

ЗАЩИТА ОТ ГРОЗОВЫХ И КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Авария из-за удара молнии в резервуар с нефтью



Последствия удара молнии резервуары с нефтью







Молнии Кататумбо. Природное явление над местом впадения реки Кататумбо в озеро Маракайбо, Венесуэла



РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО МОЛНИЕЗАЩИТЕ

1. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы»
2. ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска»
3. ГОСТ Р МЭК 62561.1-2014 «Компоненты системы молниезащиты . Часть 1: Требования к соединительным компонентам»
4. ГОСТ Р МЭК 62561.2-2014 «Компоненты системы молниезащиты . Часть 2: Требования к проводникам и заземляющим электродам»
5. ГОСТ Р МЭК 62561.3-2014 «Компоненты системы молниезащиты . Часть 3: Требования к разделительным искровым разрядникам»
6. ГОСТ Р МЭК 62561.4-2014 «Компоненты системы молниезащиты . Часть 4: Требования к устройствам крепления проводников»
7. ГОСТ Р МЭК 62561.5-2014 «Компоненты системы молниезащиты . Часть 5: Требования к смотровым колодцам и уплотнителям заземляющих электродов»
8. ГОСТ Р МЭК 62561.6-2014 «Компоненты системы молниезащиты . Часть 6: Требования к счетчикам ударов молнии»
9. РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»
10. СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»

ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы»

Настоящий стандарт устанавливает общие принципы защиты от молнии зданий, сооружений и их частей, включая находящиеся в них людей, инженерных сетей, относящихся к зданию (сооружению), и другие объекты.

ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска»

Настоящий стандарт используется для оценки риска удара молнии и его последствий для зданий, сооружений и их частей.

В настоящем стандарте установлены процедуры оценки риска удара молнии для зданий (сооружений). Если установлен приемлемый риск, то такая процедура позволяет выбрать соответствующие меры защиты от молнии для снижения риска до приемлемого значения.

ГОСТы Р МЭК серии 62561

Настоящие стандарты устанавливают требования к исполнению и испытаниям:

- металлических соединительных компонентов, являющихся частью системы молниезащиты. К таким компонентам относятся соединители, детали для уравнивания потенциалов, переключки, температурные компенсаторы и соединения для испытаний (контрольные зажимы);
- металлических проводников, являющихся частью системы молниеприемника и токоотводов;
- металлических заземляющих электродов, являющихся частью заземляющего устройства;
- разделительных искровых разрядников систем молниезащиты. Разделительные искровые разрядники могут применять для непрямого соединения компонентов системы молниезащиты с другими, расположенными поблизости, частями и металлоконструкциями сооружений, когда непосредственное соединение не допускается по функциональным причинам;
- металлических и неметаллических устройств крепления проводников, используемых для молниеприемников, токоотводов и заземляющих устройств;
- смотровых колодцев заземляющих электродов и уплотнителей заземляющих электродов;
- счетчиков числа разрядов молнии, протекающих в проводнике.

РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»

Инструкция устанавливает комплекс мероприятий и устройств для обеспечения безопасности людей (сельскохозяйственных животных), предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от взрывов, пожаров, разрушений при воздействии молнии.

СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций»

Инструкция устанавливает необходимый комплекс мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей (сельскохозяйственных животных), предохранения и защиты зданий, сооружений, промышленных коммуникаций, технологического оборудования и материалов от взрывов, пожаров, разрушений и воздействий электромагнитного поля, возможных при ударах молнии.

ВЕДОМСТВЕННЫЕ НОРМЫ ПО МОЛНИЕЗАЩИТЕ

- СТО Газпром 2-1.11-170-2007 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «Газпром»
- СТО Газпром 2-1.11-290-2009 «Положение по обеспечению электромагнитной совместимости производственных объектов ОАО «Газпром»
- Р Газпром 2-6 2-676-2012 «Методика и порядок расчета системы молниезащиты объектов ОАО Газпром»

СТО Газпром 2-1.11-170-2007 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «Газпром»

Настоящий стандарт устанавливает порядок устройства средств защиты от прямых ударов молнии на производственных объектах ОАО «Газпром» при строительстве новых или реконструкции (модернизации) действующих объектов.

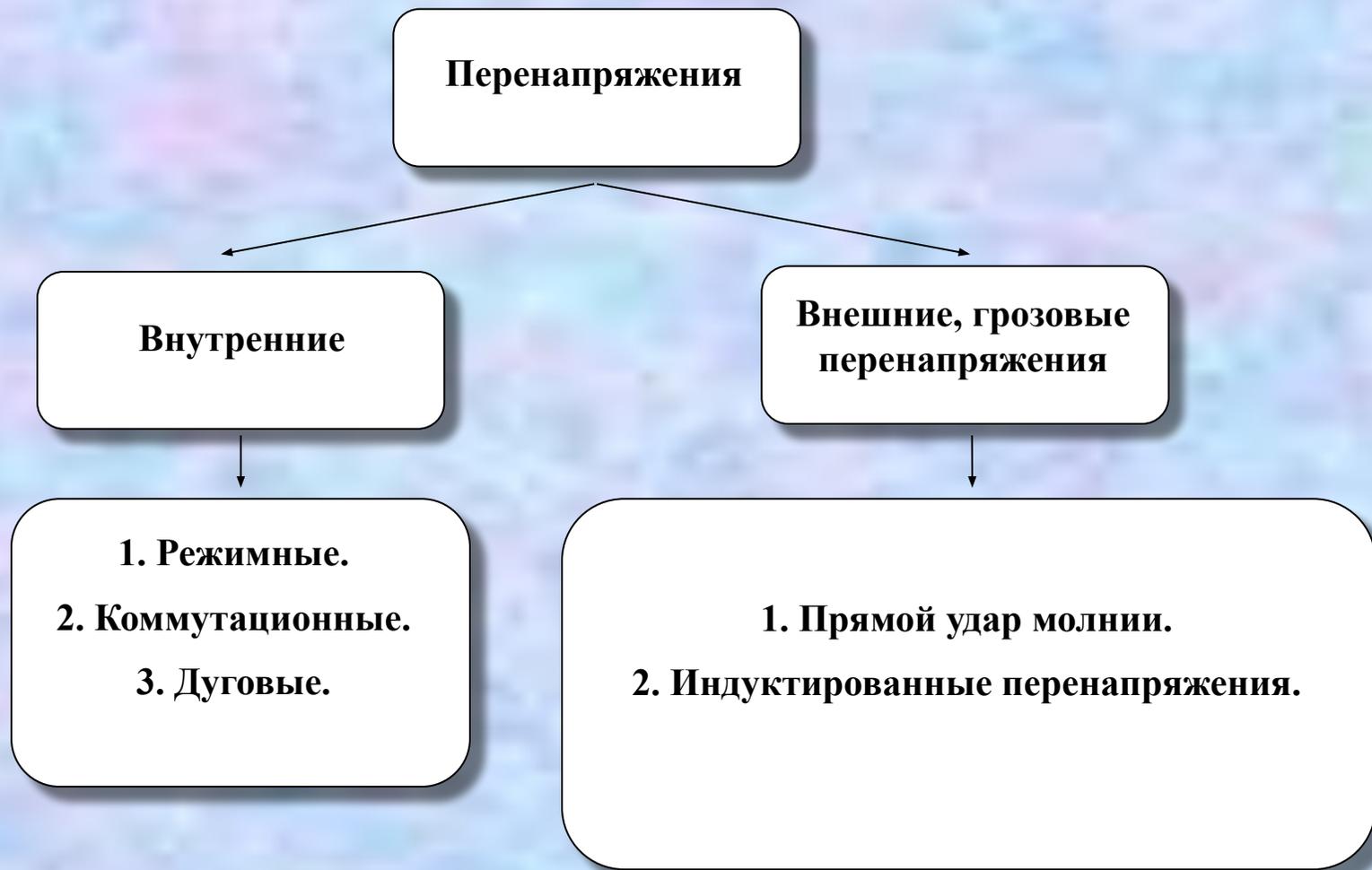
СТО Газпром 2-1.11-290-2009 «Положение по обеспечению электромагнитной совместимости производственных объектов ОАО «Газпром»

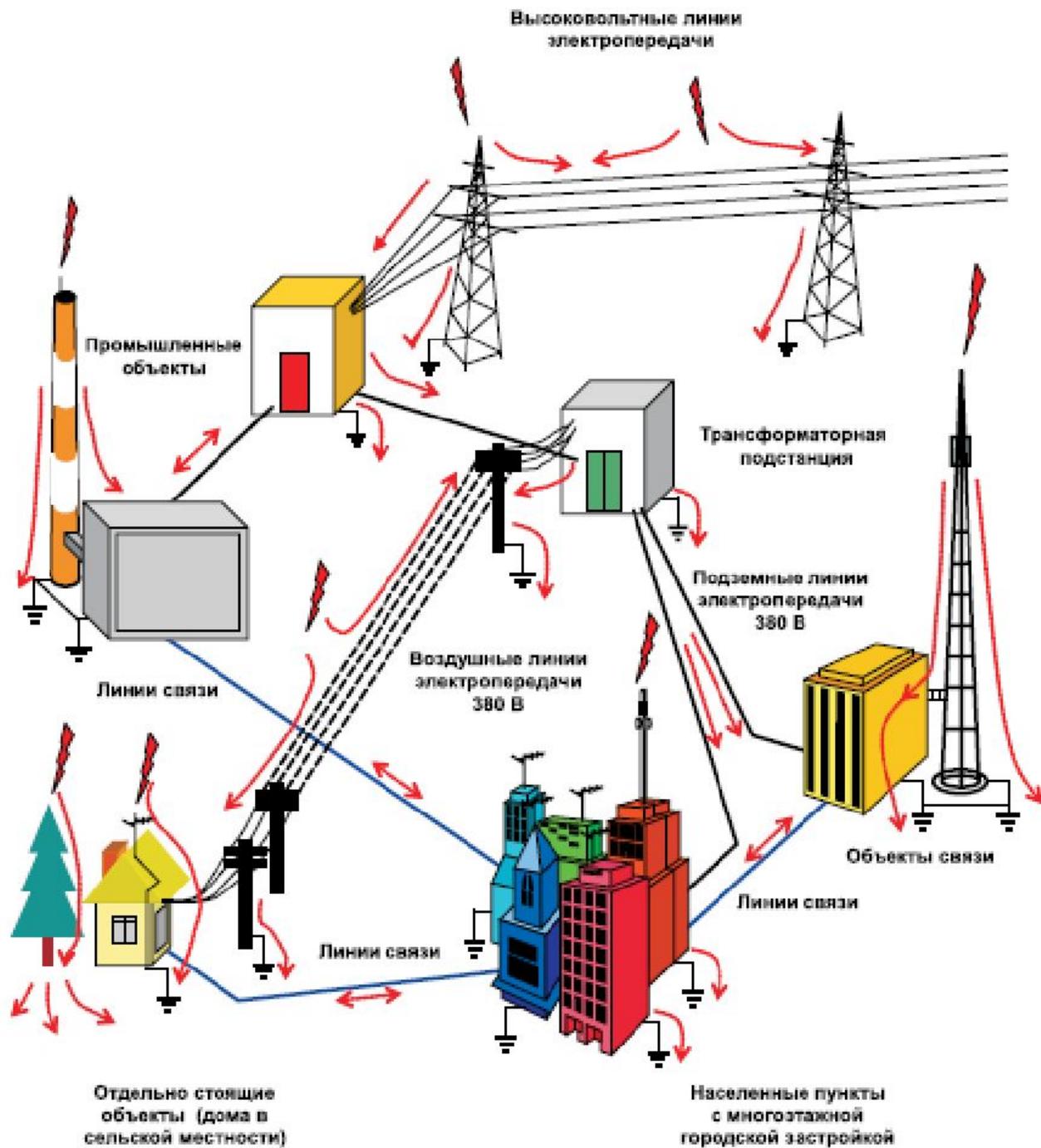
Настоящий стандарт устанавливает требования к порядку организации выполнения работ по обеспечению ЭМС ТС энергохозяйства производственных объектов ОАО «Газпром, их последовательности и составу, а также единые правила обеспечения их электромагнитной совместимости.

Р Газпром 2-6 2-676-2012 «Методика и порядок расчета системы молниезащиты объектов ОАО Газпром»

Настоящие рекомендации дополняют требования СТО Газпром 2-1.11-170, определяют методику и устанавливают порядок расчёта системы внешней молниезащиты на производственных объектах ОАО «Газпром».

ВИДЫ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ



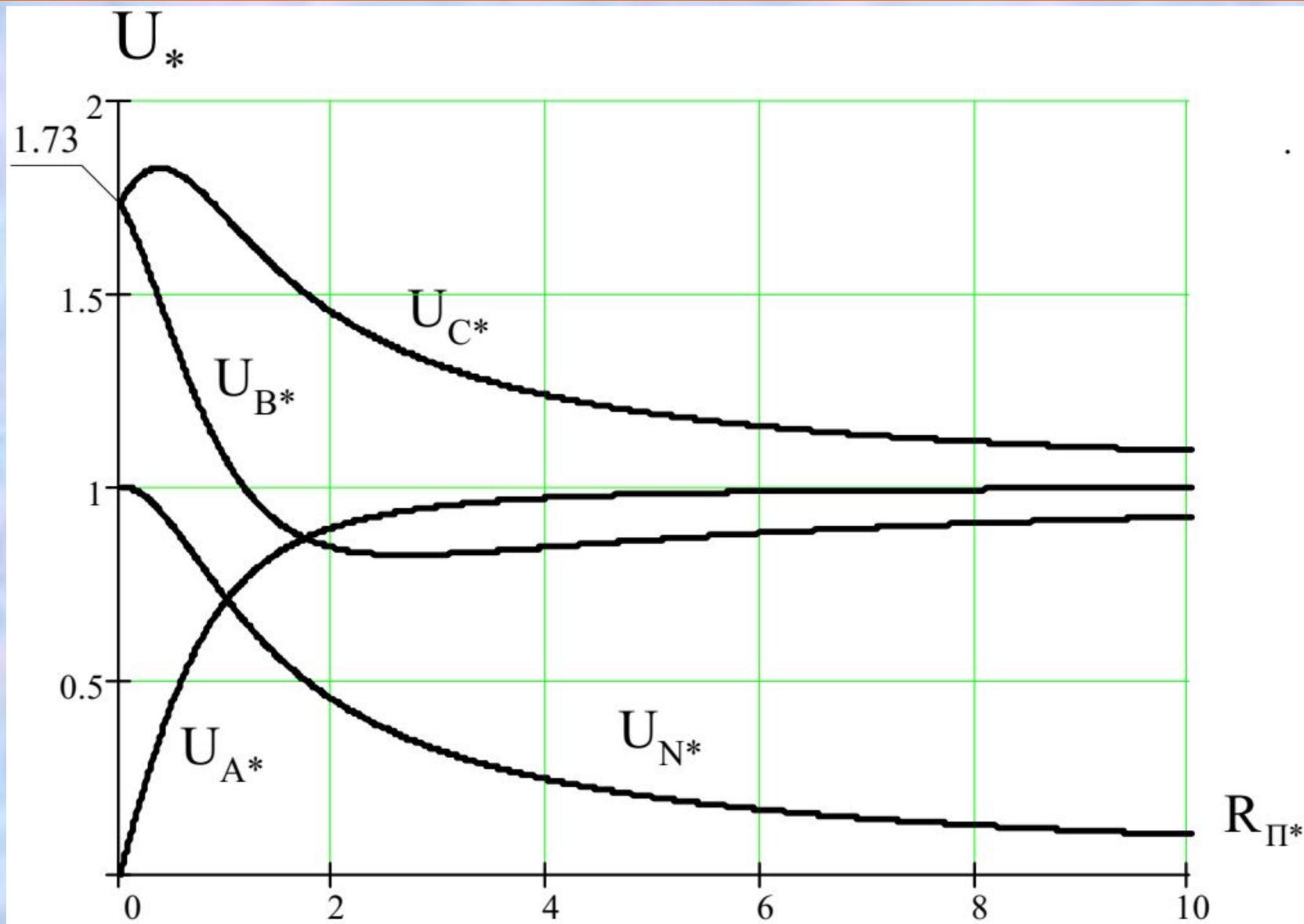


Режимные перенапряжения возникают в результате изменения режима работы электроустановки, например, при резких изменениях нагрузки, отключении токов короткого замыкания и др., что сопровождается выделением энергии, запасенной в электроустановке. Величина этой энергии определяет кратность перенапряжения, определяемую отношением амплитуд перенапряжения к рабочему напряжению.

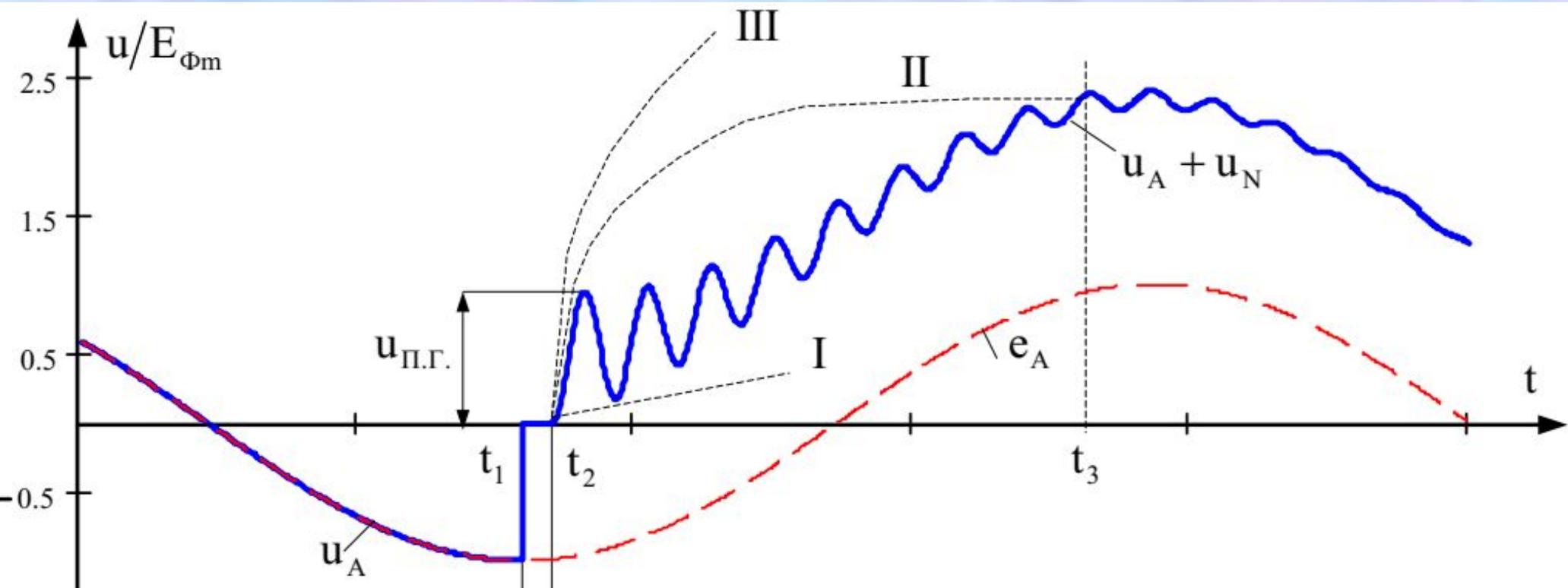
Коммутационные перенапряжения возникают при нормальной эксплуатации линий в случае включения разомкнутой на конце линии, отключении работающих вхолостую трансформаторов, асинхронных электродвигателей, линий большой емкости.

Дуговые перенапряжения могут возникнуть в сетях напряжением выше 1 кВ при однофазных замыканиях на землю через перемежающуюся дугу в сетях с изолированной нейтралью; при резонансных явлениях. Величина их превышает в $4 \div 4,5$ раза номинальное напряжение. Наибольшую кратность по отношению к номинальному напряжению имеют перенапряжения, вызванные однофазными замыканиями на землю через дугу, для ограничения которых применяют компенсацию емкостного тока замыкания на землю с помощью дугогасящих реакторов.

Изменения напряжения на нейтрали и фазах сети при изменении сопротивления в месте замыкания, выраженного в долях от эквивалентного емкостного сопротивления сети относительно земли



ДУГОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ В ФАЗЕ А



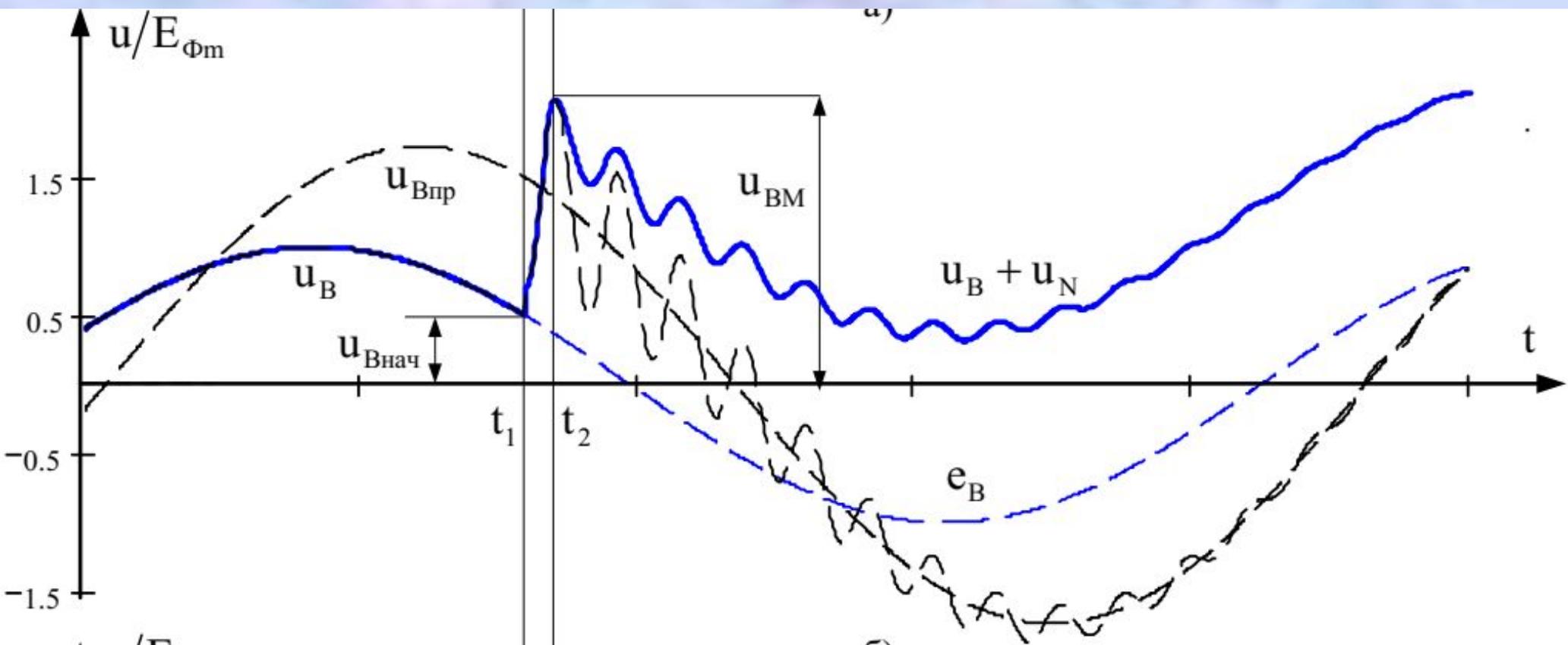
Сплошными линиями изображены кривые напряжений и тока при загорании и последующем обрыве дуги, спустя половину периода свободных колебаний емкостного тока, а пунктирными линиями кривые при устойчивом замыкании.

В случае I электрическая прочность промежутка восстанавливается медленнее, чем напряжение на нем и дуга становится устойчивой.

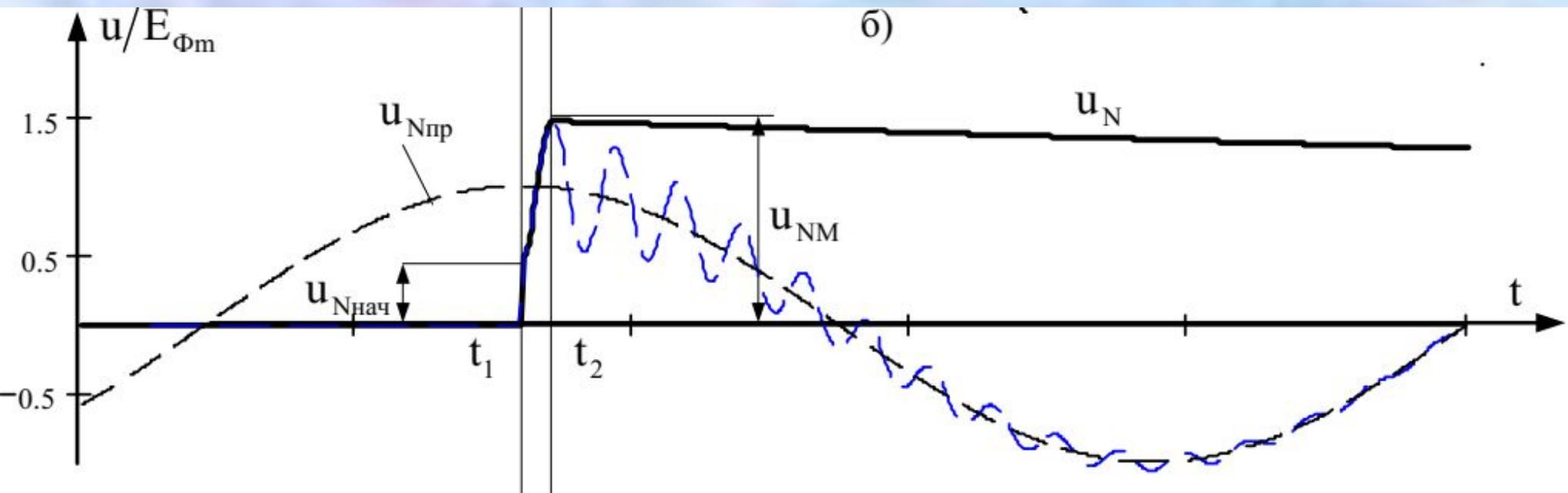
В случае II произойдет погасание дуги в момент , но в момент дуга загорится вновь. При такой ситуации имеет место дуговое замыкание, которое принято называть перемежающимся.

Случай III, когда электрическая прочность промежутка в течение всего времени выше восстанавливающегося напряжения, соответствует окончательному погасанию дуги.

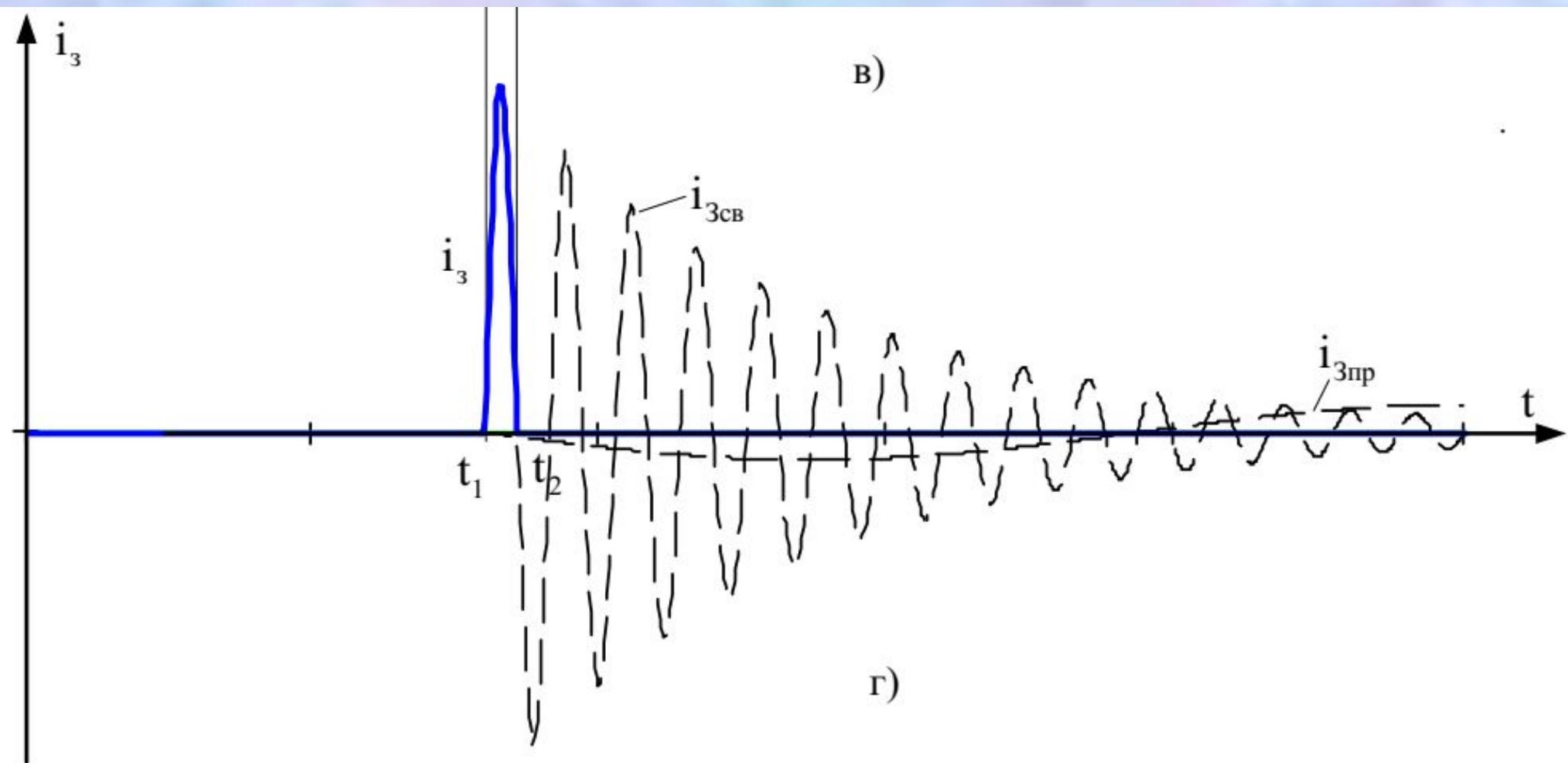
ДУГОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ В ФАЗЕ А



ДУГОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ В ФАЗЕ А



ДУГОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ В ФАЗЕ А



ИНСТРУКЦИЯ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОММУНИКАЦИЙ СО 153-34.21.122-2003

При разработке проектов зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, помимо требований Инструкции, учитываются дополнительные требования к выполнению молниезащиты других действующих норм, правил, инструкций, государственных стандартов.

