

УДК 621.315.2: 699.889.2

В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Е. А. КОВРИГА, С. В. КИСЕЛЕВА, магистранты, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ АНТЕНН ОПЕРАТОРОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ НА КРЫШАХ ЗДАНИЙ

Рассмотрен пример организации комплексной молниезащиты антенн операторов сотовой связи, установленных на крышах зданий. Приводятся варианты установки различного числа токоотводов с вертикальных молниеприемников и рекомендуемые величины эквивалентного безопасного расстояния между токоотводами в зависимости от уровня защиты.

В современном мире информация стоит дорого и нуждается в защите, то есть необходимо предотвращать ее утечку, хищение, утрату, несанкционированное уничтожение, искажение, модификацию, копирование или блокирование доступа к ней.

Можно выделить два направления защиты информации:

– защита аппаратуры связи и информационных технологий, а также линий связи от повреждений, вызванных внешними факторами;

– защита информации от несанкционированного доступа.

К внешним факторам, вызывающим повреждения аппаратуры и линий связи, можно отнести различные стихийные бедствия или кражи оборудования с целью наживы или нанесения вреда тому или иному предприятию. Последнее оставим на совести злоумышленников, а вариант со стихийными бедствиями рассмотрим применительно к климатической зоне нашей страны.

В таблице 1 приведены некоторые параметры разрядов молнии для равнинной местности, которая характерна практически для всей территории Республики Беларусь. Следует иметь в виду, что грозовые разряды, имеющие токи большого значения, возникают очень редко: токи 100 кА и более составляют всего 2 % общего количества грозовых разрядов, а токи 150 кА и более – 0,5 %.

В Республике Беларусь в среднем наблюдается 25–33 случая грозовой активности за год, преимущественно грозы приходятся на летний период.

Для города Гомеля среднее количество гроз за год составляет 28, максимальное зарегистрированное – 54 [1].

На крышах зданий повсеместно устанавливают антенны операторов сотовой связи, подключенные к дорогостоящему оборудованию, антенны бес-

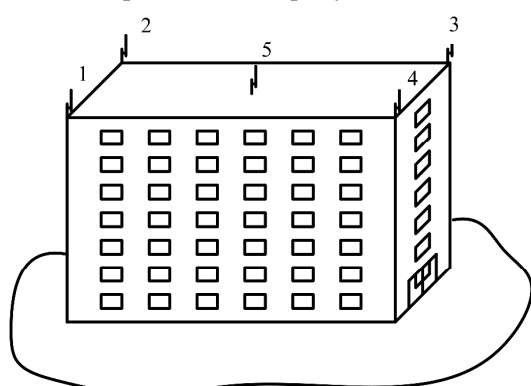
проводной (Wi-Fi, WiMAX) и спутниковой связи. Попадание молнии в антенны, выводы вентиляции и т. п. может привести к значительным по своим масштабам повреждениям техники, человеческим жертвам. А устранение возникших неполадок требует и времени, и денег.

Таблица 1 – Параметры разрядов молнии для равнинной местности

Параметры разряда молнии	Наиболее часто встречающиеся значения	Зарегистрированное значение	
		max	min
Полярность	Отрицательная (до 80 %)	–	–
Токи молнии (амплитудные значения), зарегистрированные в опорах, кА	До 20	200–300	0,5
Заряд, переносимый молнией, Кл	До 20	100	0,5
Длительность импульса тока молнии, мкс	10–30	100	Менее 10
Длительность фронта импульса тока молнии, мкс	1,5–10	80–90	” 1
Крутизна фронта импульса тока молнии, А/мкс	5000	50000	–
Количество импульсов в разряде молнии	2–3	20	1
Продолжительность разряда молнии, с	0,2–0,6	1,33	–

Рассмотрим, какие мероприятия необходимо провести для комплексной молниезащиты зданий и сооружений с проводящими инсталляциями на крышах (в частности, с антеннами операторов сотовой связи). Таких объектов большое множество во всех городах Республики Беларусь, например, в Гомеле это – ГФ РУП «Белтелеком», «Гомельгражданпроект», «Гипроживмаш», учебный корпус № 4 УО «БелГУТ» и др.

Предположим, что существует здание с конкретными параметрами, молниезащиту которого необходимо организовать (рисунок 1).



