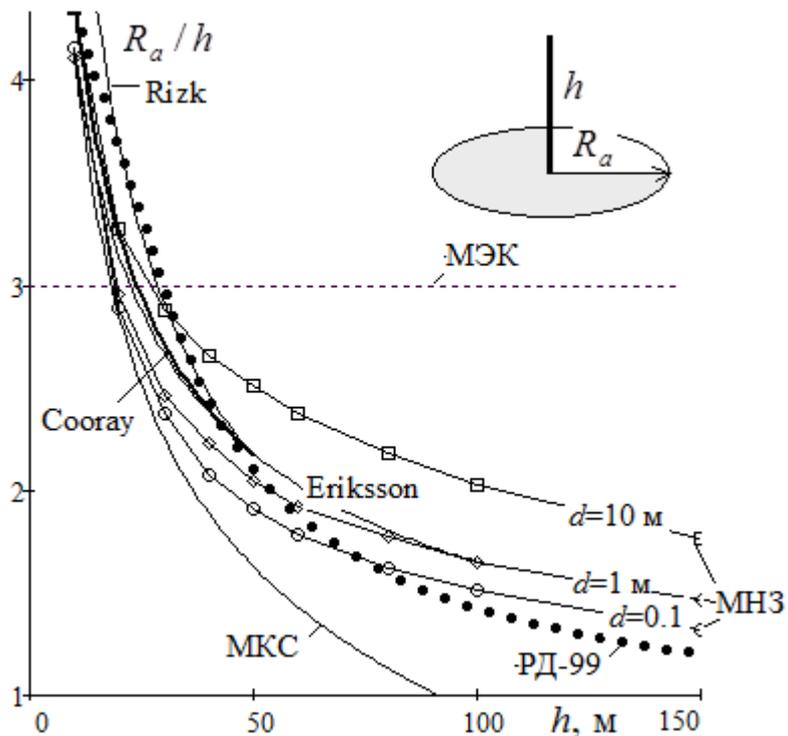
2). от тока молнии I
($h=30$ м, $d=0.2$ м)



Вывод: Ток молнии существенно влияет на площадь стягивания. Поперечные размеры объекта влияют значительно меньше.

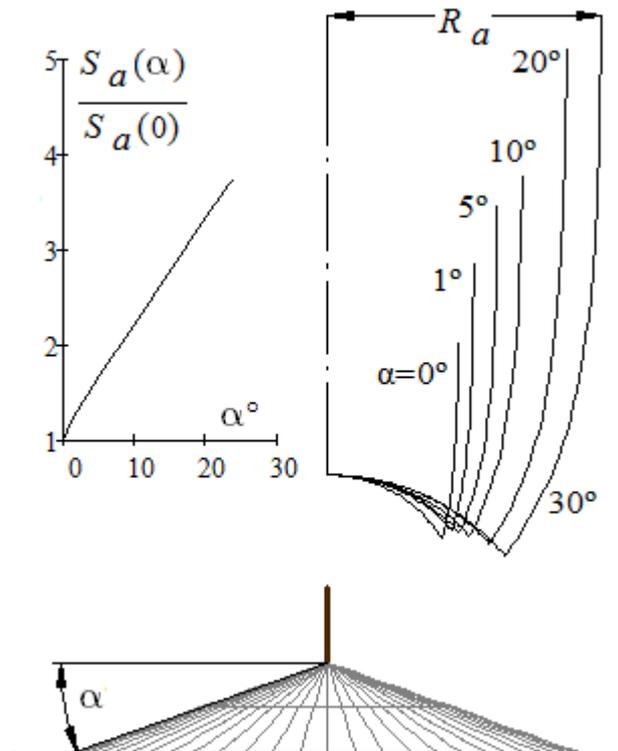
Исследование процессов стягивания молнии

3). Влияние высоты молниеотвода на радиус стягивания ($I=30$ кА)



Вывод: Высота объекта существенно влияет на радиус стягивания. Данные МЭК отличаются от других данных. Но, с увеличением h в расчетах следует увеличивать d и ток молнии I , что увеличивает R_a . Исследовать: $R_a = f(h, I, d)$

4). Молниеотвод на вершине холма (в виде конуса). Зависимость радиуса и площади стягивания от уклона α ($h=30$ м, $d=0.2$ м, $I=10$ кА)



Вывод. Площадь стягивания молнии S_a пропорциональна уклону холма. В данной задаче $C_d=2$ при уклоне 8°

ВЫВОДЫ:

1. Исследованы процессы стягивания лидера молнии к объекту
2. Площадь стягивания молнии зависит от тока молнии, высоты объекта, поперечных размеров объекта (в меньшей степени), а также рельефа местности
3. Метод наведенного заряда позволяет учесть влияние этих факторов на площадь стягивания расчетным путем.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!