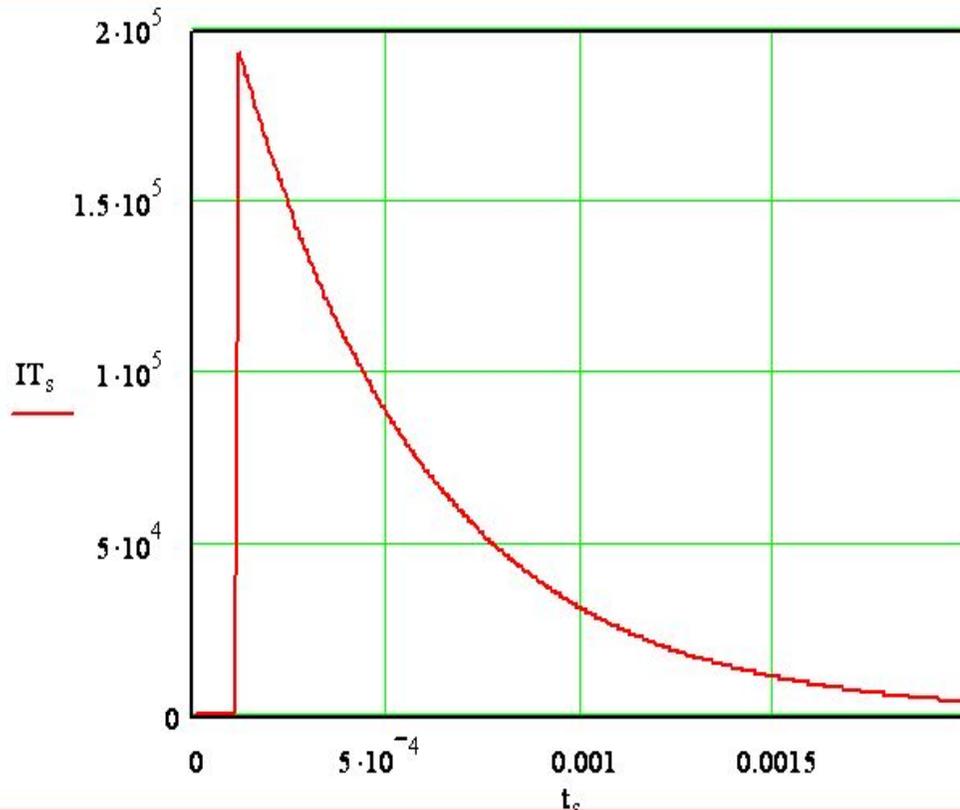
При нормировании молниезащиты за исходное принято положение, что любое ее устройство не может предотвратить развитие молнии.

ИНСТРУКЦИЯ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОММУНИКАЦИЙ СО 153-34.21.122-2003

Инструкция предназначена для использования при разработке проектов, строительстве, эксплуатации, а также при реконструкции зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

В случае, когда требования отраслевых нормативных документов являются более жесткими, чем в настоящей Инструкции, при разработке молниезащиты рекомендуется выполнять отраслевые требования. Также рекомендуется поступать, когда предписания Инструкции нельзя совместить с технологическими особенностями защищаемого объекта. При этом используемые средства и методы молниезащиты выбираются исходя из условия обеспечения требуемой надежности.

ПОМЕХИ ОТ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

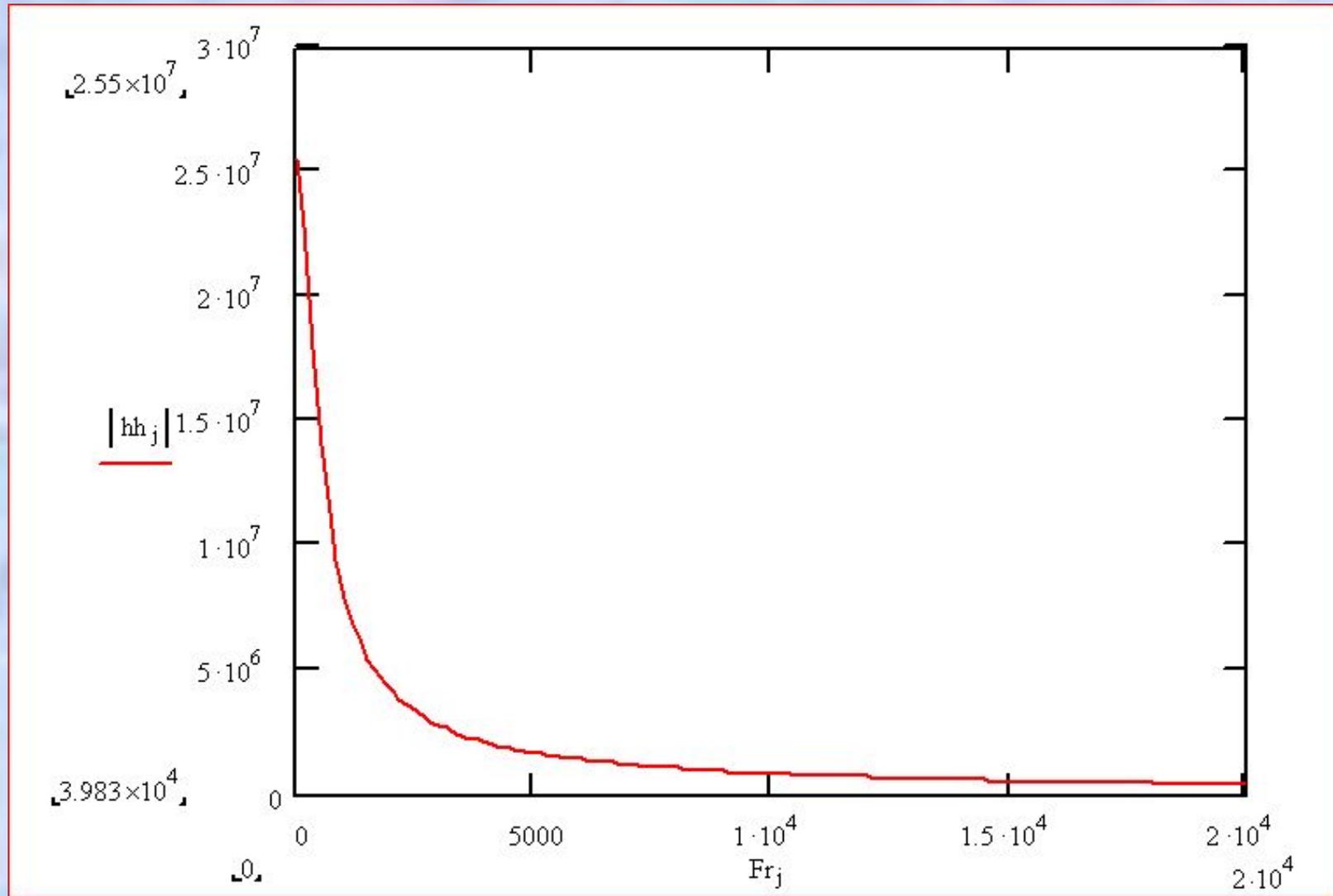


Форма импульсного тока молнии (согласно МЭК, время - в с, амплитуда – до 200 кА)

Молниевый разряд является крайне опасным источником помех. Максимальная амплитуда тока (до 100 – 200 кА) обычно значительно превышает характерные величины токов КЗ. Параметры «эталонного» импульса молнии нормируются в стандарте IEC 62305 (Lightning Protection) Международной Электротехнической Комиссии (МЭК). См. также отечественный документ: СО 153-34.21.122-2003.

Длительность фронта импульса составляет 10 мкс, а общая длительность импульса – 350 мкс. Это почти в 100 раз меньше одного периода промышленной частоты.

ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР ИМПУЛЬСА МОЛНИИ ДОСТИГАЕТ ДЕСЯТКОВ кГц



Спектр молниевое импульса (частота - в Гц)

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Удар молнии в землю - электрический разряд атмосферного происхождения между грозовым облаком и землей, состоящий из одного или нескольких импульсов тока.

Точка поражения - точка, в которой молния соприкасается с землей, зданием или устройством молниезащиты. Удар молнии может иметь несколько точек поражения.

Защищаемый объект - здание или сооружение, их часть или пространство, для которых выполнена молниезащита, отвечающая требованиям настоящего норматива.

Устройство молниезащиты - система, позволяющая защитить здание или сооружение от воздействий молнии. Она включает в себя внешние и внутренние устройства. В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства.

Устройства защиты от прямых ударов молнии (молниеотводы) - комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Устройства защиты от вторичных воздействий молнии - устройства, ограничивающие воздействия электрического и магнитного полей молнии.

Устройства для выравнивания потенциалов - элементы устройств защиты, ограничивающие разность потенциалов, обусловленную растеканием тока молнии.

Молниеприемник - часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молний.

Токоотвод (спуск) - часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду.

Заземляющий контур - заземляющий проводник в виде замкнутой петли вокруг здания в земле или на ее поверхности.

Сопротивление заземляющего устройства - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Напряжение на заземляющем устройстве - напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

Соединенная между собой металлическая арматура - арматура железобетонных конструкций здания (сооружения), которая обеспечивает электрическую непрерывность.

Опасное искрение - недопустимый электрический разряд внутри защищаемого объекта, вызванный ударом молнии.

Безопасное расстояние - минимальное расстояние между двумя проводящими элементами вне или внутри защищаемого объекта, при котором между ними не может произойти опасного искрения.

Устройство защиты от перенапряжений - устройство, предназначенное для ограничения перенапряжений между элементами защищаемого объекта (например, разрядник, нелинейный ограничитель перенапряжений или иное защитное устройство).

Отдельно стоящий молниеотвод - молниеотвод, молниеприемники и токоотводы которого расположены таким образом, чтобы путь тока молнии не имел контакта с защищаемым объектом.

Молниеотвод, установленный на защищаемом объекте - молниеотвод, молниеприемники и токоотводы которого расположены таким образом, что часть тока молнии может растекаться через защищаемый объект или его заземлитель.

Зона защиты молниеотвода - пространство в окрестности молниеотвода заданной геометрии, отличающееся тем, что вероятность удара молнии в объект, целиком размещенный в его объеме, не превышает заданной величины.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Классификация объектов определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения

Обычные объекты - жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства.

Специальные объекты:

- объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;
- объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);
- прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

ОБЪЕКТ	ТИП ОБЪЕКТА	ПОСЛЕДСТВИЯ УДАРА МОЛНИИ
Обычный	Жилой дом	Отказ электроустановок, пожар и повреждение имущества. Обычно небольшое повреждение предметов, расположенных в месте удара молнии или задетых ее каналом
	Ферма	Первоначально - пожар и занос опасного напряжения, затем - потеря электропитания с риском гибели животных из-за отказа электронной системы управления вентиляцией, подачи корма и т. д.
	Театр; школа; универмаг; спортивное сооружение	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий
	Банк; страховая компания; коммерческий офис	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбои компьютеров с потерей данных
	Больница; детский сад; дом для престарелых	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбои компьютеров с потерей данных. Необходимость помощи тяжелобольным и неподвижным людям
	Промышленные предприятия	Дополнительные последствия, зависящие от условий производства - от незначительных повреждений до больших ущербов из-за потерь продукции
	Музеи и археологические памятники	Невосполнимая потеря культурных ценностей

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

<p>Специальный с ограниченной опасностью</p>	<p>Средства связи; электростанции; пожароопасные производства</p>	<p>Недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций). Косвенная опасность пожара для соседних объектов</p>
<p>Специальный, представляющий опасность для непосредственног о окружения</p>	<p>Нефтеперерабатывающие предприятия; заправочные станции; производства петард и фейерверков</p>	<p>Пожары и взрывы внутри объекта и в непосредственной близости</p>
<p>Специальный, опасный для экологии</p>	<p>Химический завод; атомная электростанция; биохимические фабрики и лаборатории</p>	<p>Пожар и нарушение работы оборудования с вредными последствиями для окружающей среды</p>

Уровни защиты от ПУМ для обычных объектов

Уровень защиты	Надежность защиты от ПУМ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9-0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ по согласованию с органами государственного контроля.

По желанию заказчика в проект может быть заложен уровень надежности, превышающий предельно допустимый.

Категории молниезащиты по СТО Газпром 2-1.11-170

Категория молниезащиты	Класс взрывоопасных / пожароопасных зон	Частота поражения объекта, ударов/год	Эффективность молниезащиты
I	Здания и сооружения с помещениями классов В-I и В-II	-	0,999
II	Здания и сооружения с помещениями классов В-Iа, В-Iб и наружные установки В-IIа	-	0,99
III	Здания и сооружения с помещениями классов П-I, П-II, П-IIа, П-III, содержащих микропроцессорную технику, высотные здания с оборудованием сигнализации и связи, трубы высотой более 6 м	$N > 0,1$	0,99
		$N < 0,1$	0,9
IV	Здания и сооружения не создающие взрывоопасной среды, не содержащие ГСМ и микропроцессорную технику, прожекторные мачты, водонапорные башни и резервуары водоснабжения	-	0,9

Категория молниезащиты зданий и сооружений устанавливается в зависимости от класса взрывоопасной и пожароопасной зоны помещений защищаемого объекта, устанавливаемого ПУЭ (глава 7.3., 7.4), и ожидаемого количества поражений молнией объекта в год.

ПАРАМЕТРЫ ТОКОВ МОЛНИИ

Для каждого уровня молниезащиты должны быть определены предельно допустимые параметры тока молнии. Данные, приведенные в нормативе, относятся к нисходящим и восходящим молниям.

Соотношение полярностей разрядов молнии зависит от географического положения местности. В отсутствие местных данных принимают это соотношение равным 10 % для разрядов с положительными токами и 90 % для разрядов с отрицательными токами.

Механические и термические действия молнии обусловлены пиковым значением тока I , полным зарядом $Q_{\text{полн}}$, зарядом в импульсе $Q_{\text{имп}}$ и удельной энергией W/R . Наибольшие значения этих параметров наблюдаются при положительных разрядах.

Повреждения, вызванные индуцированными перенапряжениями, обусловлены крутизной фронта тока молнии. Крутизна оценивается в пределах 30 %-ного и 90 %-ного уровней от наибольшего значения тока. Наибольшее значение этого параметра наблюдается в последующих импульсах отрицательных разрядов.

СООТВЕТСТВИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОКА МОЛНИИ И УРОВНЕЙ ЗАЩИТЫ

Параметр молнии	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Пиковое значение тока I , кА	200	150	100
Полный заряд $Q_{\text{полн}}$, Кл	300	225	150
Заряд в импульсе $Q_{\text{имп}}$, Кл	100	75	50
Удельная энергия W/R , кДж/Ом	10000	5600	2500
Средняя крутизна $di/dt_{30/90\%}$, кА/мкс	200	150	100

ПЛОТНОСТЬ УДАРОВ МОЛНИИ В ЗЕМЛЮ

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений 1 км^2 земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта.

Если же плотность ударов молнии в землю N_g неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$:

$$N_g = 6,7 \cdot T_d / 100,$$

где T_d - средняя продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

Параметры токов молнии, предлагаемые для нормирования средств защиты от электромагнитных воздействий молнии

Кроме механических и термических воздействий ток молнии создает мощные импульсы электромагнитного излучения, которые могут быть причиной повреждения систем, включающих оборудование связи, управления, автоматики, вычислительные и информационные устройства и т. п. Эти сложные и дорогостоящие системы используются во многих отраслях производства и бизнеса. Их повреждение в результате удара молнии крайне нежелательно по соображениям безопасности, а также по экономическим соображениям.

Удар молнии может содержать либо единственный импульс тока, либо состоять из последовательности импульсов, разделенных промежутками времени, за которые протекает слабый сопровождающий ток. Параметры импульса тока первого компонента существенно отличаются от характеристик импульсов последующих компонентов. Ниже приводятся данные, характеризующие расчетные параметры импульсов тока первого и последующих импульсов, а также длительного тока в паузах между импульсами для обычных объектов при различных уровнях защиты.

ПАРАМЕТРЫ ПЕРВОГО ИМПУЛЬСА ТОКА МОЛНИИ

Параметр тока	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Максимум тока I , кА	200	150	100
Длительность фронта T_1 , мкс	10	10	10
Время полуспада T_2 , мкс	350	350	350
Заряд в импульсе $Q_{\text{сум}}^*$, Кл	100	75	50
Удельная энергия в импульсе W/R^{**} , МДж/Ом	10	5,6	2,5

ПАРАМЕТРЫ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИМПУЛЬСА ТОКА МОЛНИИ

Параметр тока	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Максимум тока I , кА	50	37,5	25
Длительность фронта T_1 , мкс	0,25	0,25	0,25
Время полуспада T_2 , мкс	100	100	100
Средняя крутизна a , кА/мкс	200	150	100

ПАРАМЕТРЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ТОКА МОЛНИИ В ПРОМЕЖУТКЕ МЕЖДУ ИМПУЛЬСАМИ

Параметр тока	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Заряд $Q_{дл}^*$, Кл	200	150	100
Длительность T , с	0,5	0,5	0,5

Форма импульсов тока определяется следующим выражением:

$$i(t) = [I(t/\tau_1)^{10} \cdot \exp(-t/\tau_2)] / h \cdot [1 + (t/\tau_1)^{10}],$$

где I - максимум тока;

h - коэффициент, корректирующий значение максимума тока;

t - время;

τ_1 - постоянная времени для фронта;

τ_2 - постоянная времени для спада.

ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ТОКА МОЛНИИ

Параметр	Первый импульс			Последующий импульс		
	Уровень защиты			Уровень защиты		
	I	II	III, IV	I	II	III, IV
I , кА	200	150	100	50	37,5	25
h	0,93	0,93	0,93	0,993	0,993	0,993
τ_1 , мкс	19,0	19,0	19,0	0,454	0,454	0,454
τ_2 , мкс	485	485	485	143	143	143

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). В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты.

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.

Токи молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле.

ВНЕШНЯЯ МОЛНИЕЗАЩИТНАЯ СИСТЕМА

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. В случае специального изготовления их материал и сечения должны удовлетворять требованиям табл

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ²		
		молниеприемника	токоотвода	заземлителя
I-IV	Сталь	50	50	80
I-IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I-IV	Медь	35	16	50

**ТОЛЩИНА КРОВЛИ, ТРУБЫ ИЛИ КОРПУСА РЕЗЕРВУАРА,
ВЫПОЛНЯЮЩИХ ФУНКЦИИ
ЕСТЕСТВЕННОГО МОЛНИЕПРИЕМНИКА**

Уровень защиты	Материал	Толщина t, мм, не менее
I-IV	Железо	4
I-IV	Медь	5
I-IV	Алюминий	7

СРЕДНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТОКООТВОДАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ

Уровень защиты	Среднее расстояние, м
I	10
II	15
III	20
IV	25

ТИПЫ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ



**Отдельностоящий
молниеотвод**



Молниеотвод, установленный на защищаемом объекте

ТИПЫ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ



**Стержневой (вертикальный)
молниеприёмник**

ТИПЫ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ



Тросовый (горизонтальный протяжённый) молниеприёмник

ТИПЫ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ



Молниеприёмная сетка

ТИПЫ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ



Использование молниеприёмной сетки для защиты оборудования на кровле



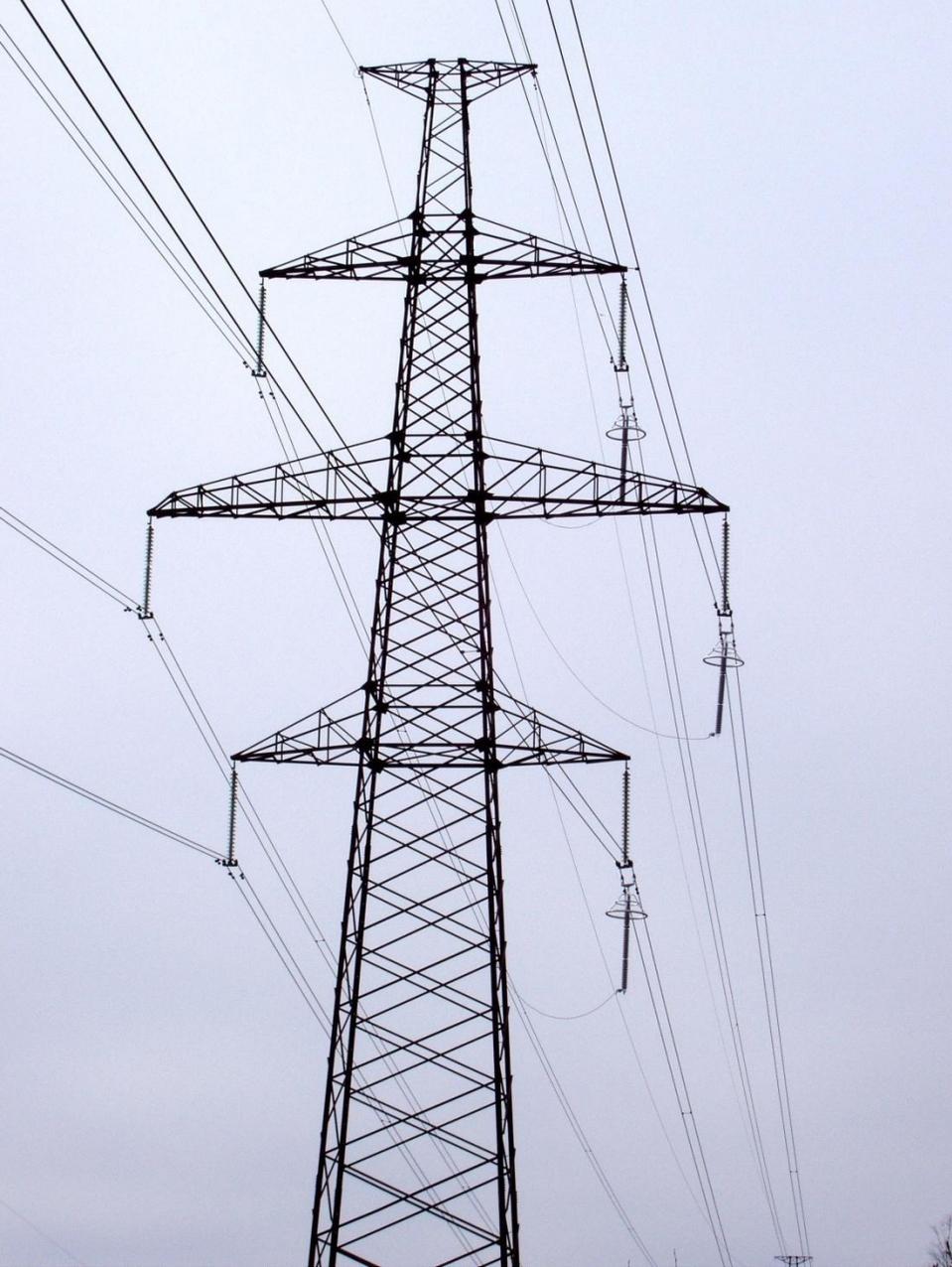




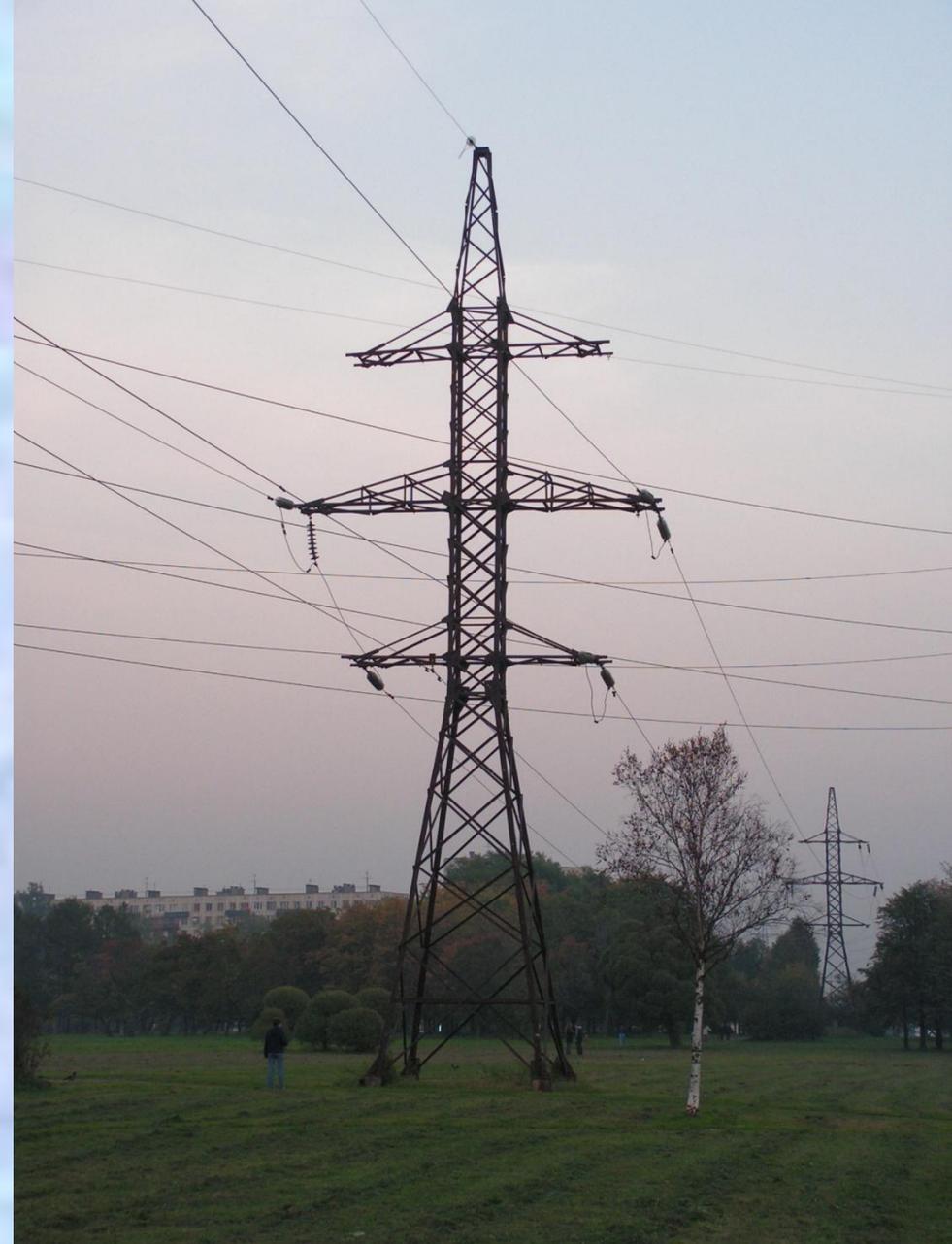






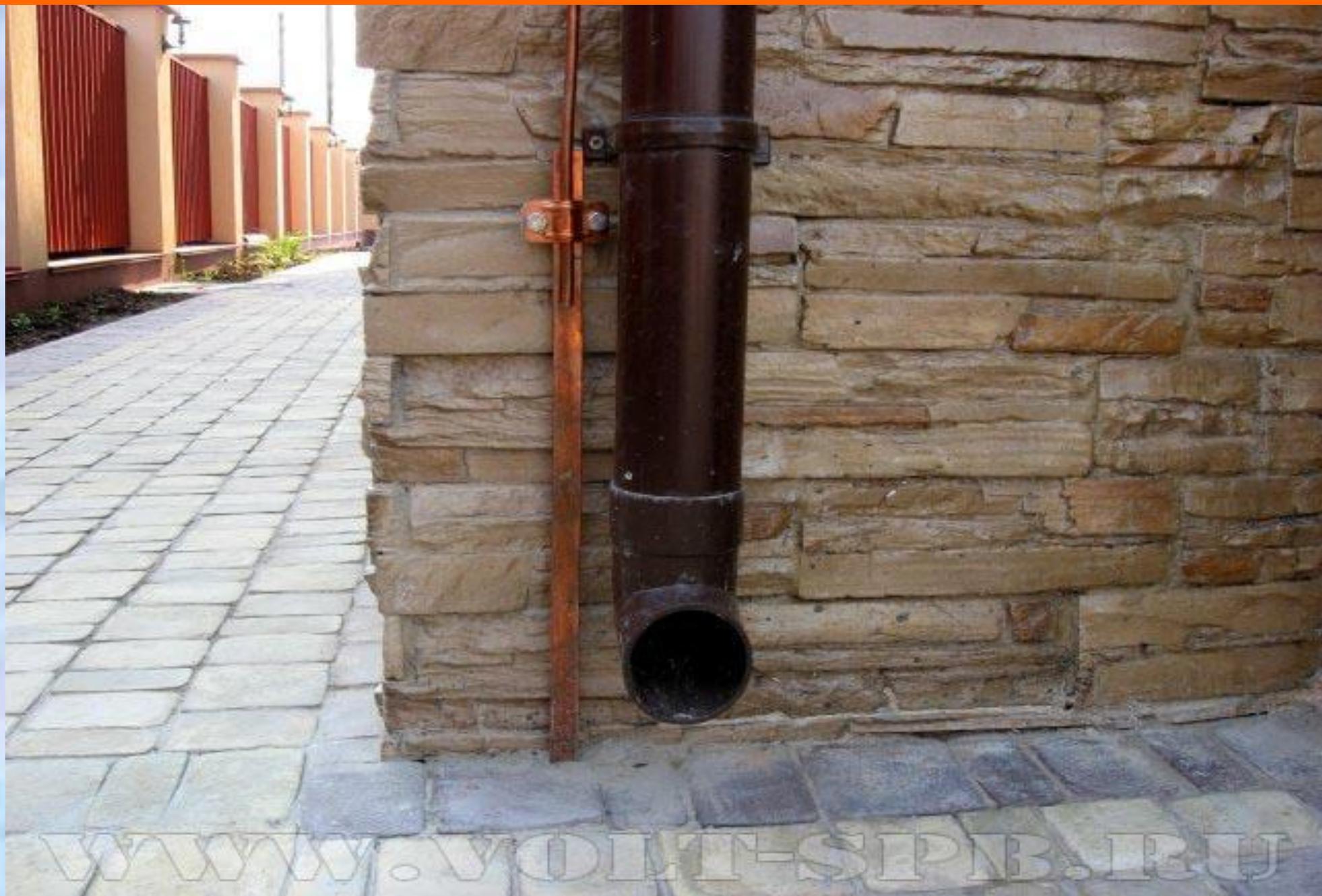


Промежуточная одностоечная двухцепная опора
150 кВ с расщепленным фазным проводом.