1-5 – Антенны операторов сотовой связи

Рисунок 1 – Общий вид здания, нуждающегося в молниезащите

Здание семиэтажное с плоской крышей, высотой 25,80 м без учета аттика. Примем длину здания равной 40 м, а ширину – 20 м. Пусть здание имеет четко прямоугольную форму без всяких выступов и пристроек. На крыше здания установлены пять антенн операторов сотовой связи (по одной в каждом из углов крыши и одна в центре).

Для осуществления комплексной молниезащиты данного здания потребуются:

- установить на каждую из антенн вертикальный молниеприемник с помощью изоляционного кронштейна. Примем длины антенн 1-5 (см. рисунок 1) равными 4 м с учетом вертикальных молниеприемников;

- токоотвод с вертикального молниеприемника осуществлять с использованием HVI-проводника, соединяя его с кольцевым токоотводом в изоляции высокого напряжения;



Рисунок 2 – Пример использования HVI-проводника и токоотвода в изоляции высокого напряжения

- кольцевой токоотвод в изоляции высокого напряжения устанавливать на высоте, соответствующей необходимому безопасному расстоянию (рисунок 2);

- установить вертикальные токоотводы через расстояния, соответствующие выбранному уровню гроззащиты;

- установить дополнительный кольцевой токоотвод на расстоянии около 15 м от поверхности земли для уменьшения требуемого безопасного расстояния.

Необходимо сохранять требуемые защитные расстояния между мачтой и антеннами, приемником и другими элементами молниезащитного устройства.

Если сохранить требуемые защитные расстояния или создать защищаемые пространства вертикальными приемниками трудно или невозможно,

то можно использовать одно из нижепредложенных решений:

- вертикальный приемник и токоотводы крепить к защищаемой мачте, безопасное расстояние между этим отводом и защищаемым объектом обеспечивают соответствующим образом подобранные изоляционные дистанцирующие элементы;

- для отведения токов молнии использовать токоотводы в изоляции высокого напряжения. Применяя токоотводы в изоляции высокого напряжения, следует ограничить скользящие разряды на поверхности изоляции. Этого можно достичь:

- повышая начальное напряжение скользящих разрядов (например, толщину изоляции отвода);

- используя экраны в изоляции токоотвода (например, тонкую металлическую фольгу внутри изоляции);

- изменяя распределение напряженности электрического поля в месте появления скользящих разрядов.

Два первых метода не нашли до сих пор практического применения при производстве токоотводов, используемых в целях молниезащиты. При третьем методе улучшить распределение электрического поля в месте появления скользящих разрядов можно, устанавливая токоотводы в изоляции высокого напряжения с токопроводящим или полупроводящим покрытием, что устраняет требование сохранения безопасных расстояний, составляющих около 0,75 м в воздухе и около 1,5 м – в твердом диэлектрике.

Такой способ защиты от скользящих разрядов реализован в токоотводах HVI (High Voltage Insulated), которые производит фирма DENN [4].

Конструкция токоотвода HVI представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 показан пример построения системы защиты антенны с применением HVI-проводника. Молниеотвод должен быть прикреплен к антенне с помощью трубки из непроводящего материала. Таким способом осуществляется их изоляция. Высота молниеотвода выбирается таким образом, чтобы в зоне защиты находились все час-

ти антенны и базовой приемопередающей станции BTS (Base Transceiver Station).

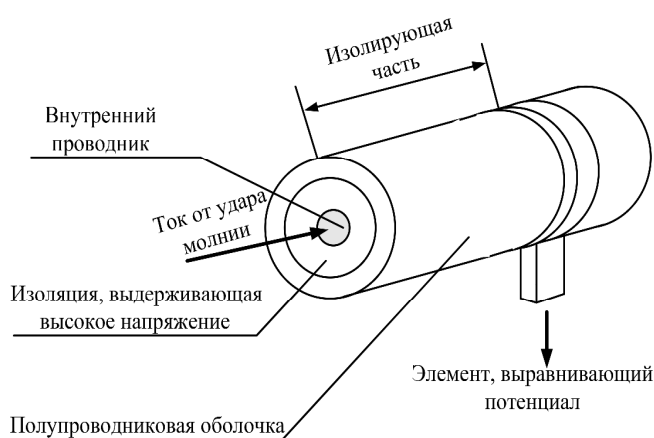


Рисунок 3 – Конструкция HVI-проводника

Сетка, выравнивающая потенциалы, предназначена для устранения разности потенциалов между аппаратурой, установленной внутри зоны