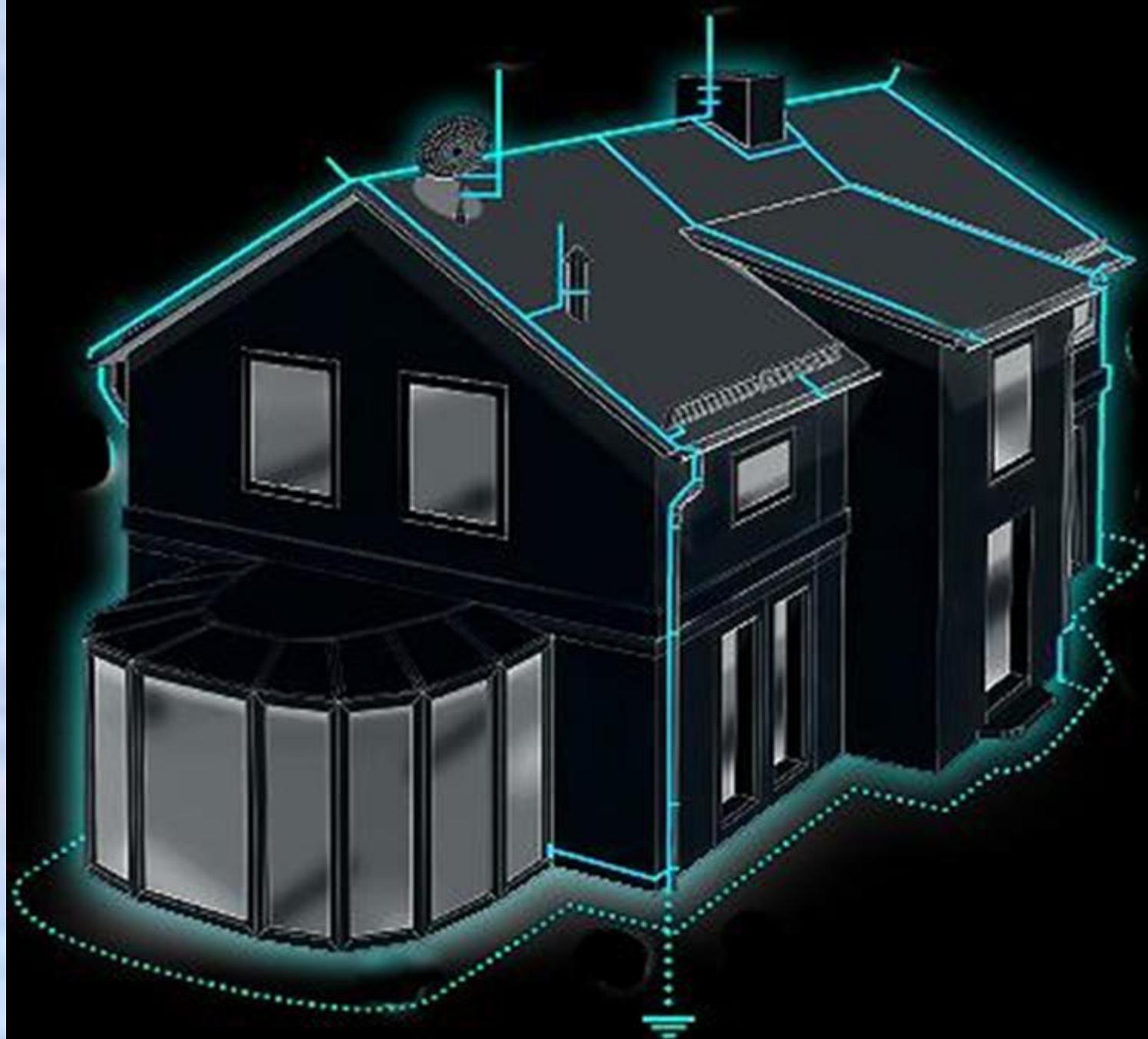
Промежуточная свободностоящая одностоечная
опора 35 кВ.

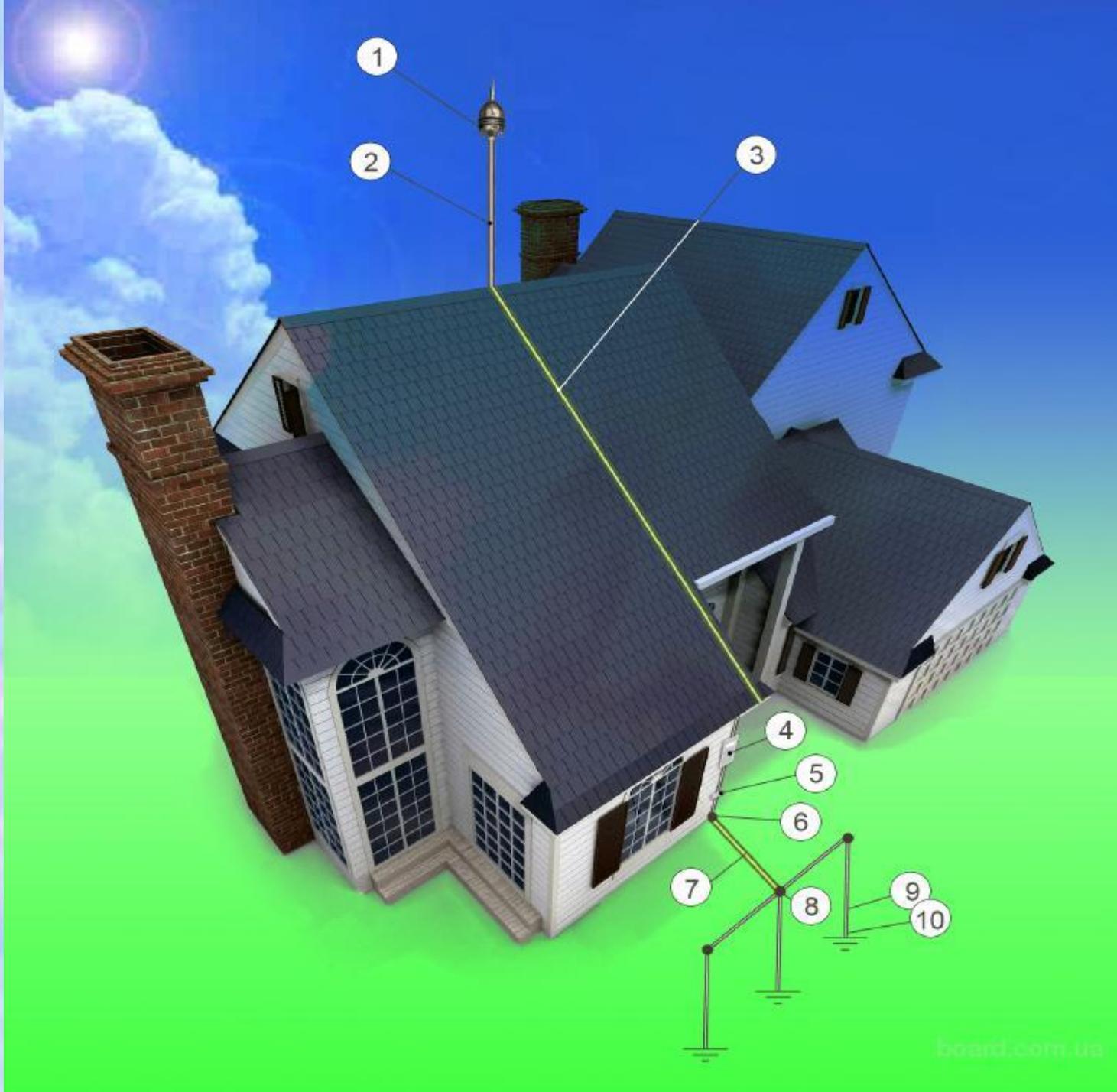
ТОКООТВОДЫ







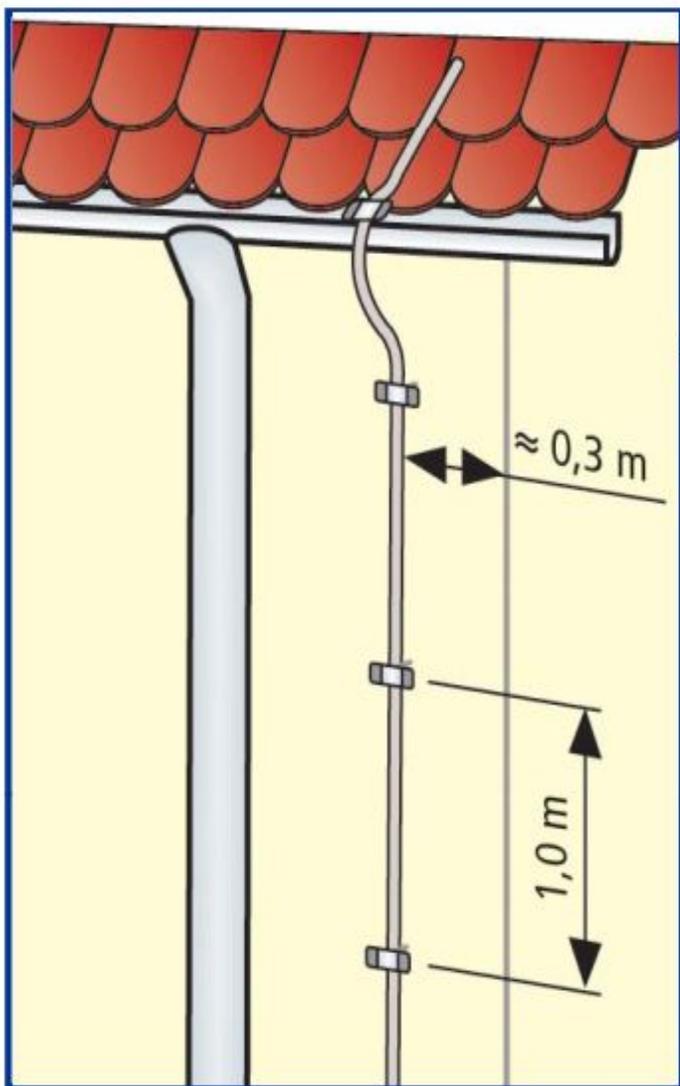








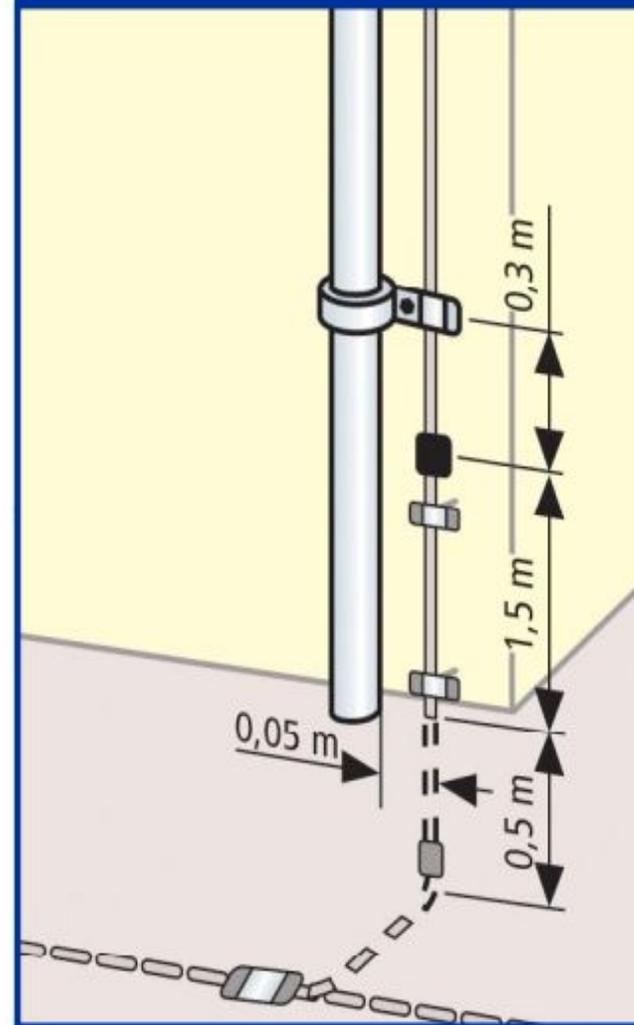
ТОКОТВОДЫ. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОНТАЖУ



Примечание:
В случае
использования
теплоизоляционных
материалов
расстояние должно
быть увеличено!

ТОКОТВОД

**Соединение
токоотводов с системой
заземления**



ТОКООТВОДЫ. МОНТАЖ НА СТЕНЕ И ВОДОСТОЧНОЙ ТРУБЕ



Настенный
держатель
Арт. № 273 687

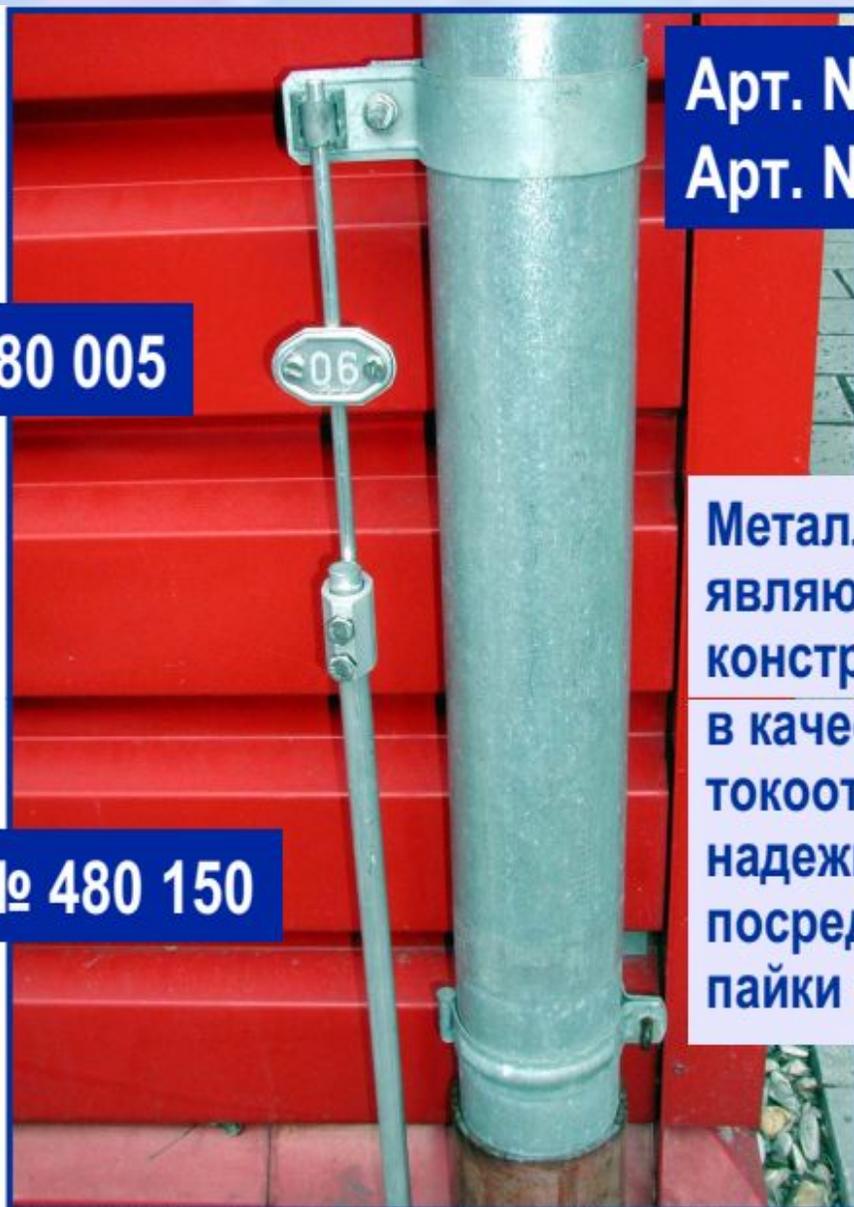
A close-up photograph of a wall-mounted wire holder. The holder is a copper-colored metal bracket with two screws on the left side, mounted on a light-colored, textured wall. A thin copper wire is threaded through the center of the holder.



Держатель
провода на
водосточной
трубе
Тип PS
Арт. № 200 057

A close-up photograph of a wire holder mounted on a dark brown downspout. The holder is a copper-colored metal bracket with a single screw on the right side. A thin copper wire is wrapped around the downspout and held in place by the holder.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ТОКООТВОДЫ. ВОДОСТОЧНАЯ ТРУБА



Арт. № 420 100 +
Арт. № 301 000

Арт. № 480 005

Арт. № 480 150

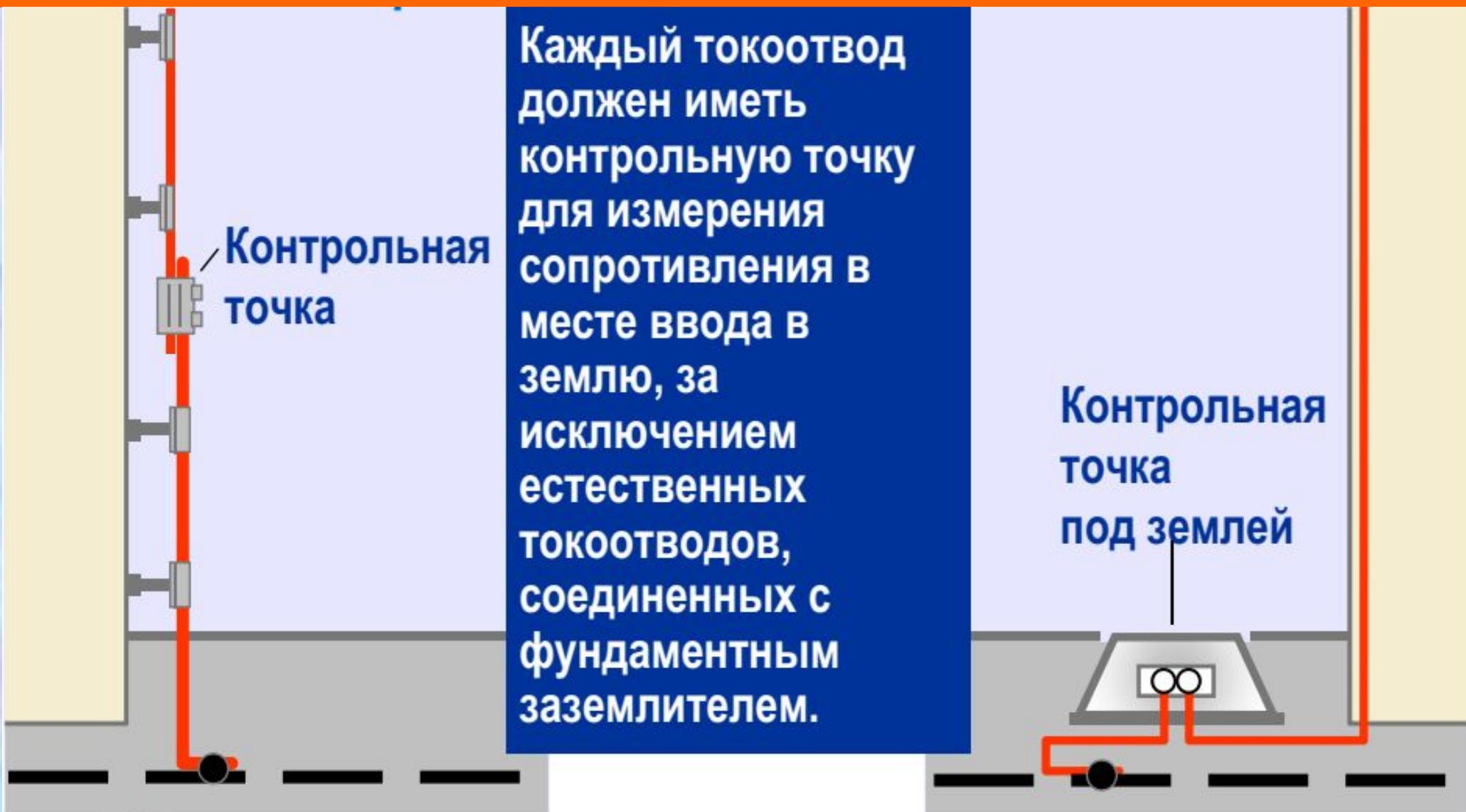
Металлическая водосточная труба, являющаяся частью строительной конструкции, может использоваться в качестве естественного токоотвода в случае гарантии надежного электрического контакта посредством высокотемпературной пайки или болтового соединения.



DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2006-10, глава 5.3.5 + 5.5.2

© 2007 DEHN + SÖHNE / protected by ISO 16016

МОНТАЖ ТОКООТВОДОВ. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ



Стандарт: DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2006-10, Глава 5.3.6

© 2007 DEHN + SÖHNE / protected by ISO 16016



МОНТАЖ ТОКООТВОДОВ. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Держатель проволоки
Тип DEHNsnap
Арт. № 204 001

Шильдик
Арт. № 480 005

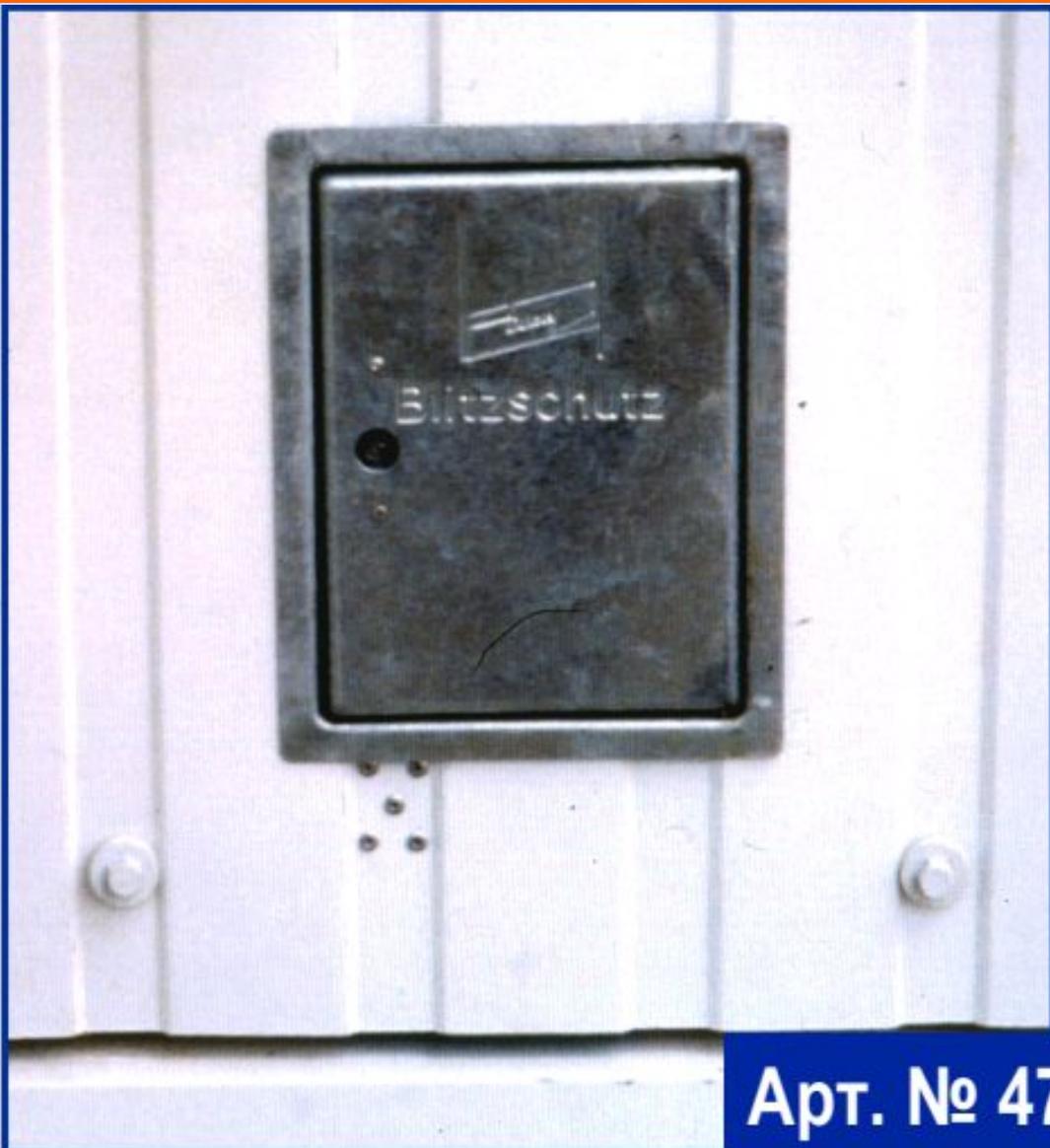
Разделительная клемма
Арт. № 450 000

Стержень земляного ввода
Арт. № 480 022

Держатель стержня
Арт. № 275 916



МОНТАЖ ТОКООТВОДОВ. ИНСПЕКЦИОННАЯ ДВЕРЦА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СТЕНЕ



Арт. № 476 001

МОНТАЖ ТОКООТВОДОВ. ИНСПЕКЦИОННЫЙ ЛЮЧОК ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ В ЗЕМЛЕ

Арт. № 549 001

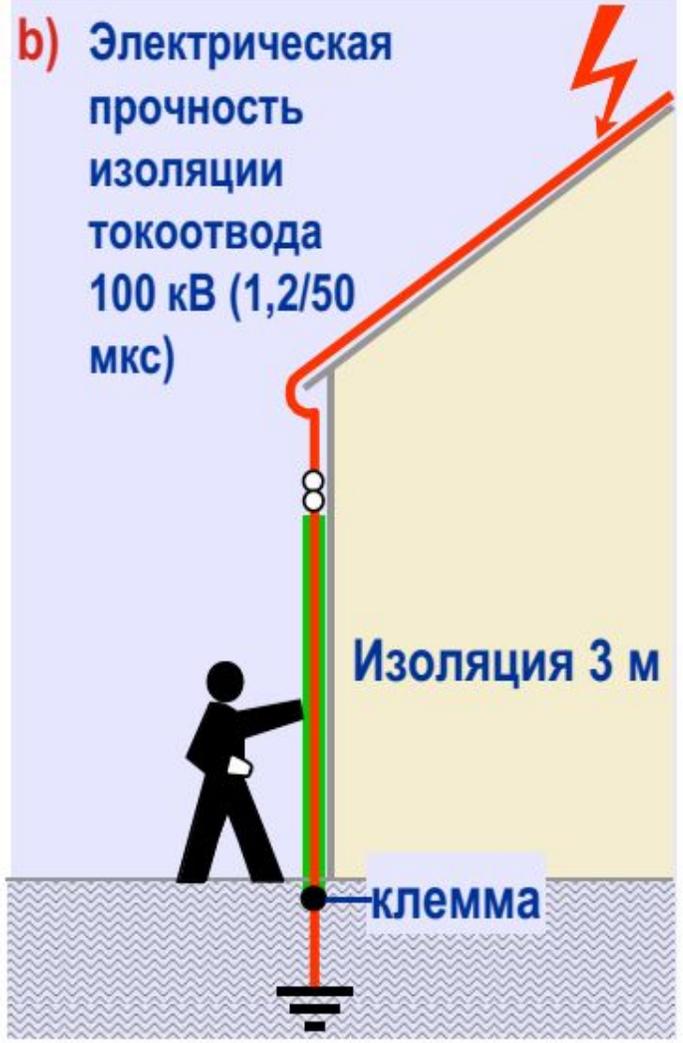


Встроенная
клемма с
разрывом

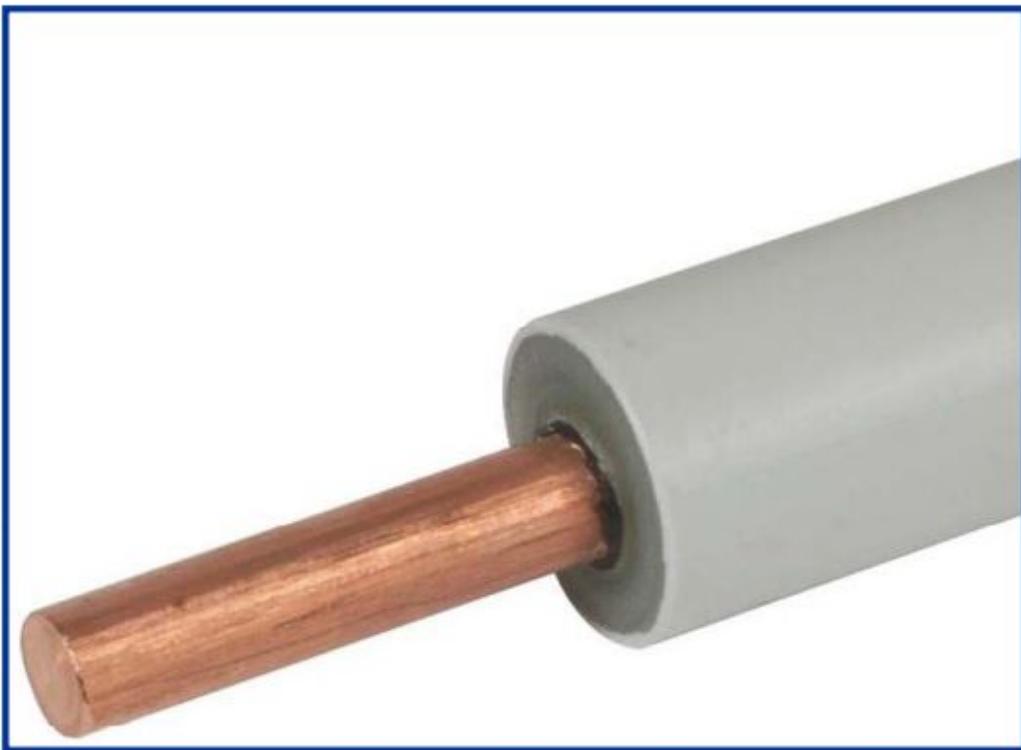


БЕЗОПАСНЫЕ ТОКОТВОДЫ. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПО СНИЖЕНИЮ УГРОЗЫ ЖИЗНИ, ВЫЗВАННОЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШАГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ / НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ

Нет угрозы жизни если...



БЕЗОПАСНЫЕ ТОКОТВОДЫ. СИ – ПРОВОДНИК ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОПАСНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ



СИ-проводник

Изоляция:	сетчатый полиэтилен
Импульсная электрическая прочность изоляции:	100кВ (1,2/50мкс)
Сердечник:	Медь (мягкая)
Сечение:	50 мм ² (Ø 8 мм)
Внешний диаметр:	~ 20 мм
Защитный слой:	полиэтилен серый
Арт. № 830 208	Длина 3,5 м
Арт. № 830 218	Длина 5 м

БЕЗОПАСНЫЕ ТОКООТВОДЫ. ПРИМЕР МОНТАЖА СИ – ПРОВОДНИКА



МАТЕРИАЛ И МИНИМАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕЙ МЗС

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ²		
		молниеприемника	токоотвода	заземлителя
I-IV	Сталь	50	50	80
I-IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I-IV	Медь	35	16	50

ТОЛЩИНА КРОВЛИ, ТРУБЫ ИЛИ КОРПУСА РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ФУНКЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО МОЛНИЕПРИЕМНИКА

Уровень защиты	Материал	Толщина t , мм, не менее
I-IV	Железо	4
I-IV	Медь	5
I-IV	Алюминий	7

СРЕДНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТОКООТВОДАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ

Уровень защиты	Среднее расстояние, м
I	10
II	15
III	20
IV	25

ЕСТЕСТВЕННЫЕ МОЛНИЕПРИЕМНИКИ



Минимальная толщина металлических листов или труб, используемых в качестве естественных молниеприемников

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2006-10

Класс молниезащиты	Материал	Толщина ^a t мм	Толщина ^b t' мм
С I по IV	Свинец	–	2,0
	Сталь(оцинкованная, нержавеющая)	4	0,5
	Титан	4	0,5
	Медь	5	0,5
	Алюминий	7	0,65
	Цинк	–	0,7

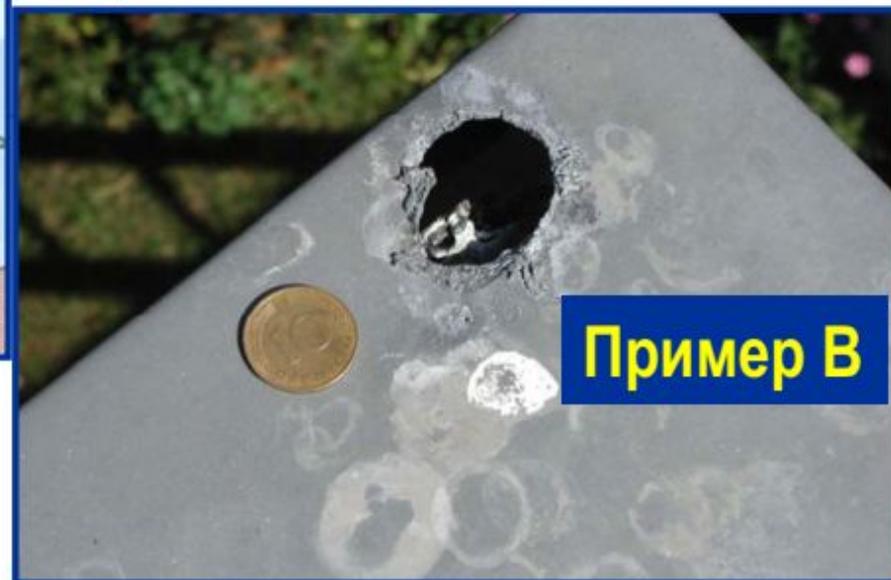
^a t исключаются возникновение отверстий, перегрев и воспламенение.

^b t' только для металлических листов, если нет жестких требований к отсутствию возникновения отверстий в металле и воспламенения.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ МОЛНИЕПРИЕМНИКИ



Примеры повреждения металлических кровель от разрядов молнии



Офис BLIDS – SIEMENS г. Neumarkt
07.07.2001, 17:34
Ток молнии I = 20400 А

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ПЕРВОЙ КАТЕГОРИИ

Тип МЗ	Использование молниеприёмной сетки	Расстояние между токоотводами, м	Безопасное расстояние по воздуху от молниеотвода до объекта, м
Отдельностоящие стержневые или тросовые молниеотводы	Только как дополнительное средство ¹	10	- при $\rho \leq 500 \text{ Ом*м}$: $S_{в} \geq 7 \text{ м}$; - при $500 \leq \rho \leq 2500 \text{ Ом*м}$: $S_{в} = 7 + 3 * 10^{-3} (\rho - 500)$; - при $\rho > 2500 \text{ Ом*м}$: $S_{в} = 15 \text{ м}$.

Примечание.

¹ – допускается для защиты технологического оборудования размещённого на крыше объектов при условии возвышения сетки над уровнем кровли не менее 7 метров с размером ячейки не более 6х6 метров.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ВТОРОЙ КАТЕГОРИИ

Тип МЗ	Использование молниеприёмной сетки	Расстояние между токоотводами, м	Безопасное расстояние по воздуху от молниеотвода до объекта, м
Отдельностоящие или установленные на объекте стержневые или тросовые молниеотводы, естественные молниеприёмники (металлическая кровля, кровельные конструкции) ¹	Только как дополнительное средство ²	15	Не нормируется. При наличии взрывоопасных зон рассчитывается по I категории

Примечание.

¹ – при соблюдении требований п.5.2.3.3 Рекомендаций Р Газпром 2-6.2-676-2012.

² – допускается для защиты технологического оборудования размещённого на крыше объектов при условии возвышения сетки над уровнем кровли не менее 7 метров с размером ячейки не более 6х6 метров.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ТРЕТЬЕЙ КАТЕГОРИИ

Тип МЗ	Использование молниеприёмной сетки, м	Расстояние между токоотводами, м	Безопасное расстояние по воздуху от молниеотвода до объекта, м
Установленные на объекте стержневые или тросовые молниеотводы, молниеприёмные сетки, естественные молниеприёмники (металлическая кровля, кровельные конструкции) ¹	Размер ячейки 6x6	20	Не нормируется

Примечание.

¹ – при соблюдении требований п.5.2.3.3 Рекомендаций Р Газпром 2-6.2-676-2012.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ЧЕТВЁРТОЙ КАТЕГОРИИ

Тип МЗ	Использование молниеприёмной сетки, м	Расстояние между токоотводами, м	Безопасное расстояние по воздуху от молниеотвода до объекта, м
Установленные на объекте стержневые молниеотводы, молниеприёмные сетки, естественные молниеприёмники (металлическая кровля, кровельные конструкции) ¹	Размер ячейки 12x12 м	25	Не нормируется

Примечание.

¹ – при соблюдении требований п.5.2.3.3 Рекомендаций Р Газпром 2-6.2-676-2012.

ВЫБОР МОЛНИЕОТВОДОВ

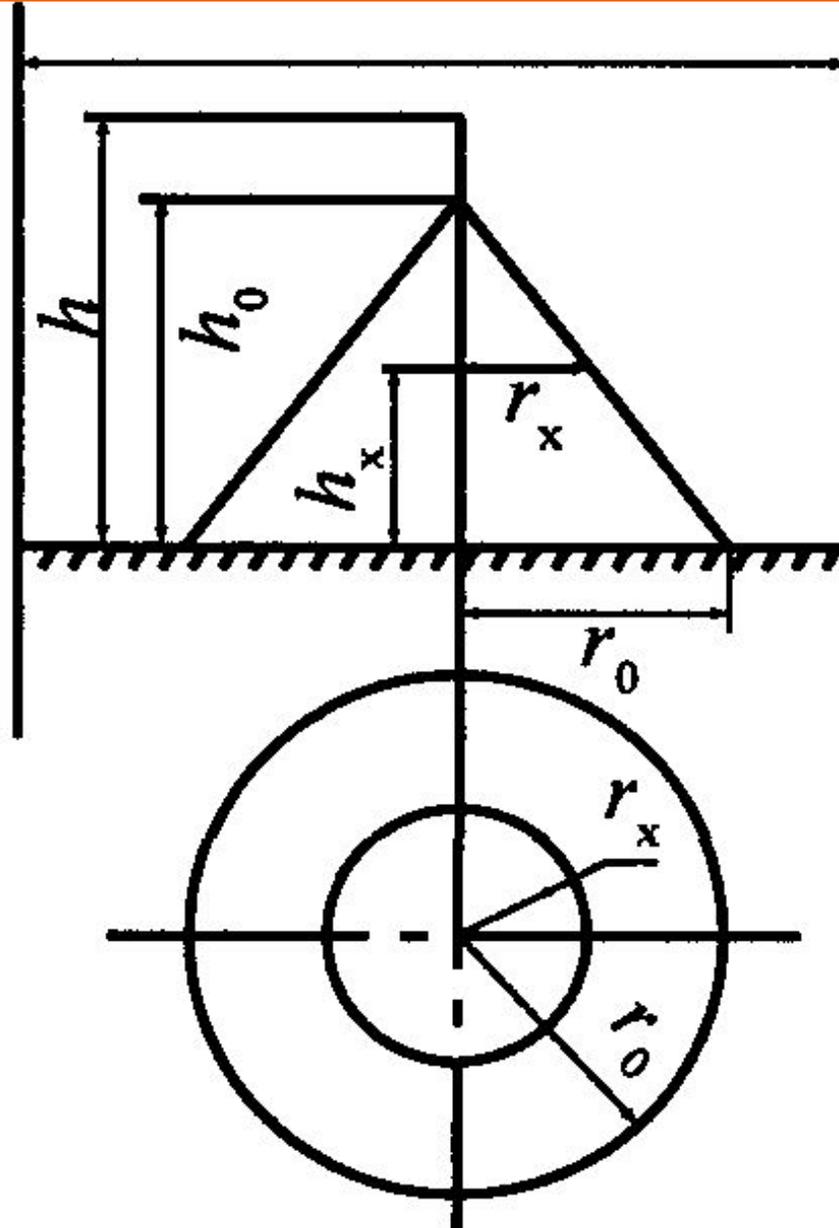
Выбор типа и высоты молниеотводов производится исходя из значений требуемой надежности P_3 . Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты не менее P_3 .

Во всех случаях система защиты от прямых ударов молнии выбирается так, чтобы максимально использовались естественные молниеотводы, а если обеспечиваемая ими защищенность недостаточна - в комбинации со специально установленными молниеотводами.

В общем случае выбор молниеотводов должен производиться при помощи соответствующих компьютерных программ, способных вычислять зоны защиты или вероятность прорыва молнии в объект (группу объектов) любой конфигурации при произвольном расположении практически любого числа молниеотводов различных типов.

Если защита объекта обеспечивается простейшими молниеотводами (одиночным стержневым, одиночным тросовым, двойным стержневым, двойным тросовым, замкнутым тросовым), размеры молниеотводов можно определять, пользуясь заданными в настоящем нормативе зонами защиты.

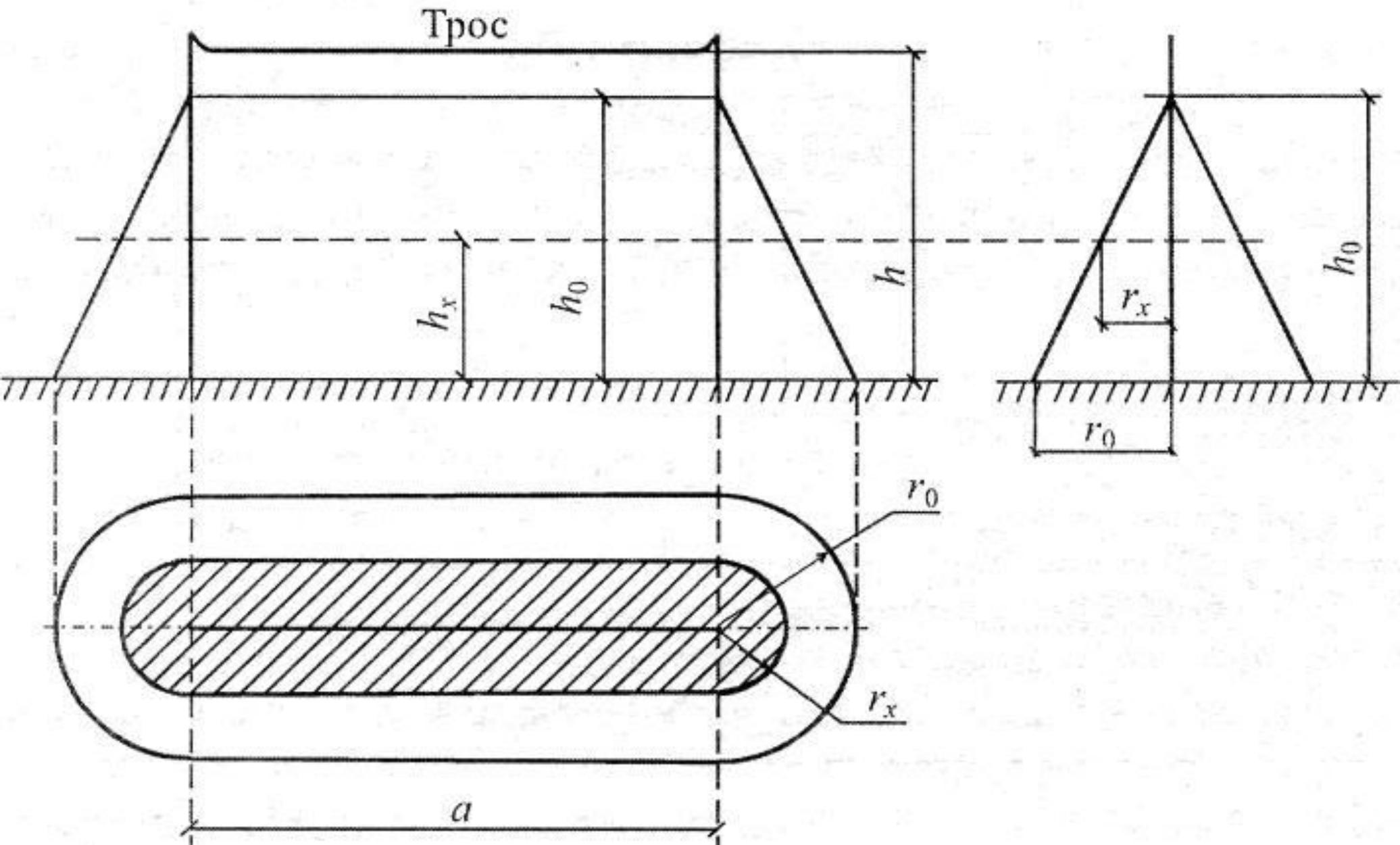
ЗОНА ЗАЩИТЫ ОДИНОЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА



РАСЧЁТ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА

Надёжность защиты	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	От 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	От 100 до 150	$0,85h$	$(1,2-10^{-3}(h-100))h$
0,99	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$(0,8-1,43*10^{-3}(h-30))h$
	От 100 до 150	$(0,8-10^{-3}(h-100))h$	$(0,7-1,27*10^{-3}(h-100))h$
0,999	От 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	От 30 до 100	$(0,7-7,14*10^{-4}(h-30))h$	$(0,6-1,97*10^{-3}(h-30))h$
	От 100 до 150	$(0,65-10^{-3}(h-100))h$	$(0,46-2,24*10^{-3}(h-100))h$

ЗОНА ЗАЩИТЫ ОДИНОЧНОГО ТРОСОВОГО МОЛНИЕОТВОДА

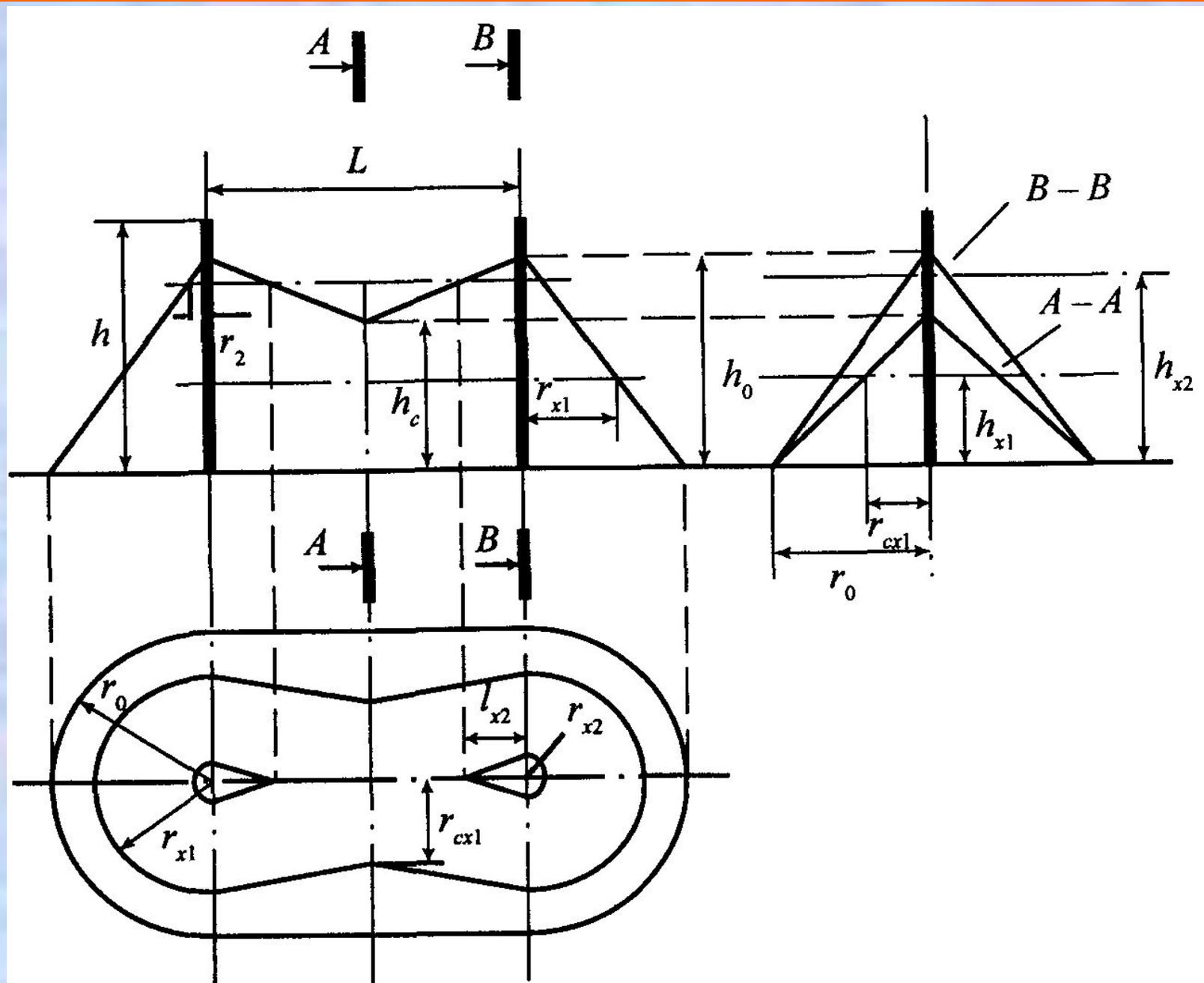


РАСЧЕТ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ОДИНОЧНОГО ТРОСОВОГО МОЛНИЕОТВОДА

Надежность защиты P_3	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	От 0 до 150	$0,87h$	$1,5h$
0,99	От 0 до 30	$0,8h$	$0,95h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$[0,95-7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$0,8h$	$[0,9-10^{-3}(h-100)]h$
0,999	От 0 до 30	$0,75h$	$0,7h$
	От 30 до 100	$[0,75-4,28 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,7-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,72-10^{-3}(h-100)]h$	$[0,6-10^{-3}(h-100)]h$



ЗОНА ЗАЩИТЫ ДВОЙНОГО СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА



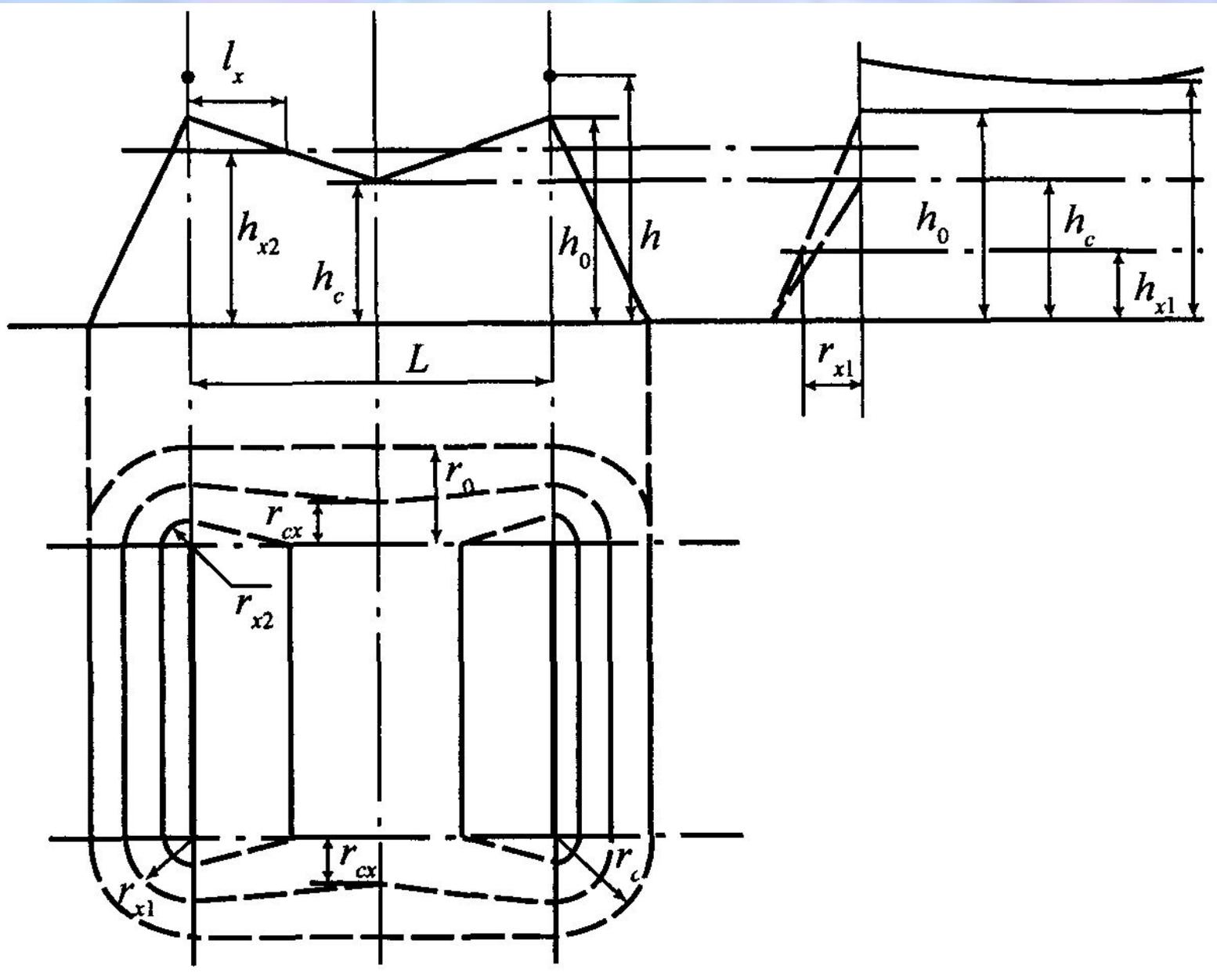
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ДВОЙНОГО СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА

Надежность защиты P_3	Высота молниеотвода h , м	L_{\max} , м	L_0 , м
0,9	От 0 до 30	$5,75h$	$2,5h$
	От 30 до 100	$[5,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$2,5h$
	От 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	От 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[2,25-0,01007(h-30)]h$
	От 100 до 150	$4,5h$	$1,5h$
0,999	От 0 до 30	$4,25h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$[4,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[2,25-0,01007(h-30)]h$
	От 100 до 150	$4,0h$	$1,5h$