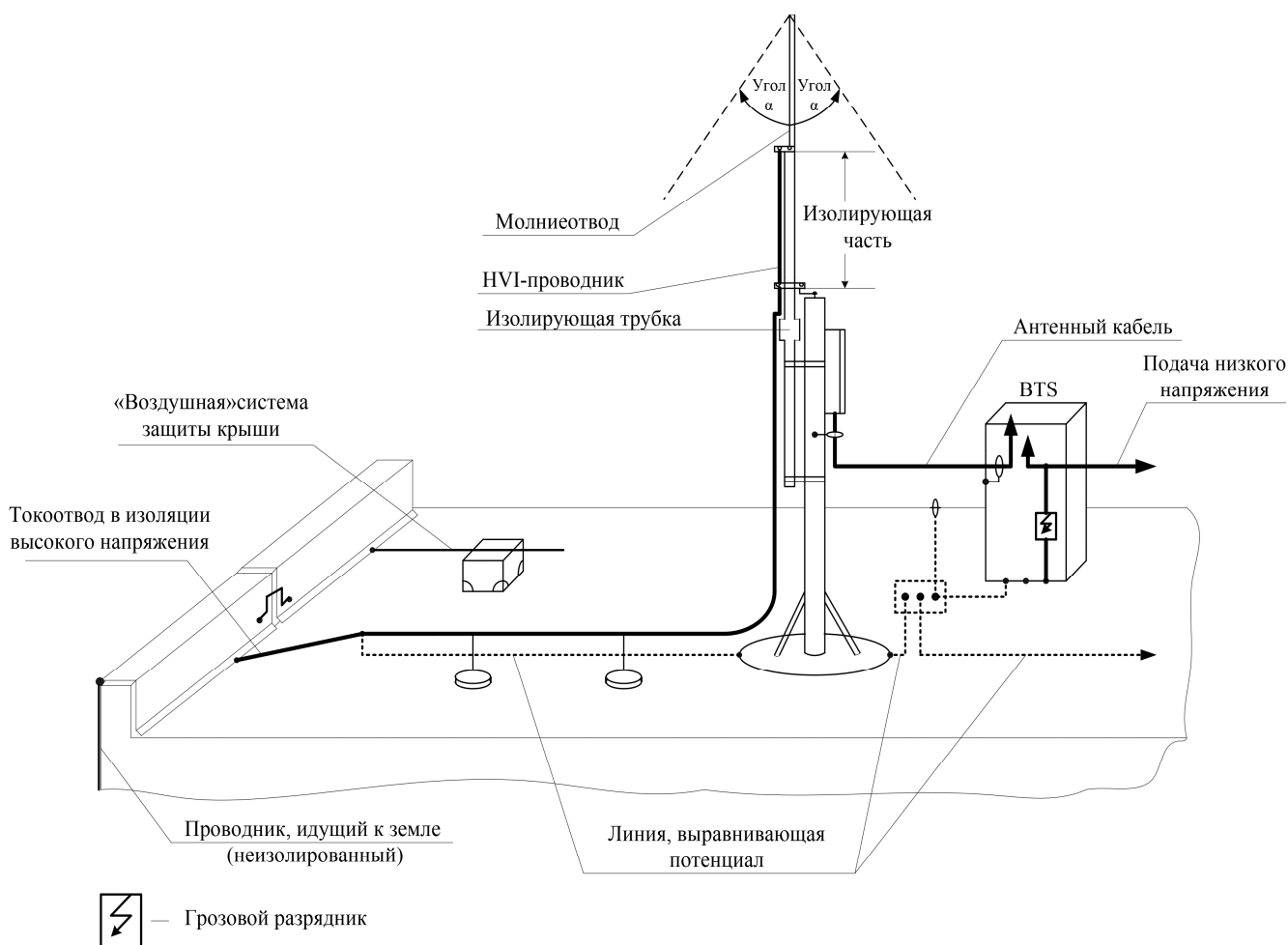
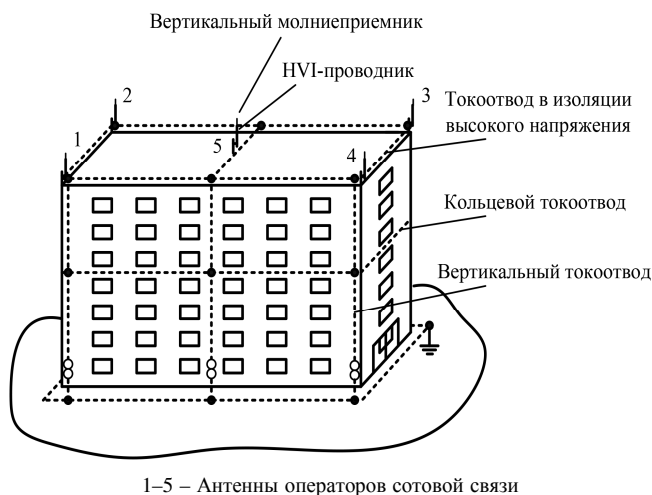


Рисунок 4 – Пример построения системы защиты антенны с применением HVI-проводника

защиты, и для уменьшения влияния магнитного поля молнии, к которым чувствительно современное телекоммуникационное оборудование. Для того чтобы создать такую эквипотенциальную сетку внутри защитной зоны здания, с помощью специальных проводников соединяют все металлические компоненты:

- арматуру в бетоне (в полу, стенах и потолках);
- трубы, бойлеры и т. п.;
- решетки (например, «промежуточный» пол);
- металлические лестницы, двери, рамы;
- кабельные каналы;
- вентиляционные каналы;
- металлические полы;
- тросы лифтов;
- линии питания.

Тем самым получают трехмерную эквипотенциальную сеть. Общий вид комплексной молниезащиты здания представлен на рисунке 5.



1–5 – Антенны операторов сотовой связи

Рисунок 5 – Общий вид комплексной молниезащиты здания

Система вертикальных токоотводов должна осуществлять проводящее соединение между молниеприемником и системой заземления. Функцией системы вертикальных токоотводов является проведение тока молнии к заземляющим проводникам, исключая при этом неконтролируемый рост температуры, способный повредить здание или его элементы. Для того чтобы этого избежать, следует обеспечить несколько параллельных путей току молнии, при этом их длина должна быть наименьшей (прямые вертикальные токоотводы без петель).

Также требуется соблюдать эквивалентное безопасное расстояние  $s$  – минимальное расстояние между двумя проводящими элементами вне или внутри защищаемого объекта, при котором

между ними не может произойти опасного искрения [2].

Количество вертикальных токоотводов зависит от периметра здания (от проекции этого здания на горизонтальную плоскость). Количество токоотводов получаем, разделив периметр объекта, выраженный в метрах, на размер стороны ячейки молниеприемной сетки. Число отводов не может быть меньше двух.

Также требуется сохранение расстояния не менее двух метров между токоотводом и пешеходными переходами и входами в здание, между токоотводом и металлическими ограждениями вдоль тротуаров.

Расстояния между токоотводами могут быть различными.

Средние расстояния между токоотводами в зависимости от уровня молниезащиты представлены в таблице 2 [3].

Таблица 2 – Средние расстояния между токоотводами

IEC 61024-1	
Уровень защиты	Среднее расстояние, м
4	25
3	20
2	15
1	10

Если рассчитанное эквивалентное безопасное расстояние не удается соблюсти, то можно увеличить число параллельных путей току молнии (то есть увеличить число вертикальных токоотводов). Эта мера уменьшает ток молнии в токоотводах, и необходимое безопасное расстояние может быть выдержано.

Для расчета эквивалентного безопасного расстояния требуется знать длину токоотводов. Если токоотвод прямой, то никаких вопросов не возникает. При наличии т. н. «петли» расстояние между ближайшими точками токоотвода и длина  $l$  токоотвода между этими точками должны удовлетворять требованию безопасного расстояния [2].

Эквивалентное безопасное расстояние  $s$  рассчитывается с использованием общей длины  $l = l_1 + l_2 + l_3$  (рисунок 6).

Эквивалентное безопасное расстояние в метрах рассчитывается по формуле

$$s = k_i \frac{k_c l}{k_m}, \quad (1)$$

где  $k_i$  – коэффициент, зависящий от выбранного уровня молниезащиты («фактор индукции»),  $k_i = 0,1; 0,075; 0,05$  для 1, 2 и 3-го (или 4-го) уровня соответственно;  $k_c$  – коэффициент, зависящий от распределения тока в объекте;  $k_m$  – коэффициент, зависящий от плотности материала (1 – в воздухе и 0,5 – в твердом диэлектрике);  $l$  – расстояние, измеренное вдоль провода, идущего от точки рассматриваемого сближения до точки ближайшего уравнивающего соединения, м.