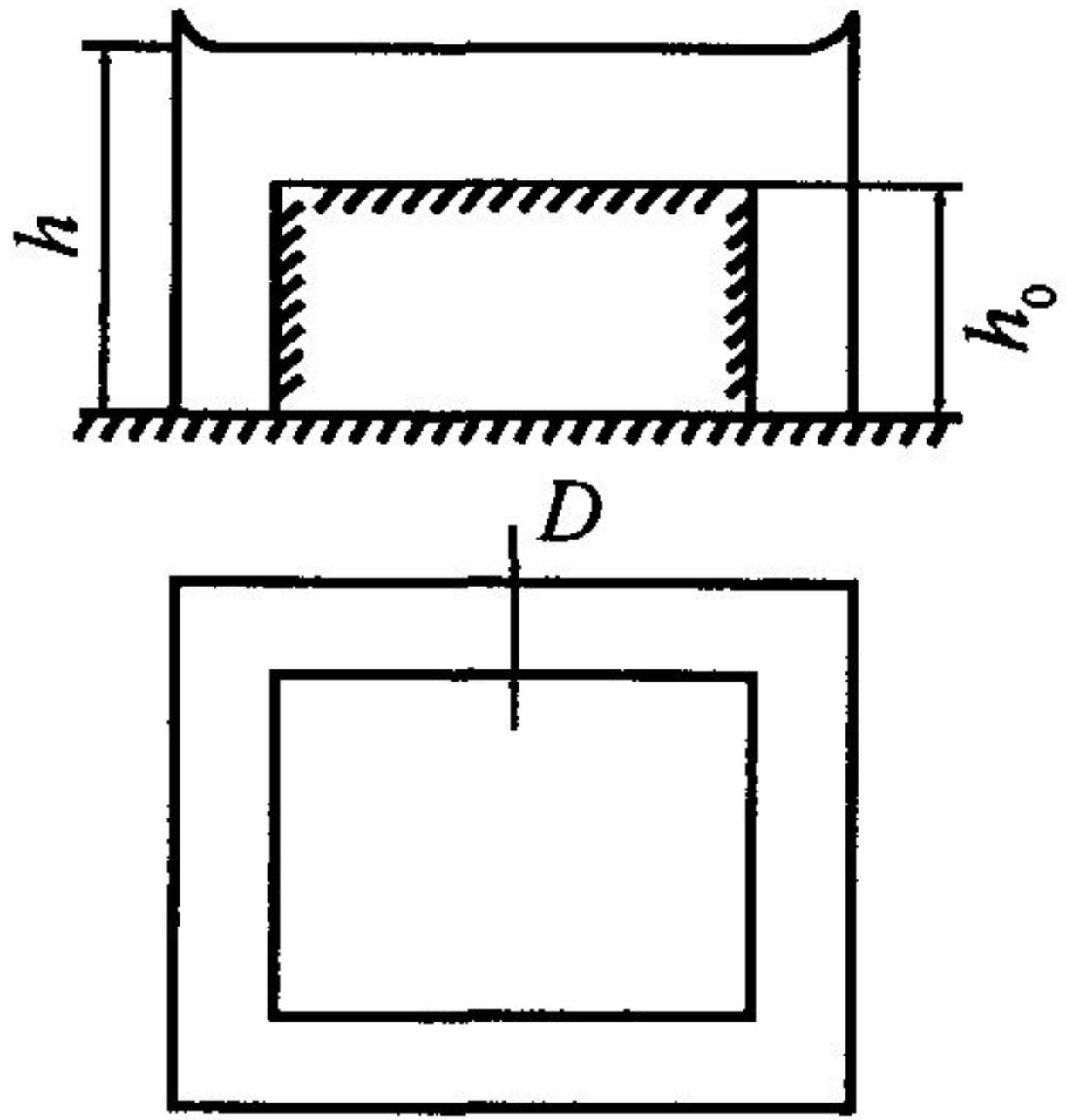
ЗОНА ЗАЩИТЫ ДВОЙНОГО ТРОСОВОГО МОЛНИЕОТВОДА



РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ДВОЙНОГО ТРОСОВОГО МОЛНИЕОТВОДА

Надежность защиты P_3	Высота молниеотвода h , м	L_{\max} , м	L_c , м
0,9	от 0 до 150	$6,0h$	$3,0h$
0,99	от 0 до 30	$5,0h$	$2,5h$
	от 30 до 100	$5,0h$	$[2,5-7,14 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	от 100 до 150	$[5,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$	$[2,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$
0,999	от 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	от 30 до 100	$[4,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$	$[2,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	от 100 до 150	$[4,5-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$	$[2,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

ЗОНА ЗАЩИТЫ ЗАМКНУТОГО ТРОСОВОГО МОЛНИЕОТВОДА

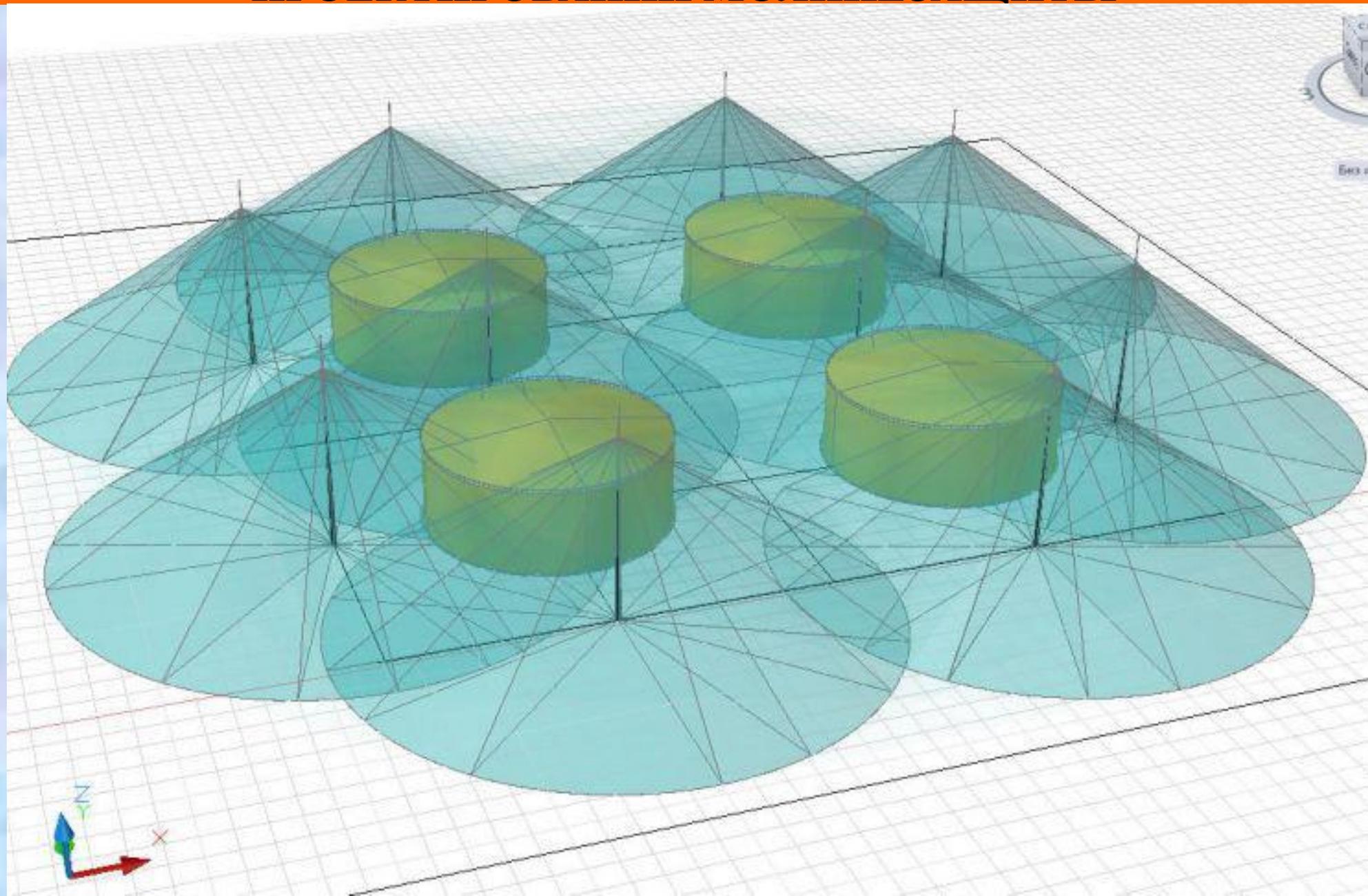






2006-06-28

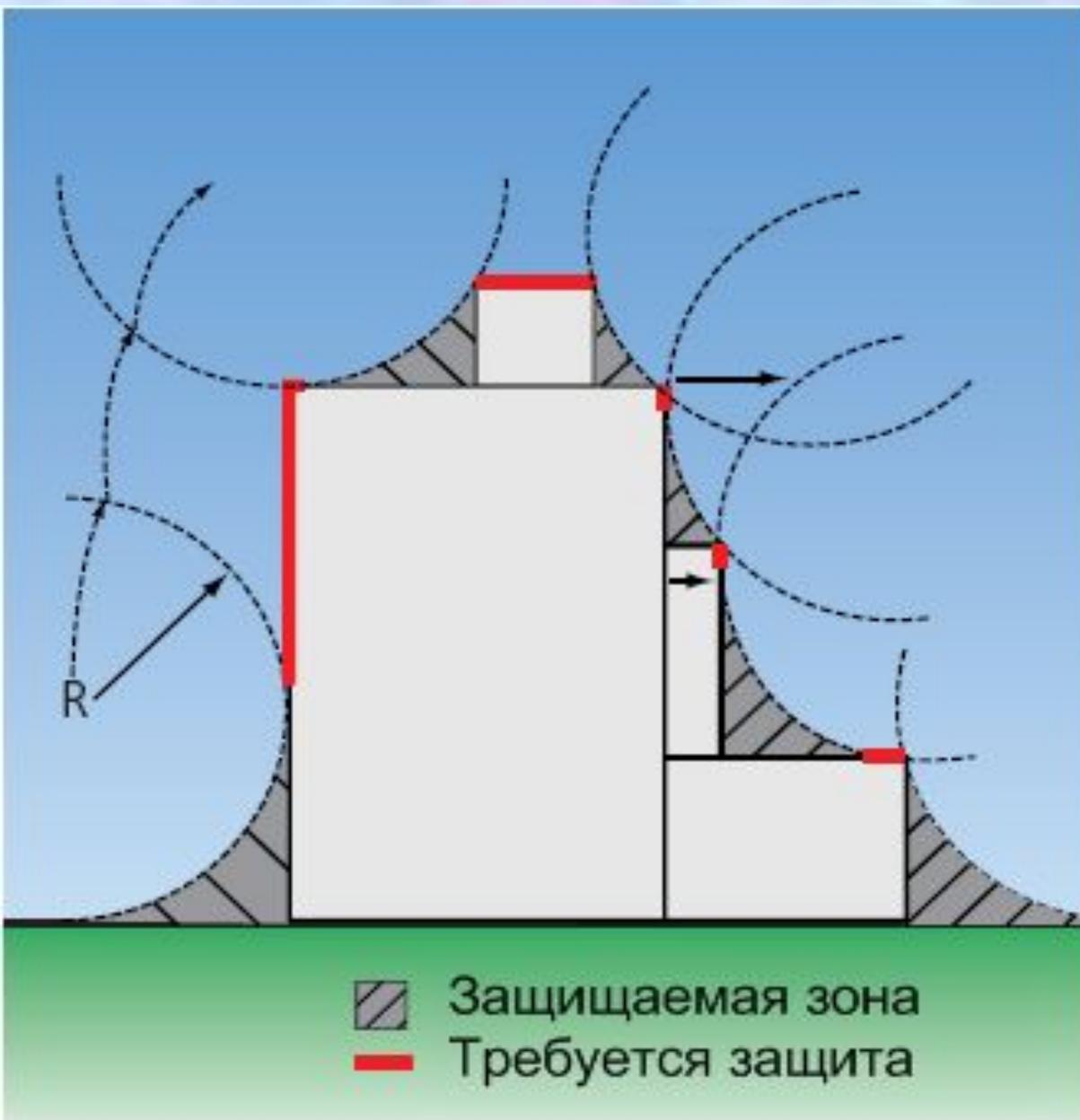
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОЛНИЕЗАЩИТЫ



Расчёт зон защиты по стандартам МЭК

Уровень защиты	Радиус фиктивной сферы R; м	Шаг ячейки сетки; м	Угол α_0 при вершине молниеотвода для зданий различной высоты h, м				Расстояние между токоотводами; м
			20	30	45	60	
I	20	5	25	*	*	*	10
II	30	10	35	25	*	*	15
III	45	10	45	35	25	*	20
IV	60	20	55	45	35	25	25

МЕТОД ФИКТИВНОЙ СФЕРЫ



$$d = 2\sqrt{2rh - h^2}$$

где,

d – расстояние между стержнями;

r – радиус фиктивной сферы;

h – высота стержней.

При применении данного метода положение системы молниеприемника считается соответствующим, если ни одна

из точек защищаемого здания не соприкасается со сферой в зависимости от уровня защиты,

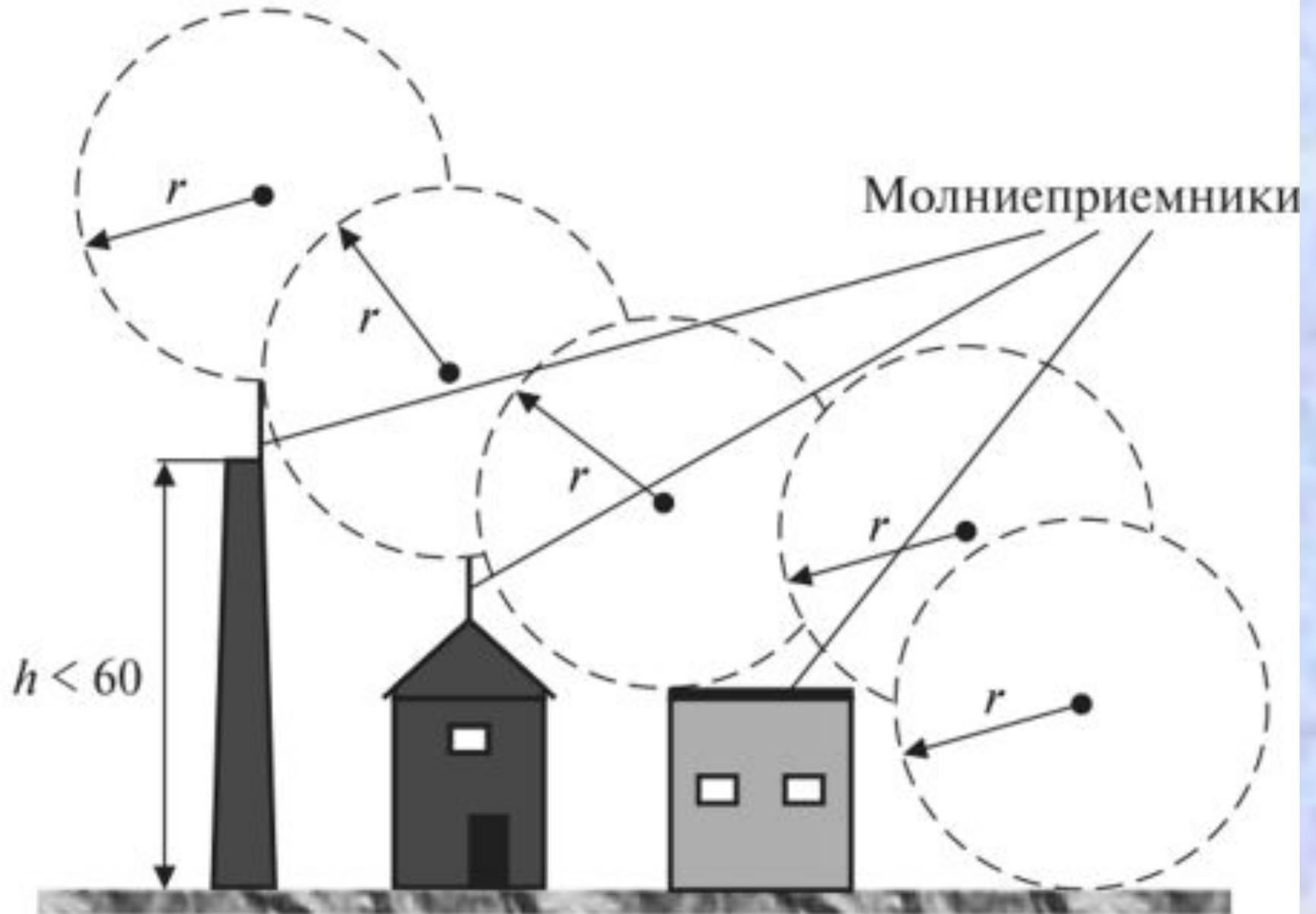
катящейся вокруг и по верху здания во всех возможных направлениях. В этом случае

фиктивная сфера касается только молниеприемника

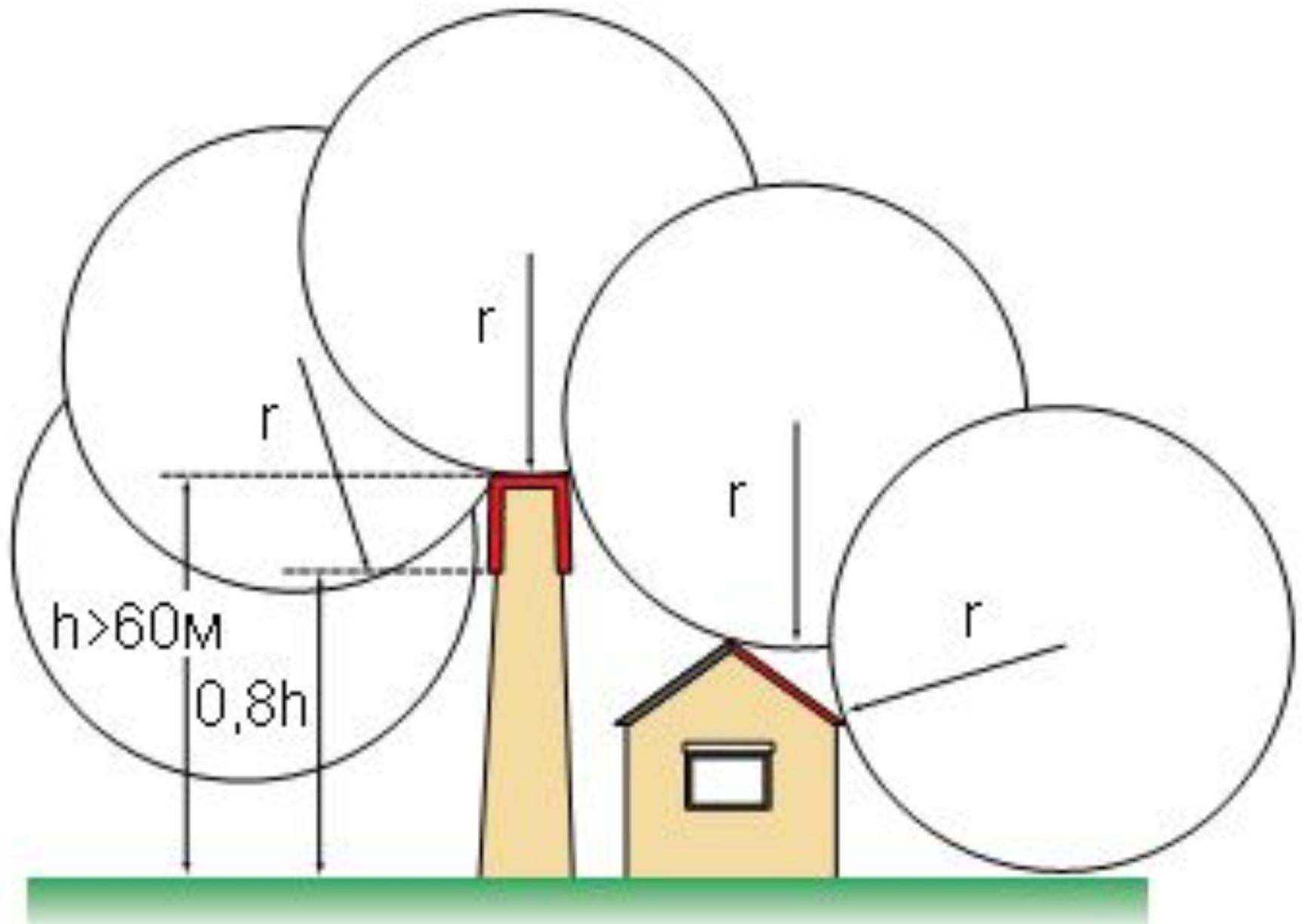
МЕТОД ФИКТИВНОЙ СФЕРЫ

Высота стержня; м	Расстояние между молниеприёмниками (шаг ячейки сетки); м			
	Уровень защиты			
	I (r=20м)	II (r=30м)	III (r=45м)	IV (r=60м)
0,5	8,8 (6,2)	10,9 (7,7)	13,3 (9,4)	15,4 (10,9)
1	12,4 (8,8)	15,3 (10,8)	18,8 (13,3)	21,8 (15,4)
1,5	15,2 (10,7)	18,7 (13,2)	23,0 (16,2)	26,6 (18,8)
2	17,4 (12,3)	21,5 (15,2)	26,5 (18,7)	30,7 (21,7)

МЕТОД ФИКТИВНОЙ СФЕРЫ

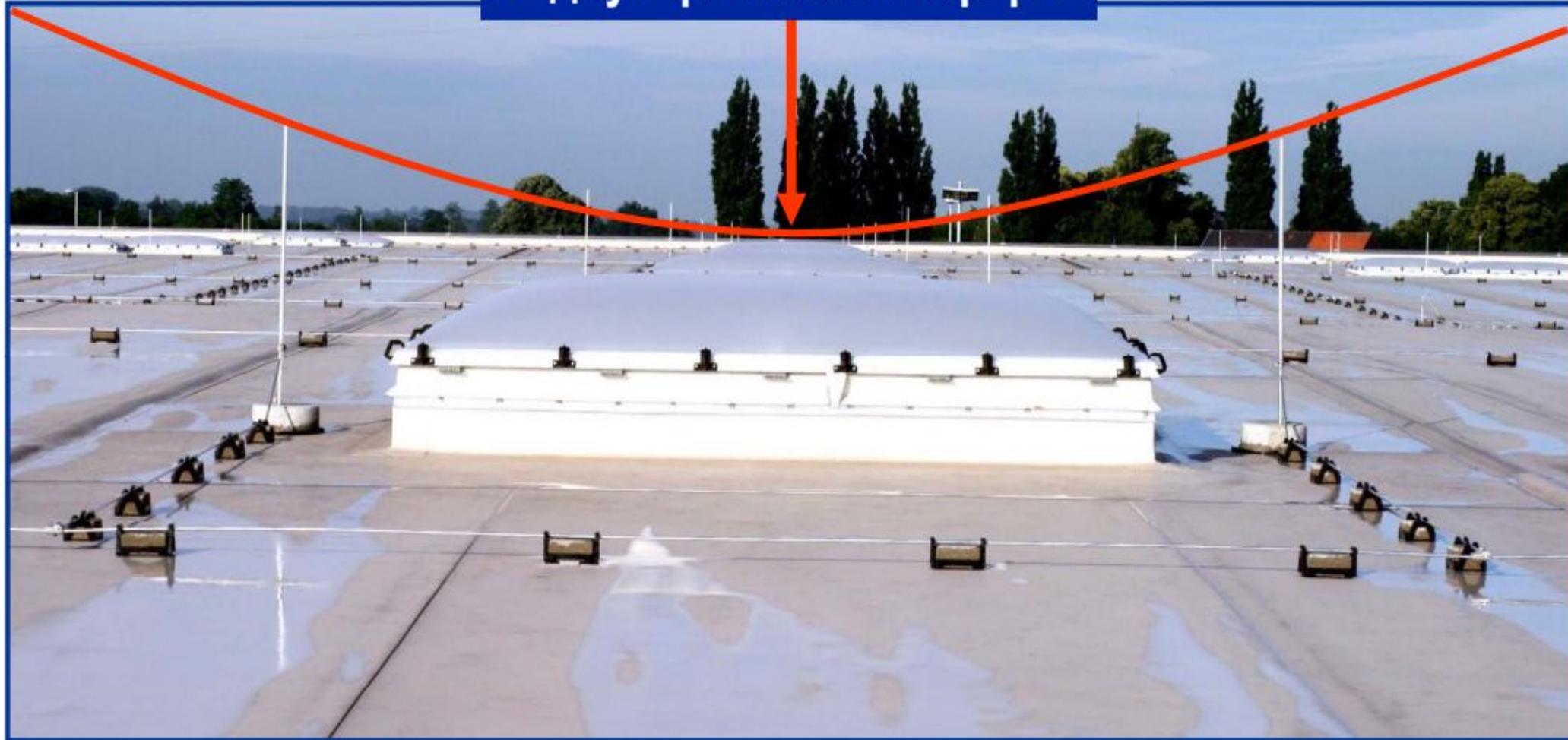


МЕТОД ФИКТИВНОЙ СФЕРЫ



МЕТОД ФИКТИВНОЙ СФЕРЫ

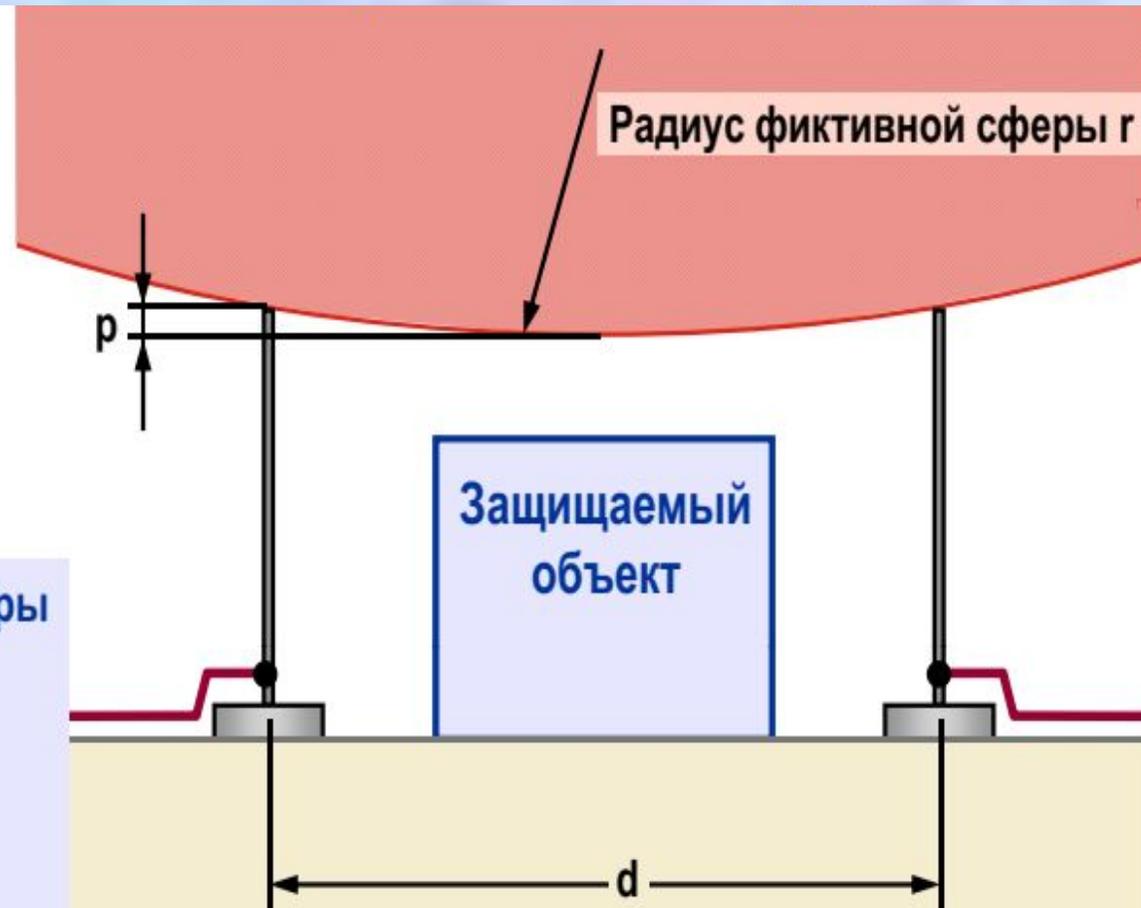
Радиус фиктивной сферы



МЕТОД ФИКТИВНОЙ СФЕРЫ

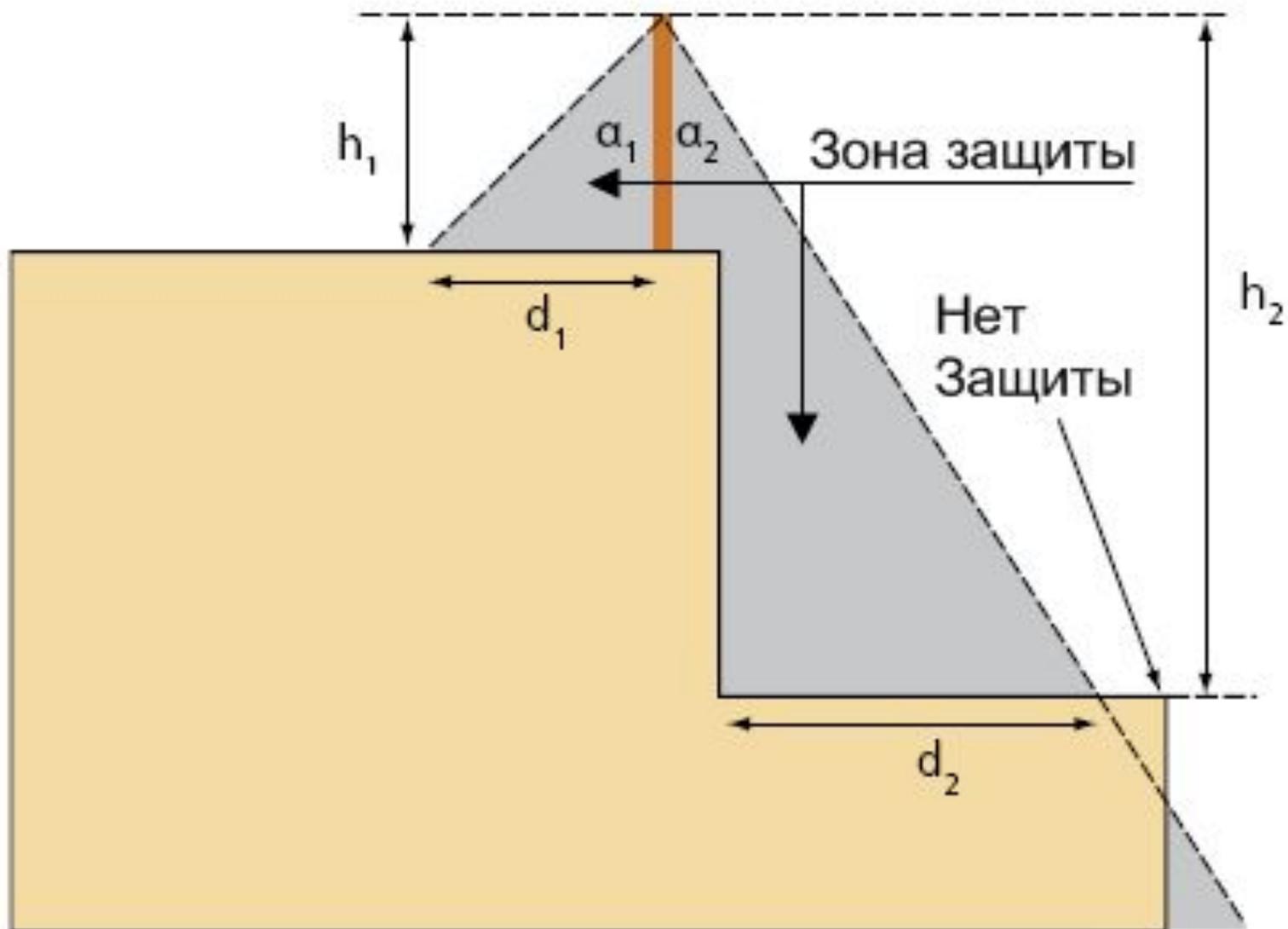
$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

- p** = Глубина проникновения фиктивной сферы
- r** = Радиус фиктивной сферы
- d** = Расстояние между двумя молниеприемниками или двумя параллельными проводниками (молниеприемная сетка)



Пример расчета зоны защиты, создаваемой двумя отдельно стоящими стержневыми молниеприемниками

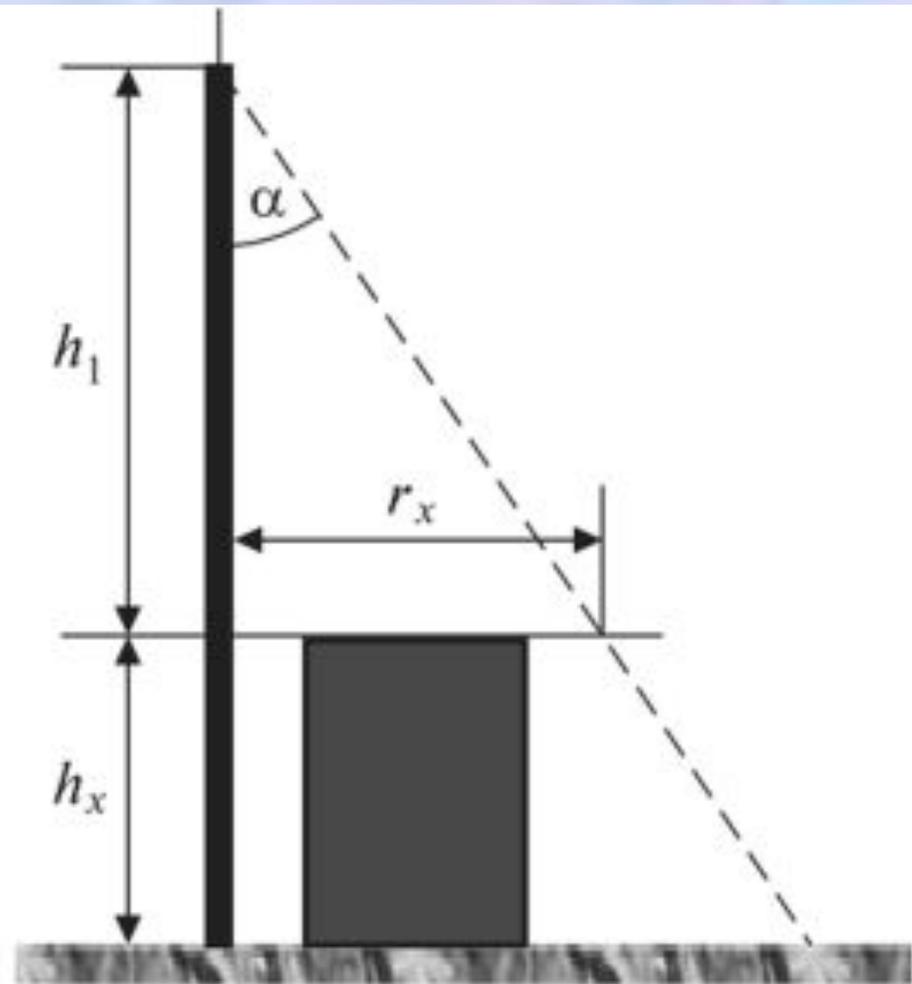
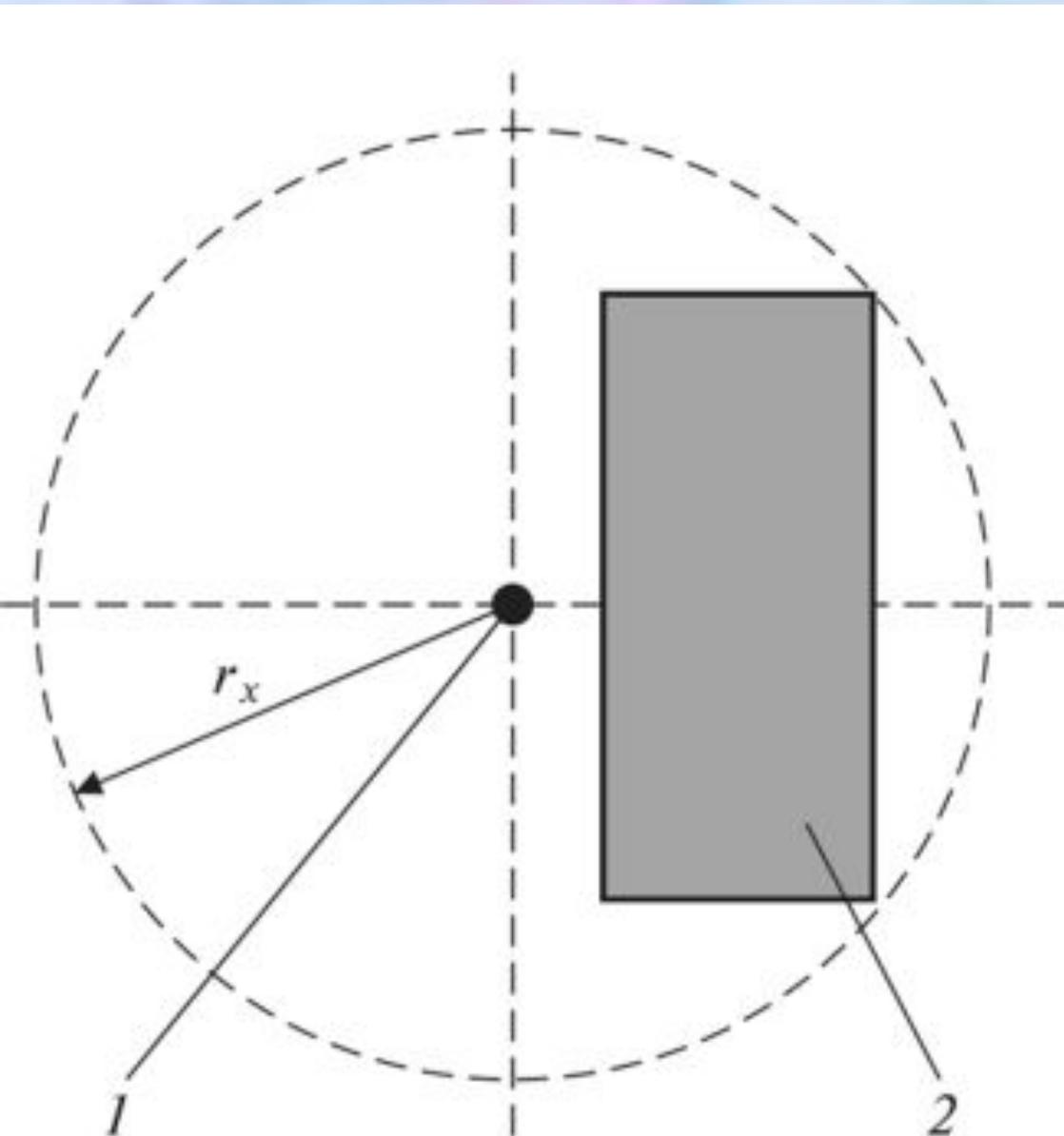
МЕТОД ЗАЩИТНОГО УГЛА



МЕТОД ЗАЩИТНОГО УГЛА

Высота молниеприёмника h (м)	Расстояние d (м) и защиты угол α (с округлением до ближайшего градуса)							
	Уровень защиты I		Уровень защиты II		Уровень защиты III		Уровень защиты IV	
	d (м)	α	d (м)	α	d (м)	α	d (м)	α
1	2.75	70°	3.27	73°	4.01	76°	4.70	78°
2	5.49	70°	6.54	73°	8.02	76°	9.41	78°
3	7.07	67°	8.71	71°	10.46	74°	12.99	77°
4	7.52	62°	9.42	67°	12.31	72°	13.95	74°
5	8.32	59°	10.25	64°	14.52	71°	16.35	73°
6	8.57	55°	10.82	61°	14.14	67°	17.43	71°
7	9.29	53°	11.65	59°	15.72	66°	18.24	69°
8	9.53	50°	12.32	57°	16.40	64°	18.85	67°
9	9.65	47°	12.85	55°	16.93	62°	20.21	66°
10	10.00	45°	13.27	53°	17.32	60°	20.50	64°
11	9.90	42°	14.08	52°	19.05	60°	19.84	61°
12	10.07	40°	14.30	50°	19.20	58°	20.78	60°
13	10.16	38°	14.44	48°	19.27	56°	21.64	59°
14	9.80	35°	14.50	46°	19.27	54°	22.40	58°
15	9.74	33°	15.00	45°	19.91	53°	23.10	57°
16	9.61	31°	14.92	43°	20.48	52°	22.85	55°
17	9.04	28°	15.31	42°	20.99	51°	23.40	54°
18	8.78	26°	15.65	41°	21.45	50°	23.89	53°
19	8.86	25°	15.94	40°	21.86	49°	25.21	53°
20	7.68	21°	15.07	37°	21.45	47°	25.60	52°

МЕТОД ЗАЩИТНОГО УГЛА



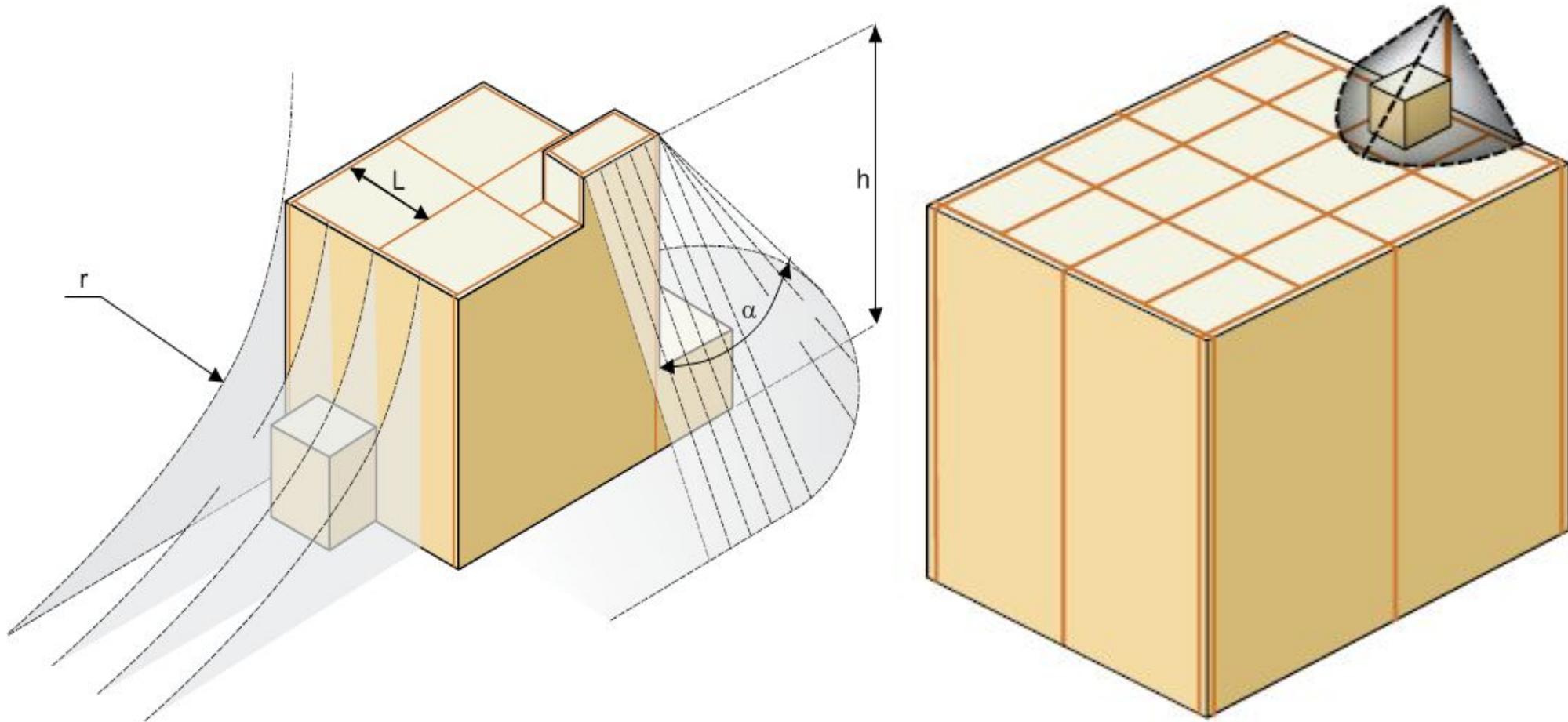
МЕТОД ЗАЩИТНОЙ СЕТКИ

Уровень защиты	Материал сетки	Сечение, мм ²
I-IV	Сталь	50
I-IV	Алюминий	70
I-IV	Медь	35

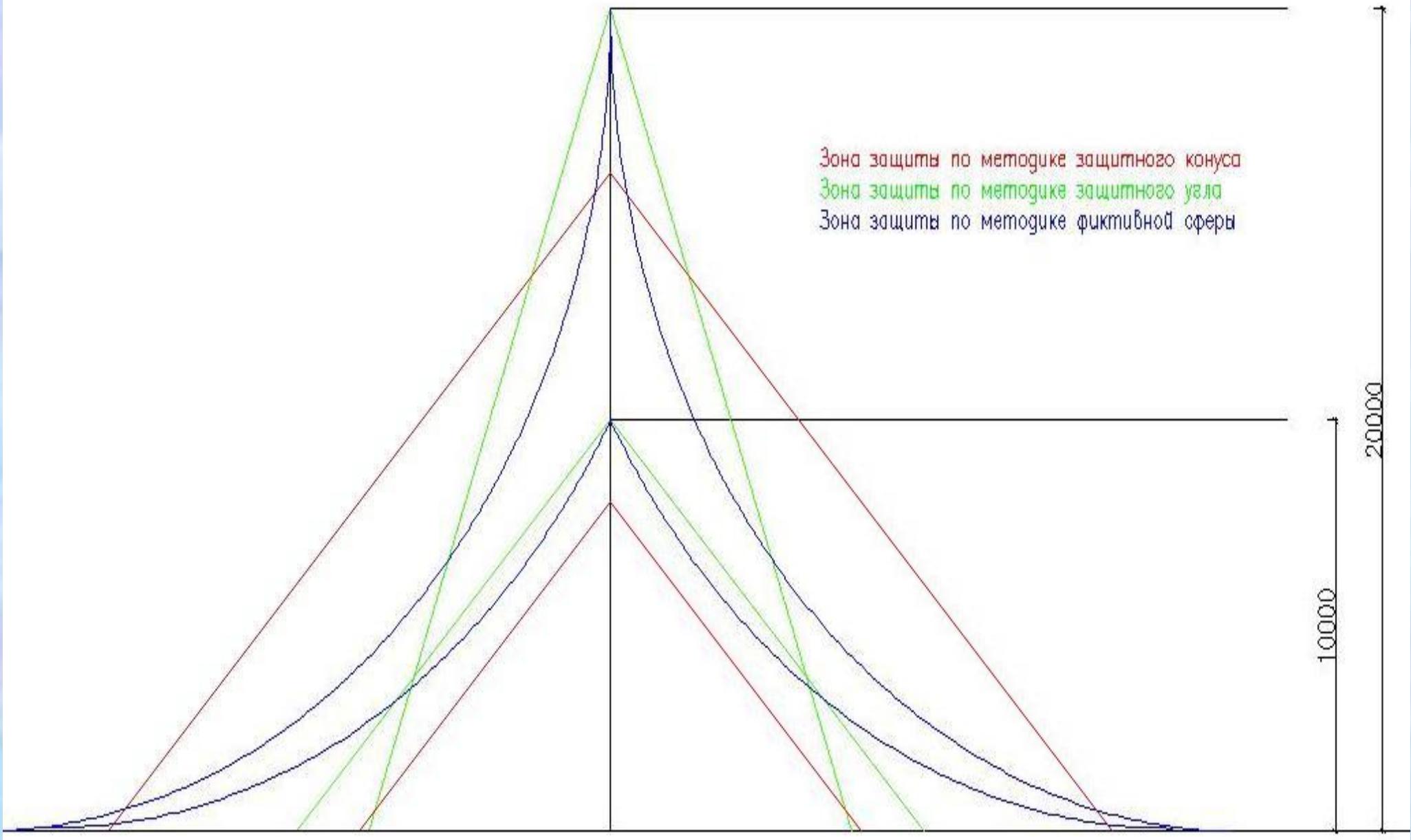
МЕТОД ЗАЩИТНОЙ СЕТКИ

Уровень защиты	Шаг ячейки сетки; м	Расстояние между токоотводами; м
I	5	10
II	10	15
III	10	20
IV	20	25

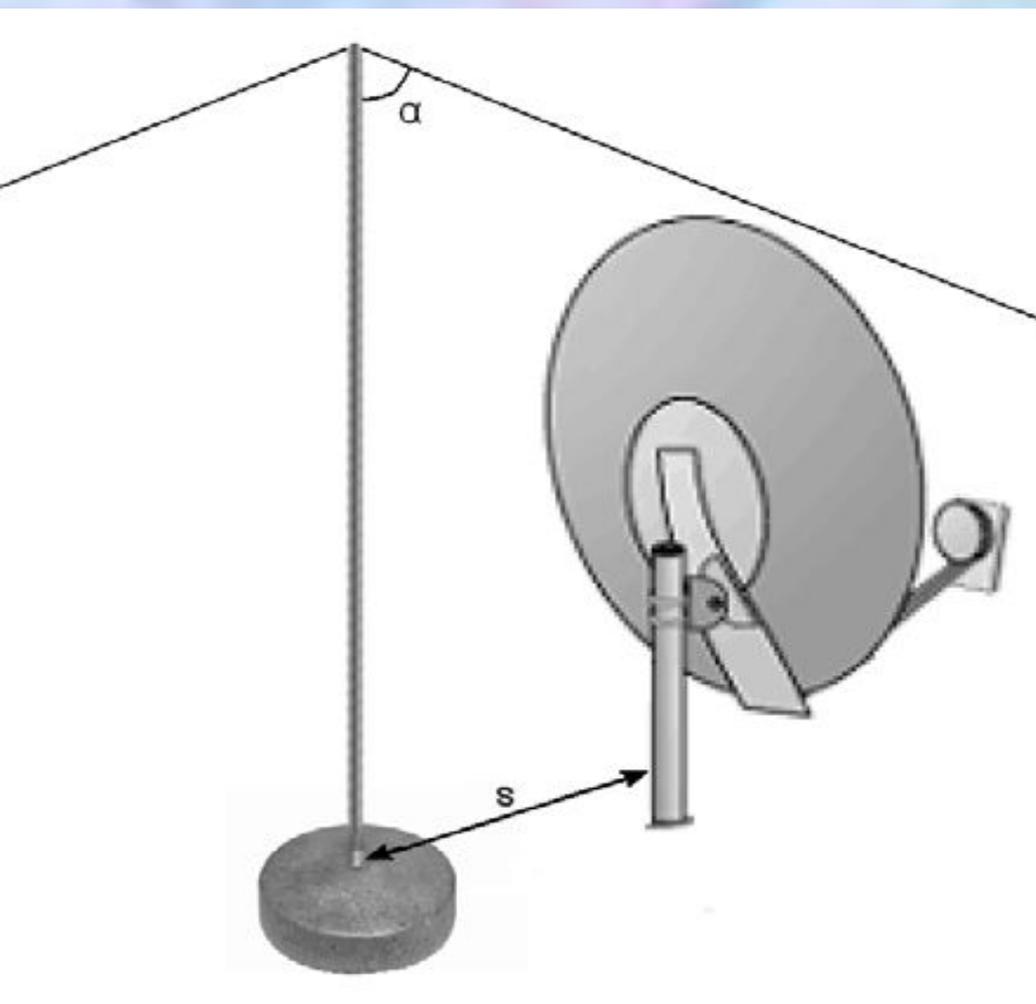
КОМБИНАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЗОН ЗАЩИТЫ



КОМБИНАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЗОН ЗАЩИТЫ



БЕЗОПАСНОЕ РАССТОЯНИЕ



БЕЗОПАСНОЕ РАССТОЯНИЕ

$$S = k_i \frac{k_c}{k_m} l$$

где,

k_i – коэффициент зависит от выбранного уровня молниезащиты.

k_c – коэффициент зависит от числа токоотводов

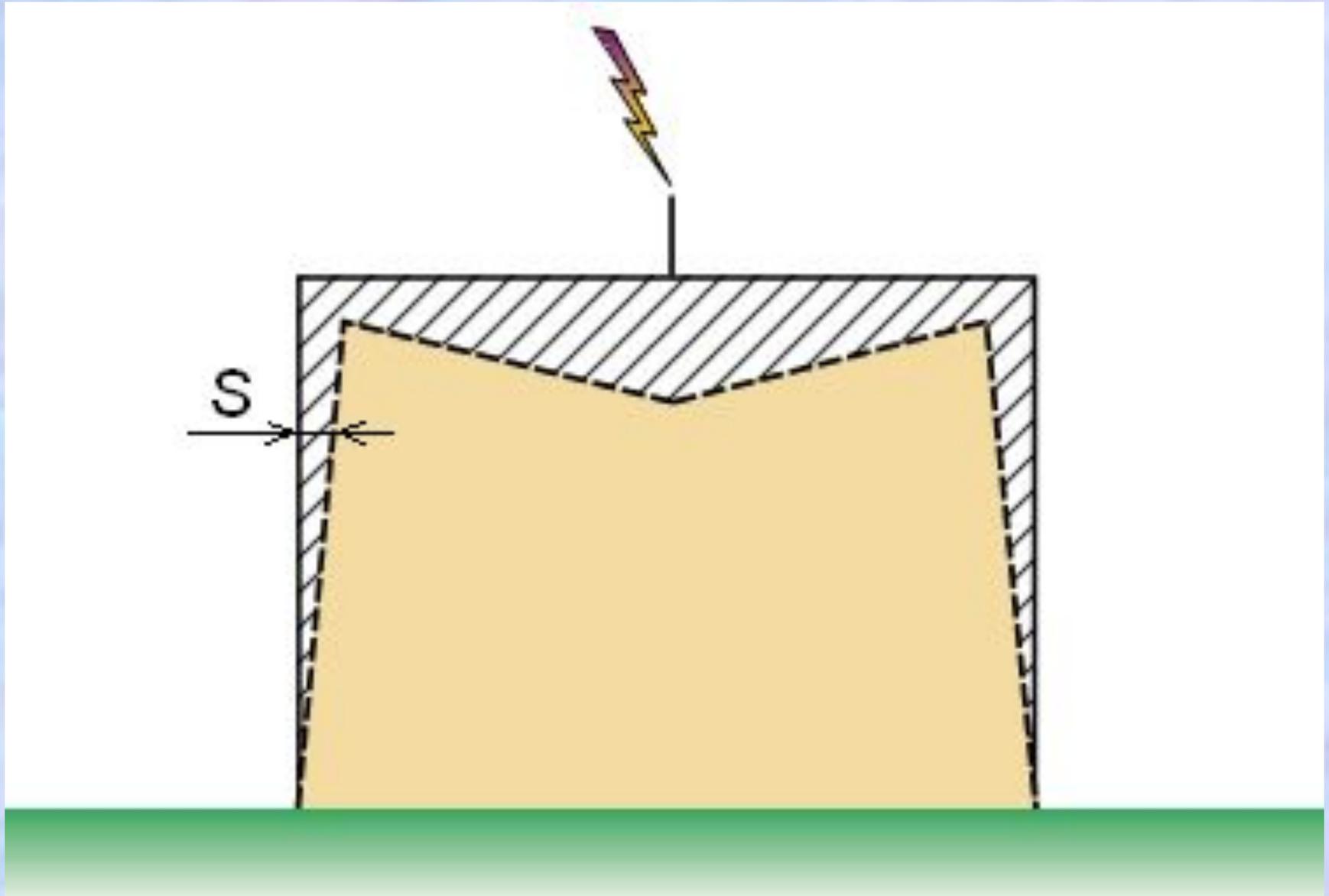
k_m – коэффициент характеристик изоляционных материалов (1,0 для воздуха, 0,5 для бетона и кирпича)

l – длина токоотвода от точки наименьшего допустимого расстояния до ближайшей точки выравнивания потенциалов.