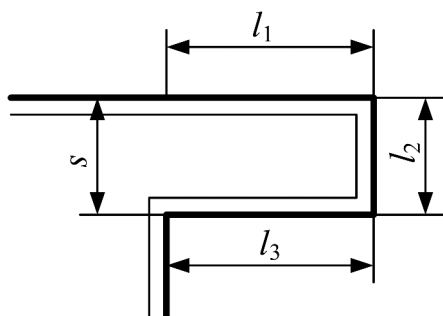


Рисунок 6 – «Петля» вертикального токоотвода

Коэффициент  $k_c = 1$ , если речь идет об одиночном молниеприемнике. В этом случае весь ток молнии идет через него. Если установлено два молниеотвода (рисунок 7), и они связаны друг с другом кабелем, то ток молнии разделяется и идет двумя путями. Однако нельзя сказать, что если через одиночный молниеотвод проходит 100 % тока молнии, то через каждый из двух молниеотводов пройдет 50 %, ведь молния не обязательно ударит точно в середину системы молниеприемников.

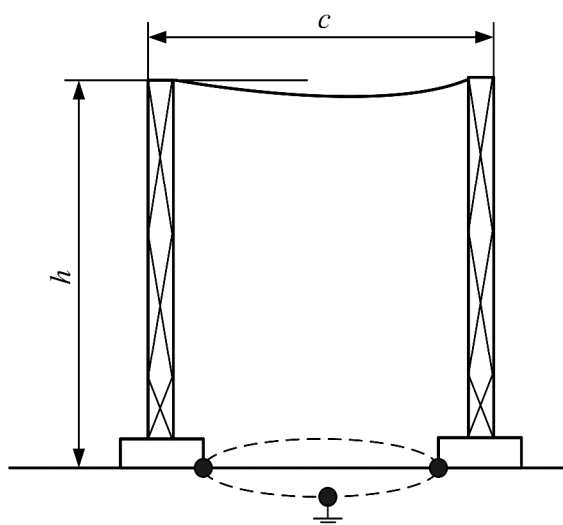


Рисунок 7 – Определение  $k_c$  в случае двух электрически связанных молниеотводов

Наиболее неблагоприятную ситуаций можно учесть с помощью формулы

$$k_c = \frac{h + c}{2h + c}, \quad (2)$$

где  $h$  – длина токоотвода, м;  $c$  – расстояние между молниеотводами, м.

Такую же формулу следует использовать для случая, представленного на рисунке 8.

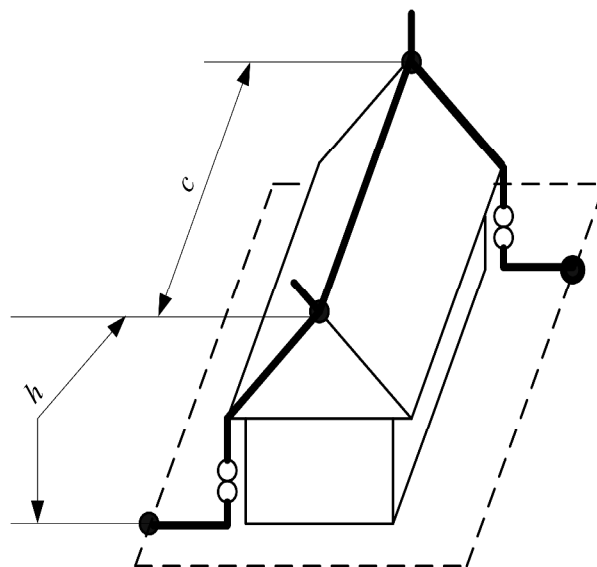


Рисунок 8 – Определение коэффициента  $k_c$  для здания с двускатной крышей и двумя вертикальными токоотводами

Коэффициент  $k_c$  можно уменьшить, дополнительно установив еще два токоотвода, то есть всего их получается четыре (рисунок 9). В этом случае следует воспользоваться формулой

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}, \quad (3)$$

где  $n$  – количество токоотводов;  $c$  – расстояние между токоотводами, м;  $h$  – длина токоотвода (в случае зданий с плоскими крышами – высота здания), м.