Уровень защиты	k_i
I	0,08
II	0,06
III—IV	0,04

Количество токоотводов; n	k_c
1	1
2	0,5
4 и более	1/n

БЕЗОПАСНОЕ РАССТОЯНИЕ



ИЗОЛИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2006-10, Приложение E, Глава E.5.1.2

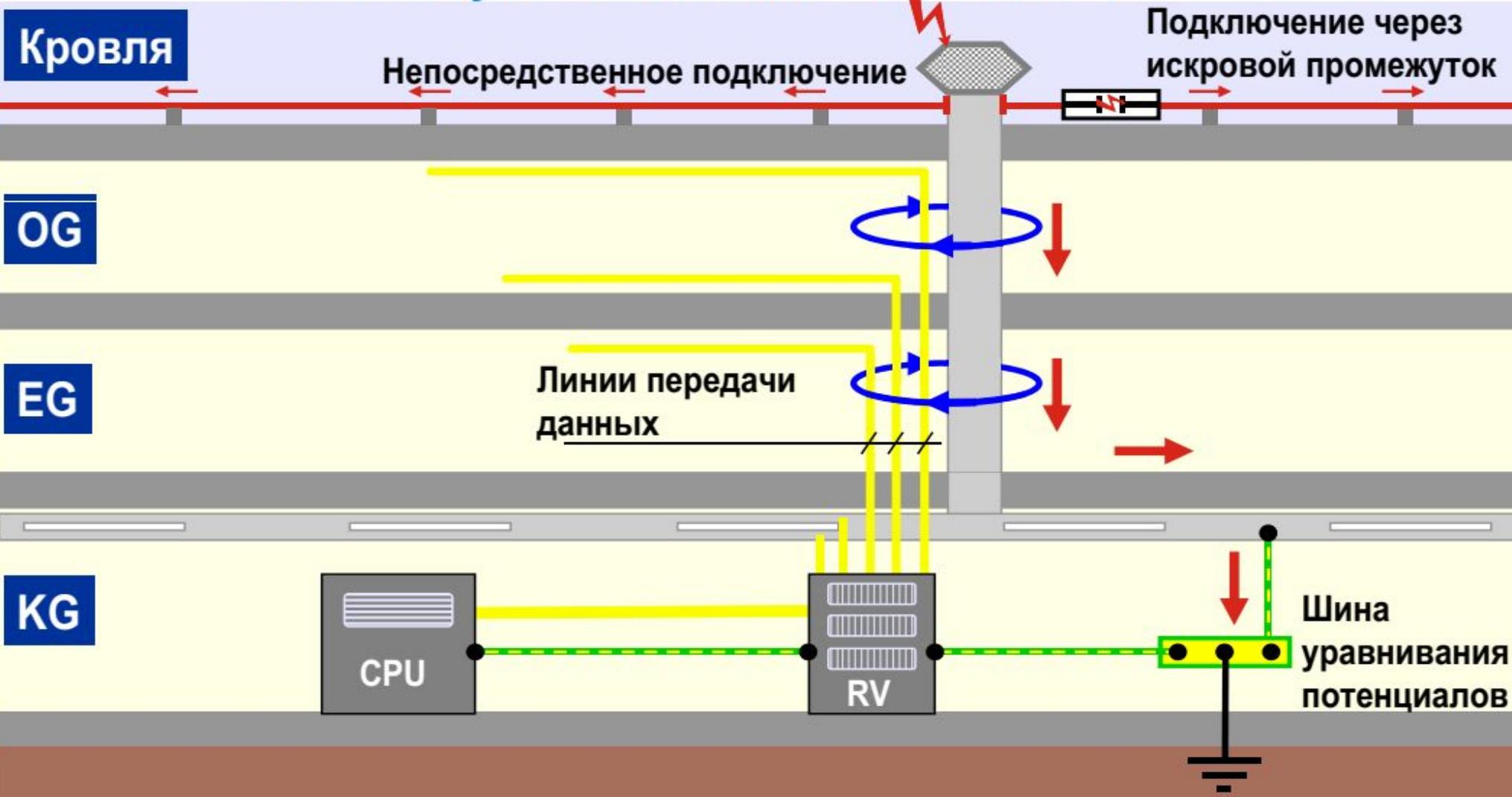
Изолированная система внешней молниезащиты должна применяться в случае, если **протекание токов молнии в проводящих частях защищаемого объекта **может привести к его повреждению**.**

Системы внешней молниезащиты, соединенные с проводящими частями строительных конструкций и системой уравнивания потенциалов только на уровне земли, классифицируются в соответствии с п.3.3 как изолированные.

Изолированная система молниезащиты **на основе молниеприемных стержней или мачт, смонтированная вблизи защищаемой конструкции, или между мачтами, должна быть удалена на безопасное расстояние согласно п. 6.3.**

ИЗОЛИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

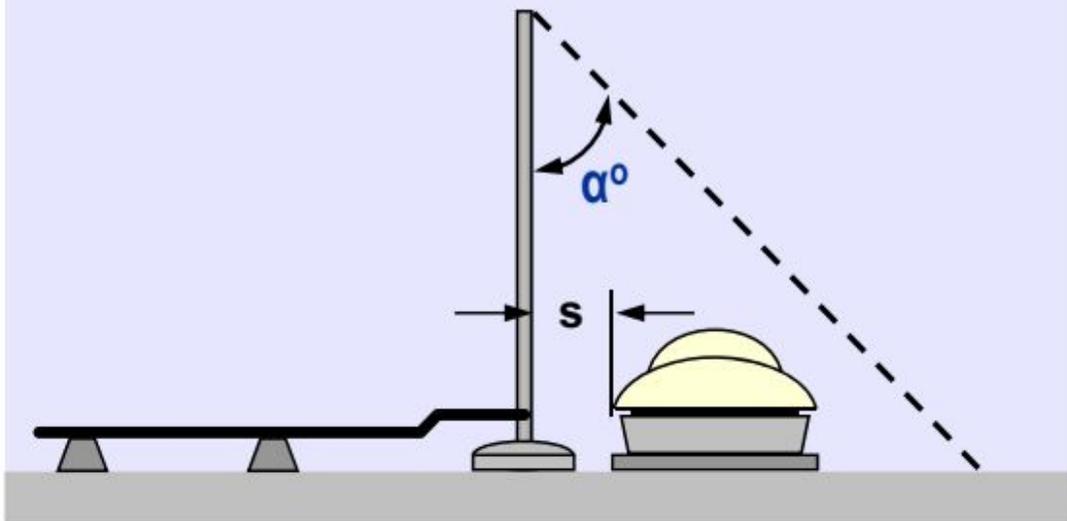
Включение надстроек в систему внешней молниезащиты



ИЗОЛИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПРИМЕР НЕПРАВИЛЬНОГО МОНТАЖА



СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ НАДСТРОЕК НА КРОВЛЕ



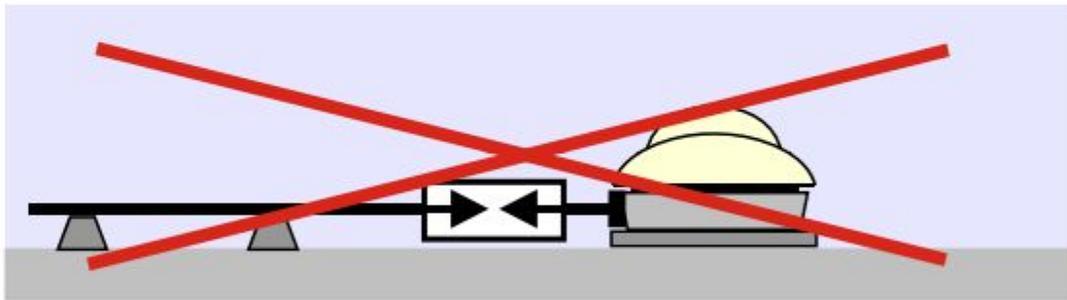
Защита воздуховода с помощью молниеприемного стержня:

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

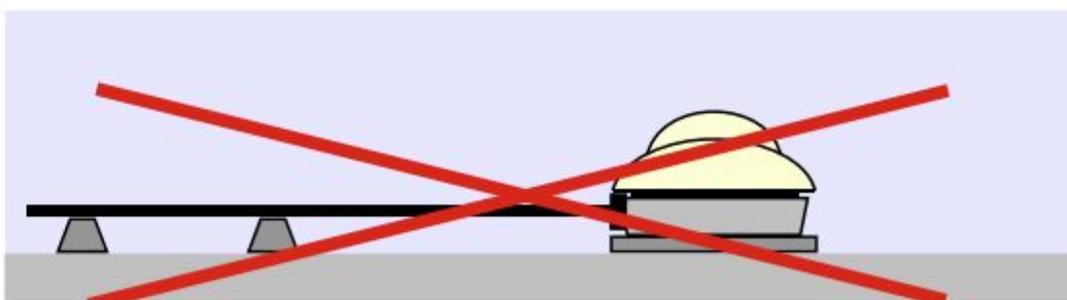
Глава 5.2.2

Защитный угол α

в соответствии с таблицей 2



Подключение воздуховода к молниеприемной сетке через искровой промежуток согласно DIN VDE 0185 T1



Непосредственное подключение корпуса воздуховода к молниеприемной сетке согласно АВВ 8-е издание





Для организации защитных зон и предотвращения прорыва токов молнии внутрь зданий и сооружений может потребоваться произвести реконструкцию системы заземления и установить дополнительное защитное оборудование в виде ограничителей перенапряжений (ОПН), разрядников и др.

При разряде молнии возникают следующие виды перенапряжений:

1. Перенапряжения, набегающие с воздушных линий;
2. Перенапряжения, вызванные электростатической индукцией;
3. Перенапряжения индуцированные магнитным полем молнии;
4. Перенапряжения, распространяющиеся по нулевому рабочему проводнику, заземленному в щите освещения прожекторной мачты-молниеотвода при разряде молнии в молниеотвод;
5. Перенапряжения на линиях связи между объектами с разным потенциалом на заземляющих устройствах;
6. Перенапряжения вызванные током молнии распространяющемся по подземным коммуникациям.

ЗАЩИТА ОТ ВТОРИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МОЛНИИ

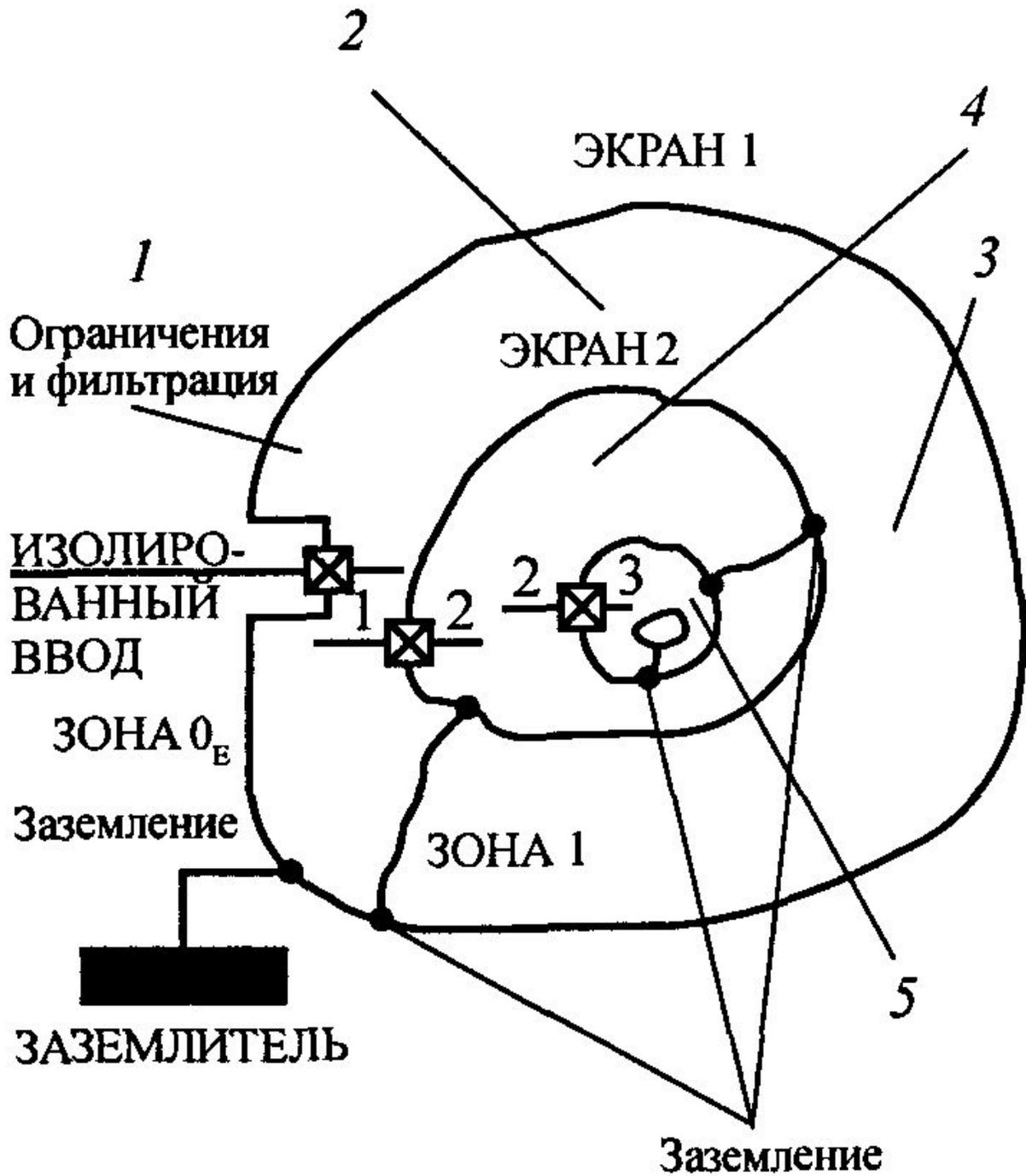
Пространство, в котором расположены электрические и электронные системы, должно быть разделено на зоны различной степени защиты. Зоны характеризуются существенным изменением электромагнитных параметров на границах. В общем случае, чем выше номер зоны, тем меньше значения параметров электромагнитных полей, токов и напряжений в пространстве зоны.

Зона 0 - зона, где каждый объект подвержен прямому удару молнии, и поэтому через него может протекать полный ток молнии. В этой области электромагнитное поле имеет максимальное значение.

Зона 0_E - зона, где объекты не подвержены прямому удару молнии, но электромагнитное поле не ослаблено и также имеет максимальное значение.

Зона 1 - зона, где объекты не подвержены прямому удару молнии, и ток во всех проводящих элементах внутри зоны меньше, чем в зоне 0_E ; в этой зоне электромагнитное поле может быть ослаблено экранированием.

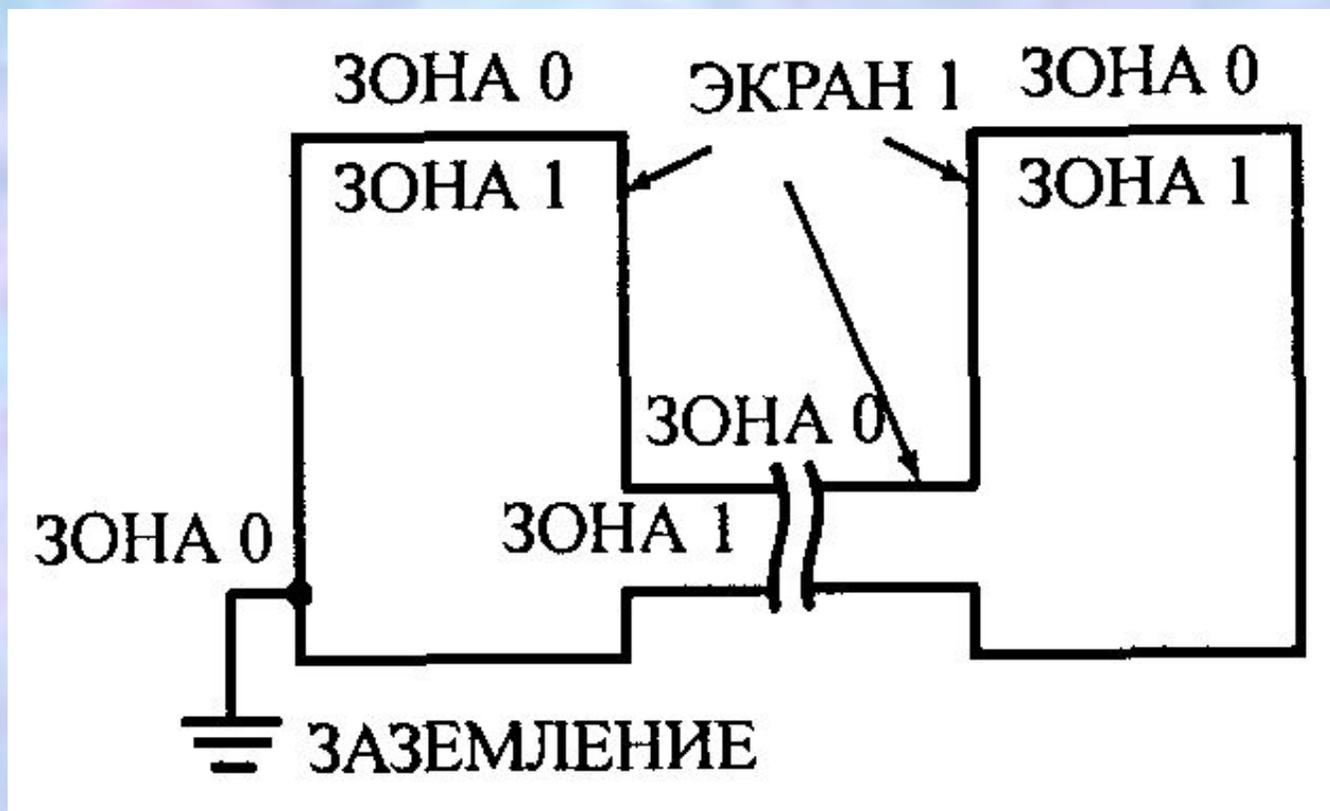
Прочие зоны устанавливаются, если требуется дальнейшее уменьшение тока и/или ослабление электромагнитного поля; требования к параметрам зон определяются в соответствии с требованиями к защите различных зон объекта.



- 1 - ЗОНА 0 (внешнее окружение);
- 2 - ЗОНА 1 (внутренняя электромагнитная обстановка);
- 3 - ЗОНА 2;
- 4 - ЗОНА 2 (обстановка внутри шкафа);
- 5 - ЗОНА 3

На границах зон должны осуществляться меры по экранированию и соединению всех пересекающих границу металлических элементов и коммуникаций.

Две пространственно разделенные зоны 1 с помощью экранированного соединения могут образовать общую зону



Объединение двух зон

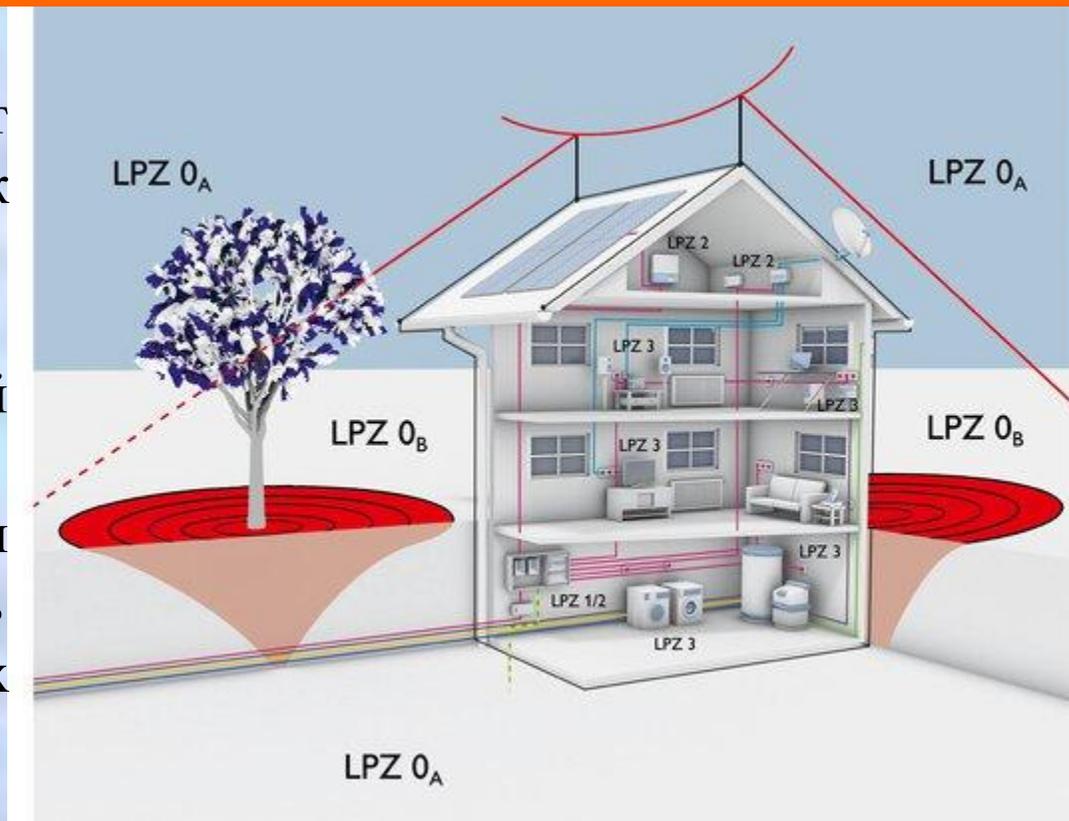
ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ

EN(МЭК) 62305-... / VDE 0185-305-...

LPZ 0_A (непосредственное влияние молнии): Обозначает подвергающийся опасности участок вне здания.

LPZ 0_B (непосредственное влияние молнии): Обозначает защищенный участок вне здания.

LPZ 1: обозначает зону внутри здания, которая может быть повреждена вследствие высоких перенапряжений.



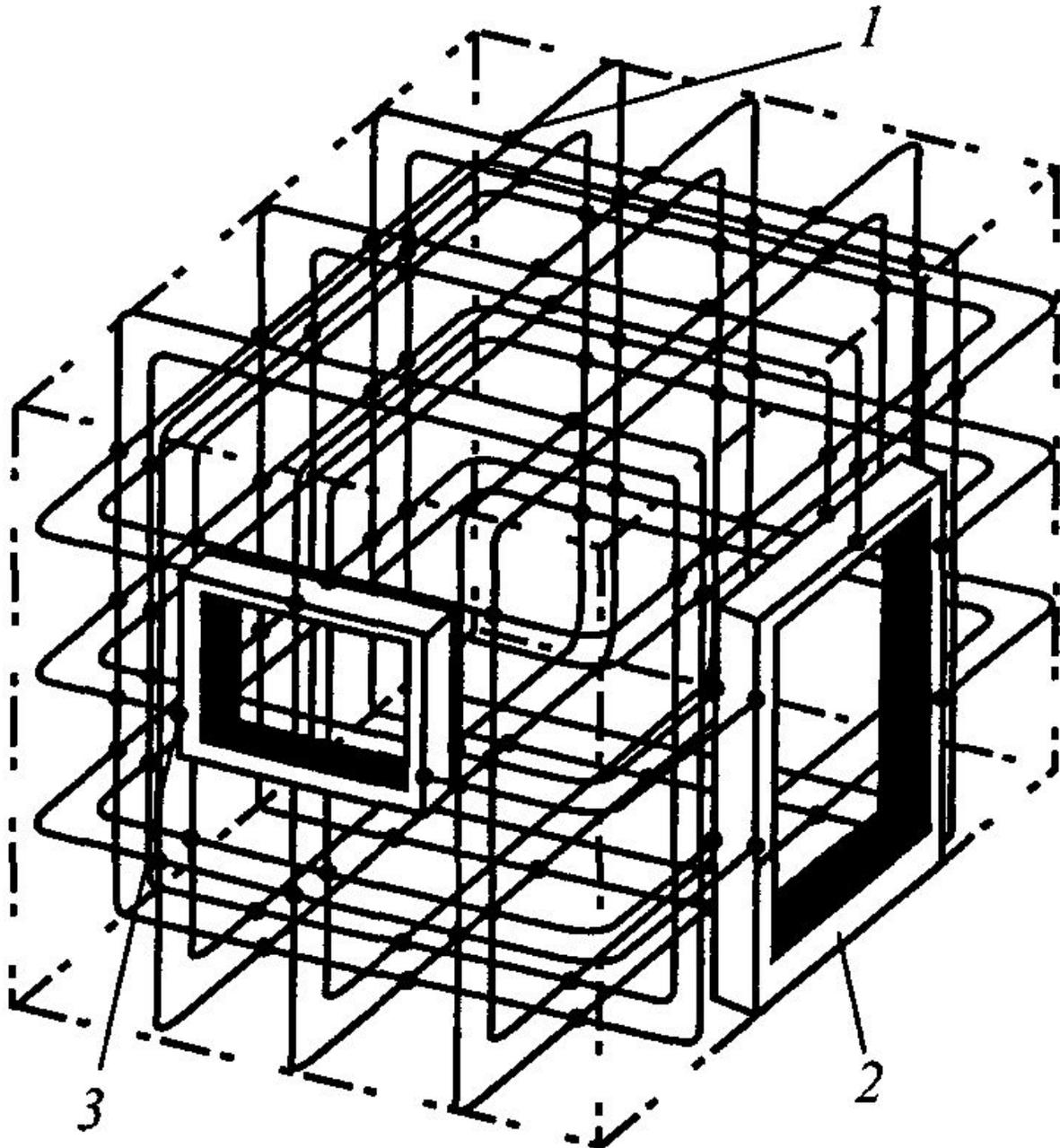
LPZ 2: обозначает зону внутри здания, которая может быть повреждена вследствие более низких перенапряжений.

LPZ 3: повреждения в данной зоне могут возникнуть вследствие перенапряжений или других воздействий, оказываемых устройствами и проводами.

ЭКРАНИРОВАНИЕ

Металлическая конструкция строительного сооружения используется или может быть использована в качестве экрана. Подобная экранная структура образуется, например, стальной арматурой крыши, стен, полов здания, а также металлическими деталями крыши, фасадов, стальными каркасами, решетками. Эта экранирующая структура образует электромагнитный экран с отверстиями (за счет окон, дверей, вентиляционных отверстий, шага сетки в арматуре, щелей в металлическом фасаде, отверстий для линий электроснабжения и т. п.). Для уменьшения влияния электромагнитных полей все металлические элементы объекта электрически объединяются и соединяются с системой молниезащиты.

ЭКРАНИРОВАНИЕ



**Объединение
металлических
элементов объекта
для уменьшения
влияния
электромагнитных
полей:**

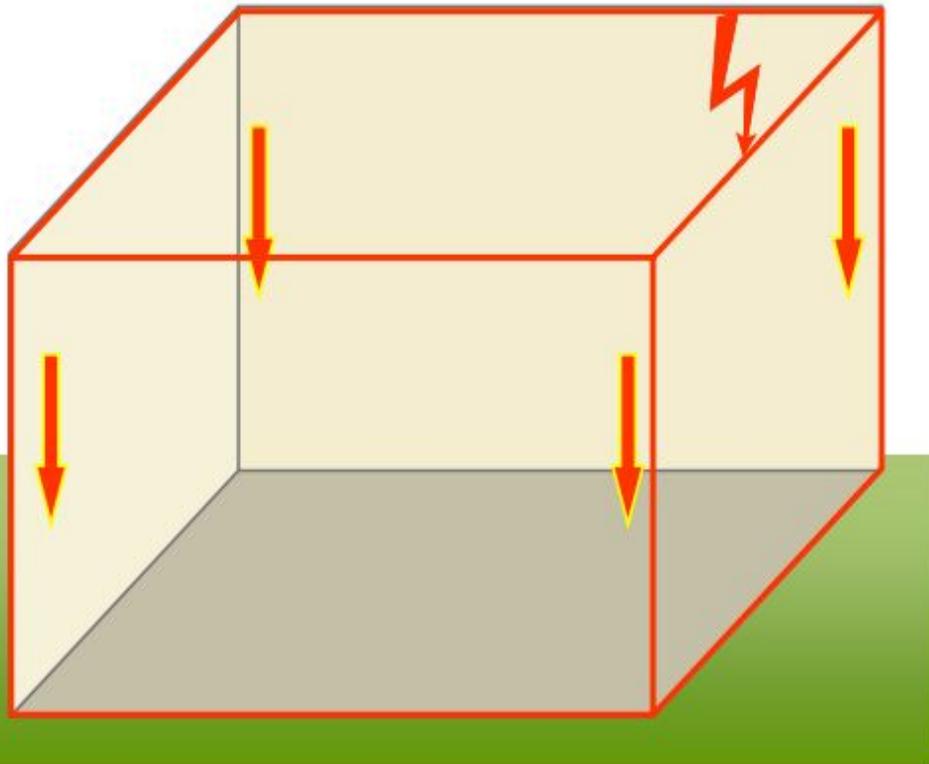
**1 - сварка на
пересечениях
проводов;**

**2 - массивная
непрерывная
дверная рама;**

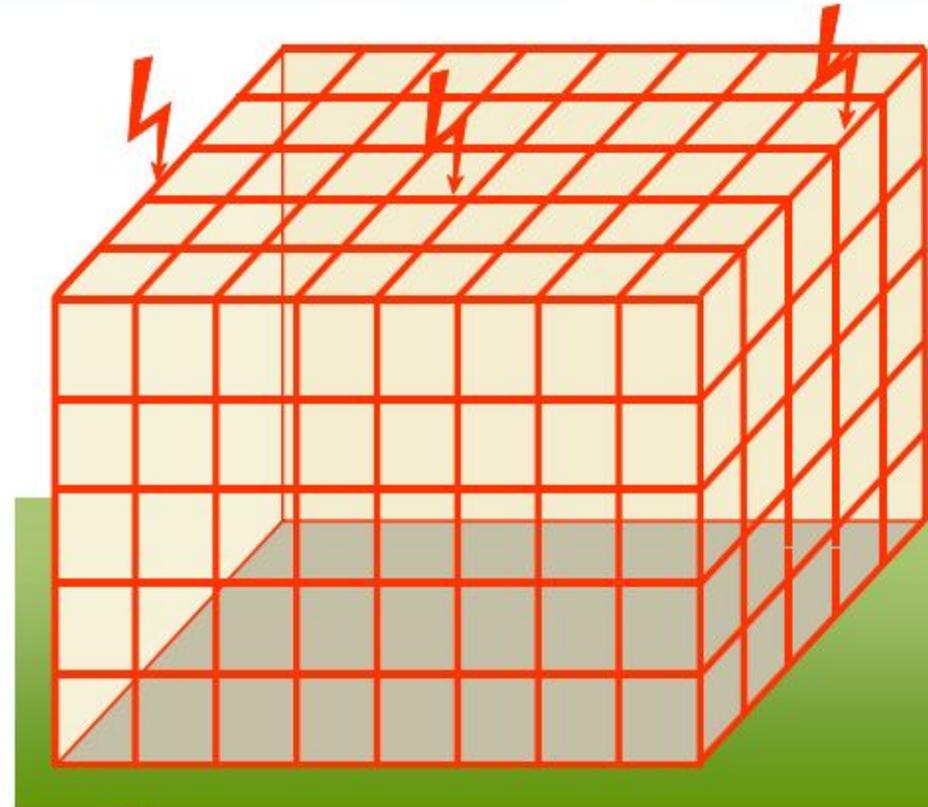
**3 - сварка на
каждом стержне**

ЭКРАНИРОВАНИЕ

Снижение токов молнии в проводящих частях конструкций



Большая энергия электромагнитного поля / высокий уровень наводок в близко расположенных проводниках



Малые частичные токи молнии, Малая энергия электромагнитного поля / низкий уровень наводок

ЭКРАНИРОВАНИЕ. ФИКСИРОВАННЫЕ ТОЧКИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Монтаж



Стена после заливки бетона



Контрольная
точка
заземления

Выравнивание потенциалов



Системы выравнивания потенциалов могут иметь различное построение:

- Линейное выравнивание потенциалов
- Звездообразное выравнивание потенциалов
- Петлеобразное выравнивание потенциалов

Причем **петлеобразное** выравнивание потенциалов является самым действенным методом, поскольку все токопроводящие части оснащаются отдельным проводником, а дополнительные проводники соединяют все конечные пункты наикратчайшим путем. Данный вид выравнивания потенциалов применяется в особенно чувствительных установках, например, в вычислительных центрах.