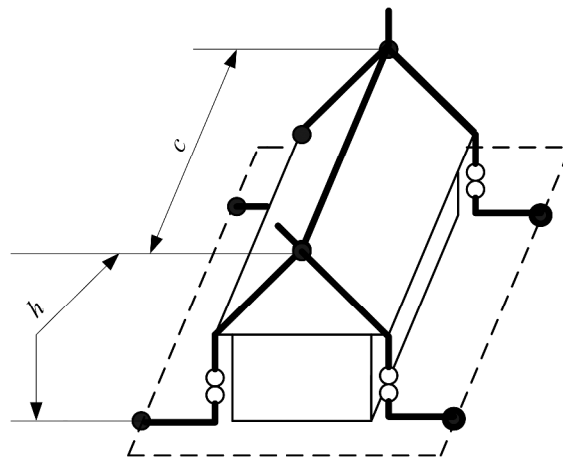


Рисунок 9 – Определение коэффициента  $k_c$  для здания с двускатной крышей и четырьмя вертикальными токоотводами

Необходимо рассчитать эквивалентное безопасное расстояние для трех областей:

– 29,4–27,3 м (от уровня молниеприемников антенн до токоотвода в изоляции высокого напряжения на крыше  $l_1$ );

– 27,3–15 м (от уровня токоотвода в изоляции высокого напряжения на крыше до кольцевого токоотвода  $l_2$ );

– 15–0 м (от уровня кольцевого токоотвода до уровня земли  $l_3$ ).

Так как здание имеет размеры 20×40 м, а среднее расстояние между токоотводами для третьего уровня молниезащиты составляет 20 м, то всего необходимо шесть вертикальных токоотводов. Другими словами,  $c = 20$  м,  $n = 6$  (рисунок 10).

Необходимо также осуществить выравнивание потенциалов и заземление частей антенн на крыше (включая кабельные каналы, металлические фасады и аттики). Это можно сделать, воспользовавшись двумя дополнительными заземляющими кабелями NYU 1×25 мм<sup>2</sup>, соединенными с линиями, выравнивающими потенциал базовых приемопередающих станций.

Таким образом, реализация вышеописанной системы грозозащиты позволяет защитить здание от прямого удара молнии и проникновения частичных токов молнии.

Получено 21.10.2010

**V. G. Shevchuk, E. A. Kovriga, S. V. Kiseleva.** Development of integrated protection of antennas of cellular operators on the roof of buildings.

An example of the organization of complex lightning protection of antennas of cellular operators installed on the roofs of buildings is considered. Variants of installation of various numbers of down conductors from vertical lightning rods and recommended values of the equivalent safe distance between down conductors depending on the protection level are given.

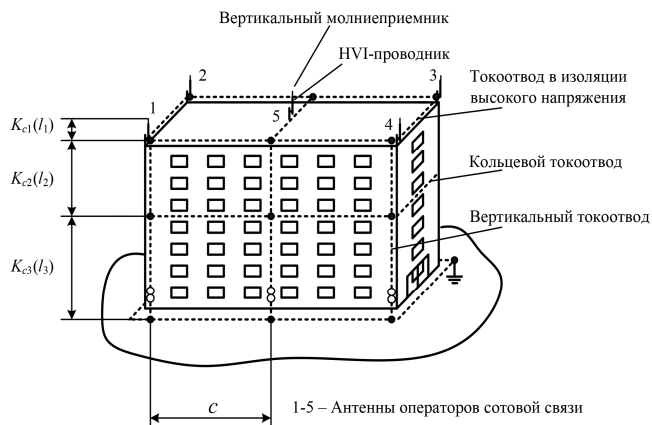


Рисунок 10 – Расчет эквивалентного безопасного расстояния

### Список литературы

- 1 Гомель : энцикл. справ. / Белорус. Сов. Энцикл.; редкол.: И. П. Шамякин (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : БелСЭ, 1990. – С. 11.
- 2 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 57 с.
- 3 Сова, А. Молниезащита строительных объектов [Электронный ресурс] / А. Сова. – Режим доступа: <http://www.krovli-russia.ru>. – Дата доступа: 13.11.2009.
- 4 Lightning protection guide. 2nd updated edition / DEHN + SÖHNE. – Germany. 2007. – 328 p.