СОЕДИНЕНИЯ

Соединения металлических элементов необходимы для уменьшения разности потенциалов между ними внутри защищаемого объекта. Соединения находящихся внутри защищаемого пространства и пересекающих границы зон молниезащиты металлических элементов и систем выполняются на границах зон. Осуществлять соединения следует с помощью специальных проводников или зажимов и, когда это необходимо, с помощью устройств защиты от перенапряжений.

Сечения проводников, через которые протекает большая часть тока молнии

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ² , не менее
I-IV	Медь	6
I-IV	Алюминий	10
I-IV	Железо	16

Устройство защиты от перенапряжений выбирается выдерживающим часть тока молнии, ограничивающим перенапряжения и обрывающим сопровождающие токи после главных импульсов.

Максимальное перенапряжение U_{\max} на входе в объект координируется с выдерживаемым напряжением системы.

Чтобы значение U_{\max} сводилось к минимуму, линии присоединяются к общей шине проводниками минимальной длины.

Все проводящие элементы, такие как кабельные линии, пересекающие границы зон молниезащиты, соединяются на этих границах. Соединение осуществляется на общей шине, к которой также присоединяются экранирующие и другие металлические элементы (например, корпуса оборудования).

Для контактных зажимов и устройств подавления перенапряжений параметры тока оцениваются в каждом отдельном случае. Максимальное перенапряжение на каждой границе координируется с выдерживаемым напряжением системы. Устройства защиты от перенапряжений на границах различных зон также координируются по энергетическим характеристикам.

СОЕДИНЕНИЯ ВНУТРИ ЗАЩИЩАЕМОГО ОБЪЕМА

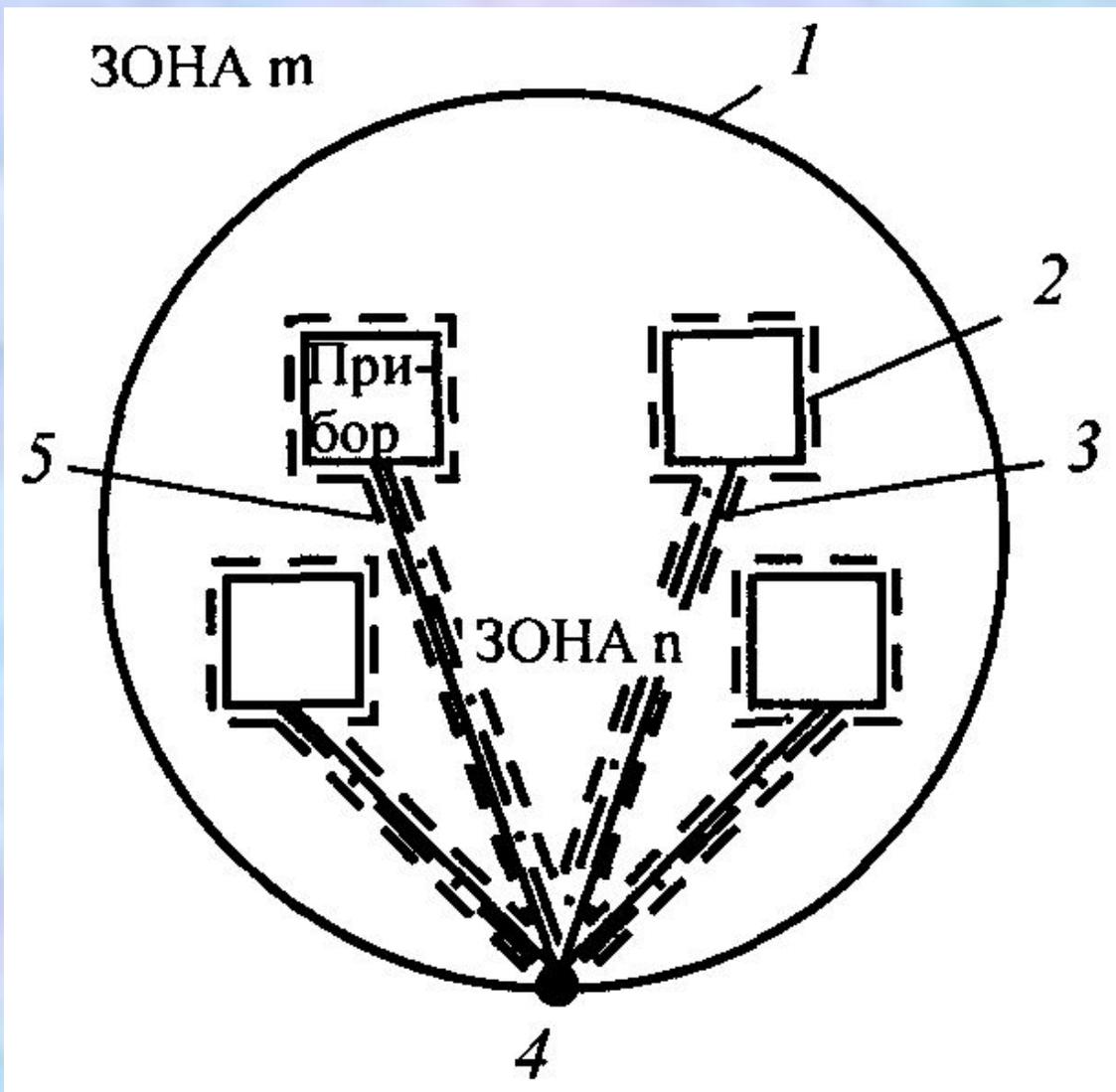
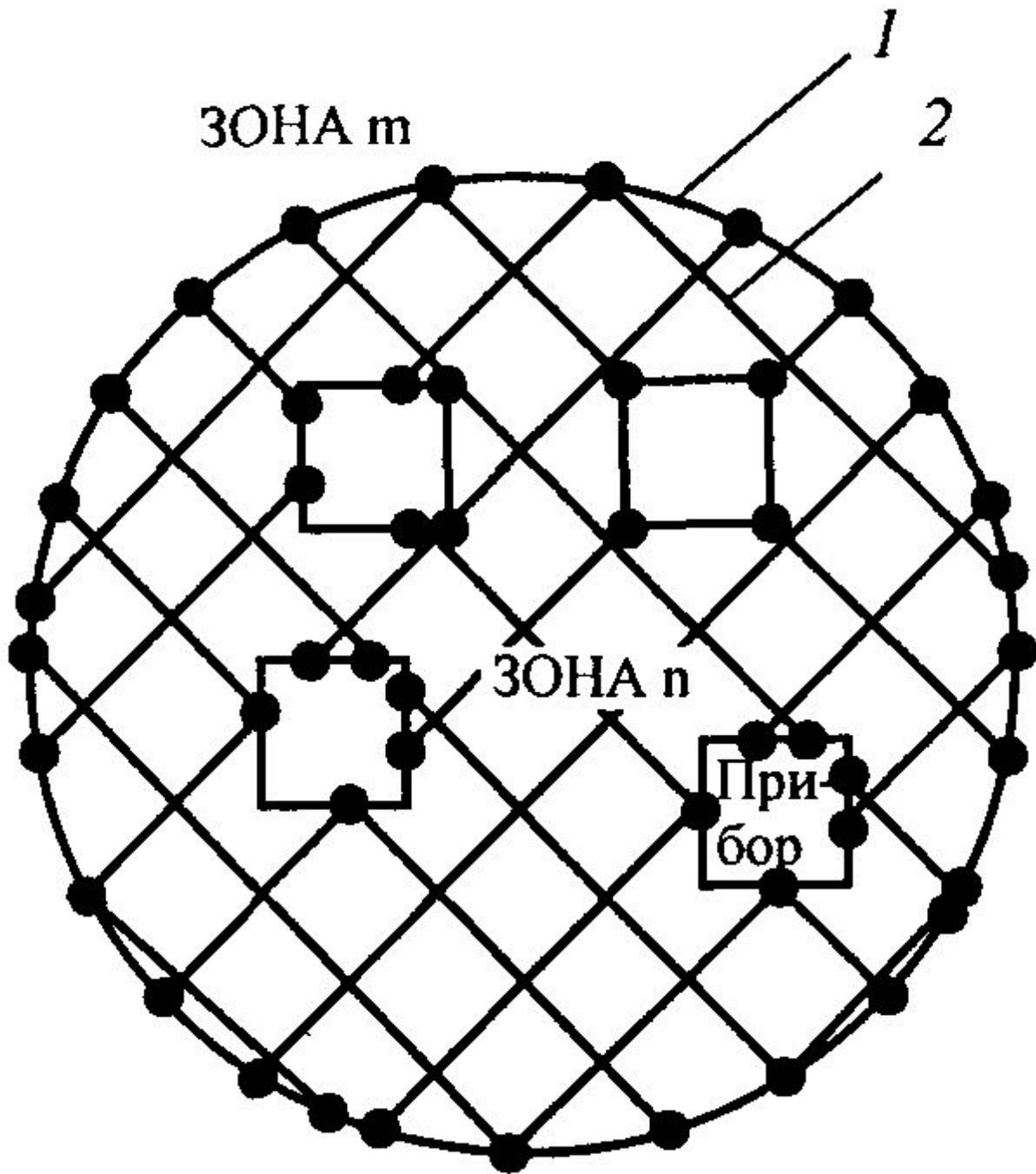


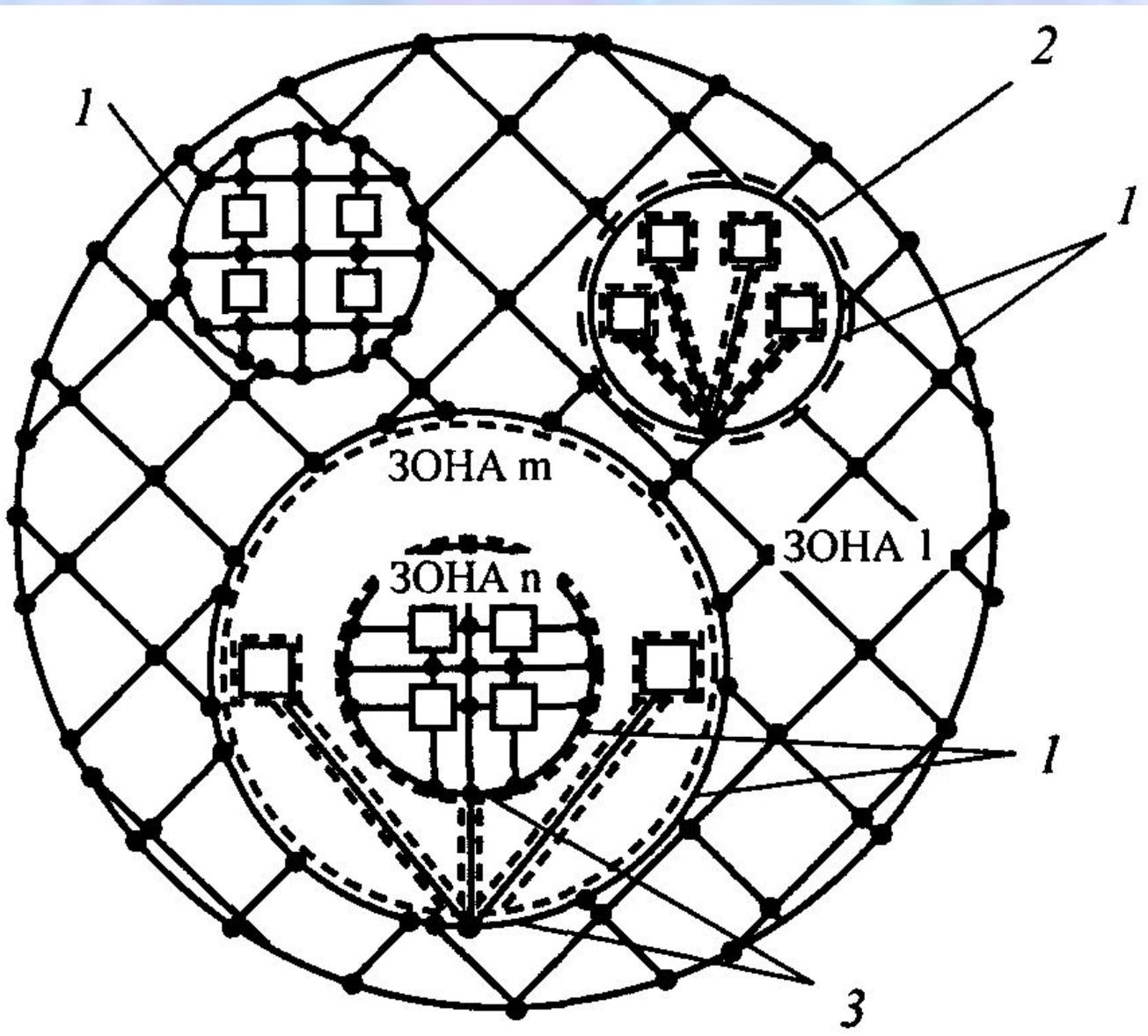
Схема соединения проводов электропитания и связи при звездообразной системе уравнивания потенциалов:

- 1* - экран защитной зоны;
- 2* - электрическая изоляция;
- 3* - провод системы уравнивания потенциалов;
- 4* - центральная точка системы уравнивания потенциалов;
- 5* - провода связи, электропитания.



Сетчатое выполнение системы уравнивания потенциалов:

1 - экран защитной зоны;
2 - проводник уравнивания потенциалов.



**Комплексное
выполнение системы
уравнивания
потенциалов:**

- 1* - экран защитной зоны;
- 2* - электрическая изоляция;
- 3* - центральная точка системы уравнивания потенциалов

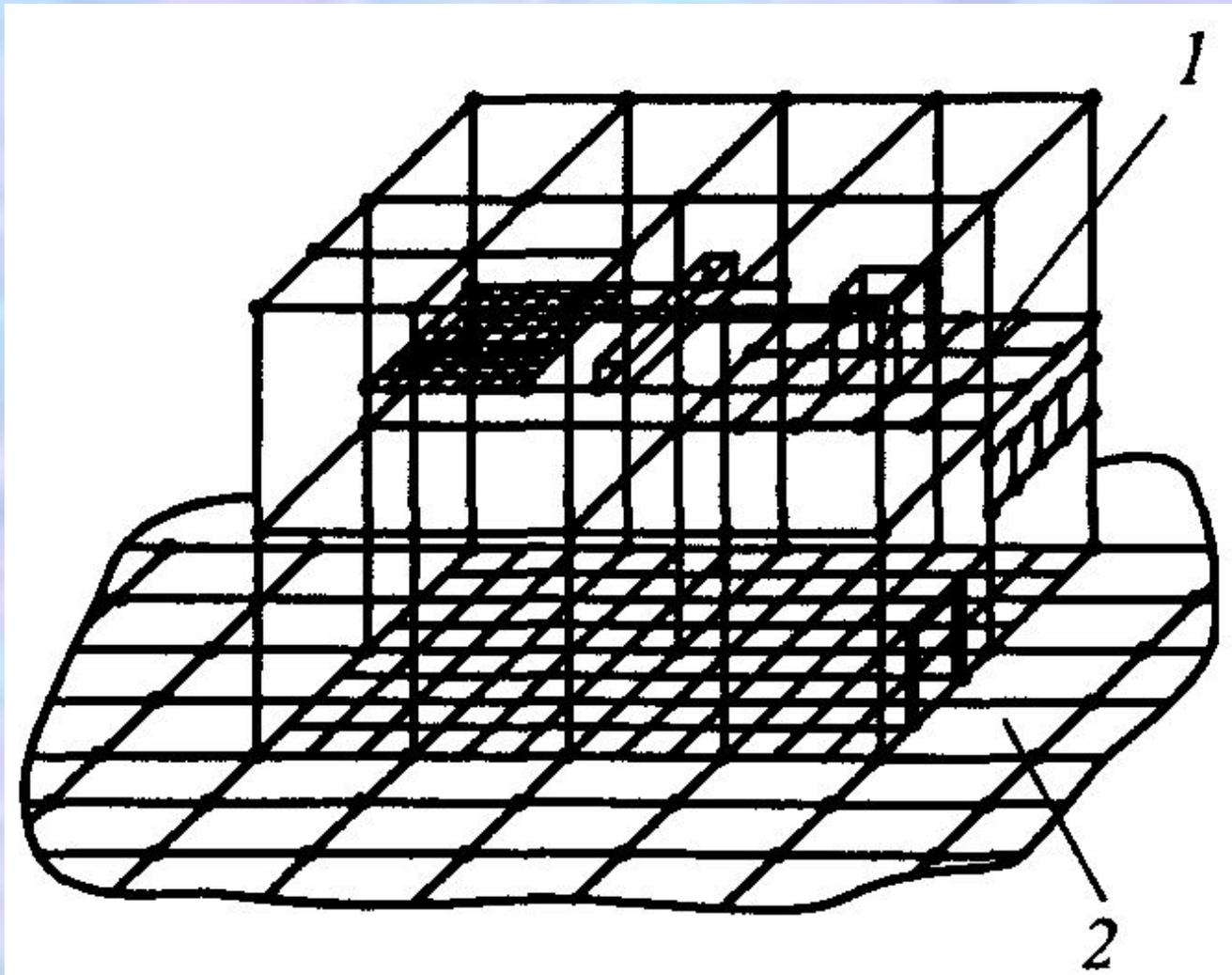
ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Основная задача заземляющего устройства молниезащиты - отвести как можно большую часть тока молнии (50 % и более) в землю. Остальная часть тока растекается по подходящим к зданию коммуникациям (оболочкам кабелей, трубам водоснабжения и т. п.) При этом не возникают опасные напряжения на самом заземлителе. Эта задача выполняется сетчатой системой под зданием и вокруг него. Заземляющие проводники образуют сетчатый контур, объединяющий арматуру бетона внизу фундамента. Это обычный метод создания электромагнитного экрана внизу здания. Кольцевой проводник вокруг здания и/или в бетоне на периферии фундамента соединяется с системой заземления заземляющими проводниками обычно через каждые 5 м. Внешний заземлитель проводник может быть соединен с указанными кольцевыми проводниками.

Арматура бетона внизу фундамента соединяется с системой заземления. Арматура должна образовывать сетку, соединенную с системой заземления обычно через каждые 5 м.

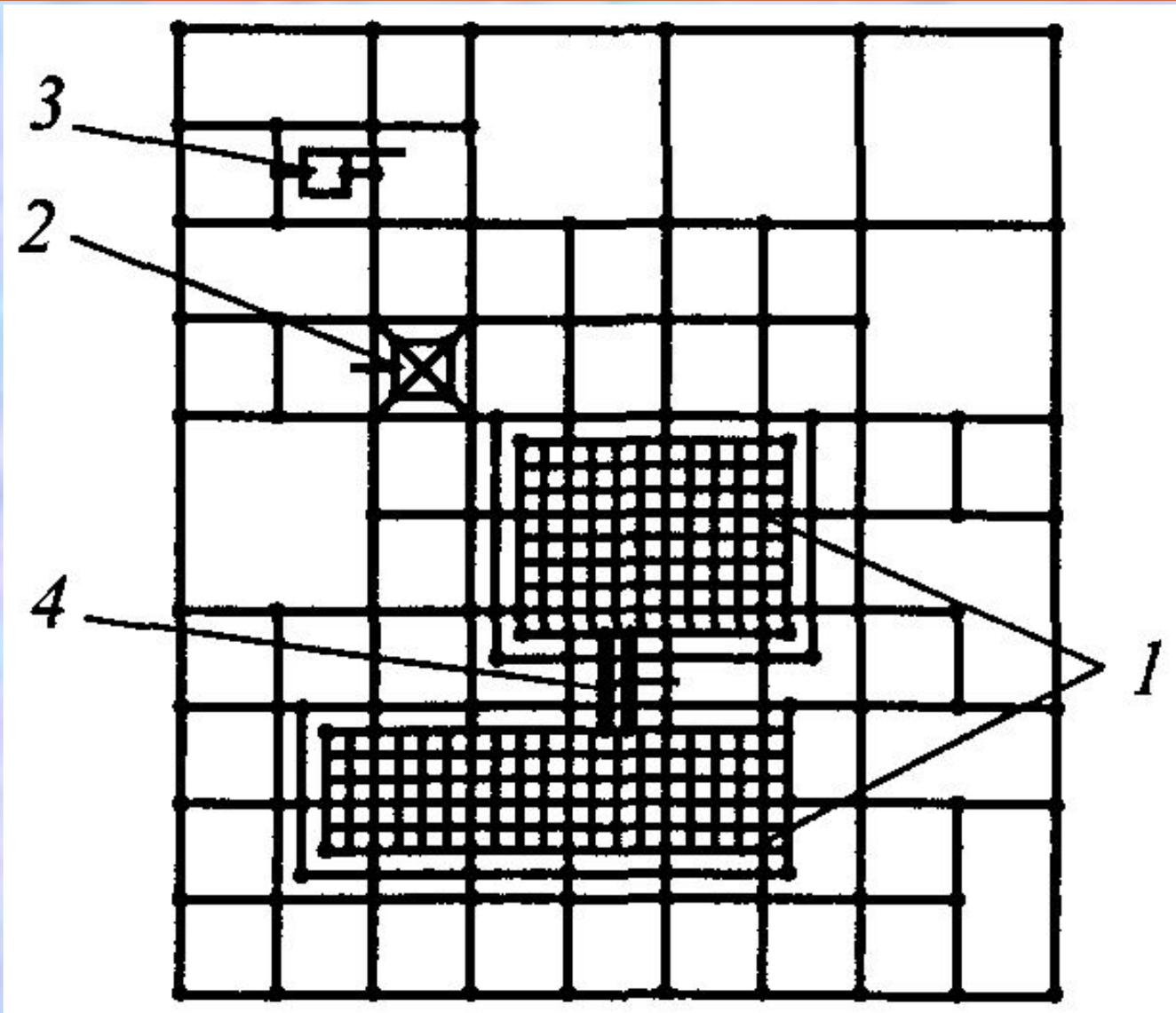
Можно использовать сетку из оцинкованной стали с шириной ячейки обычно 5 м, приваренную или механически прикрепленную к прутьям арматуры обычно через каждый 1 м. Концы проводников сетки могут служить заземляющими проводниками для соединительных полос.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ



Сетчатое заземляющее устройство здания:
1 - сеть соединений; 2 – заземлитель.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ



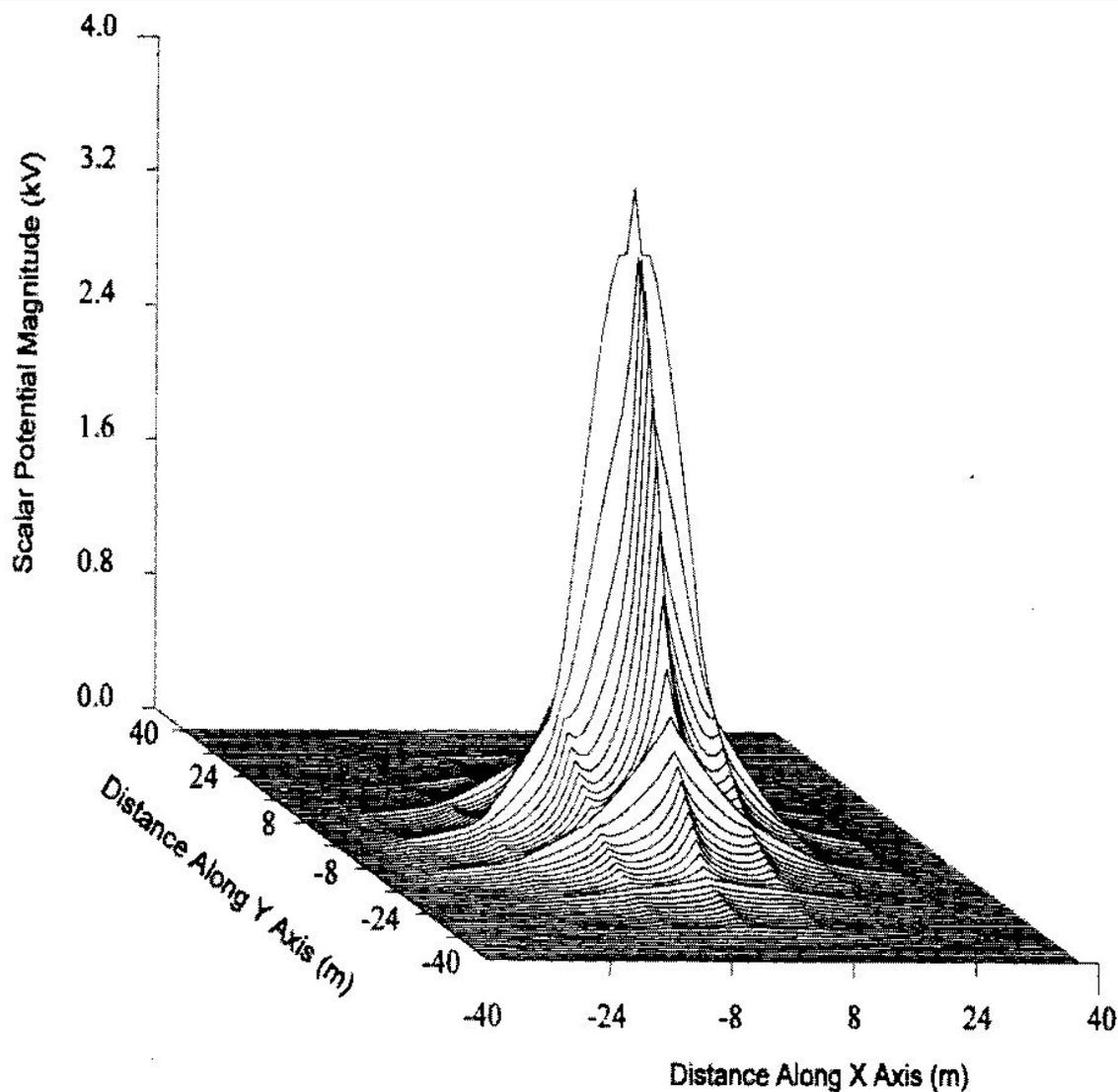
Сетчатое заземляющее устройство производственных сооружений:

1 - здания; 2 - башня; 3 - оборудование; 4 - кабельный лоток.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ

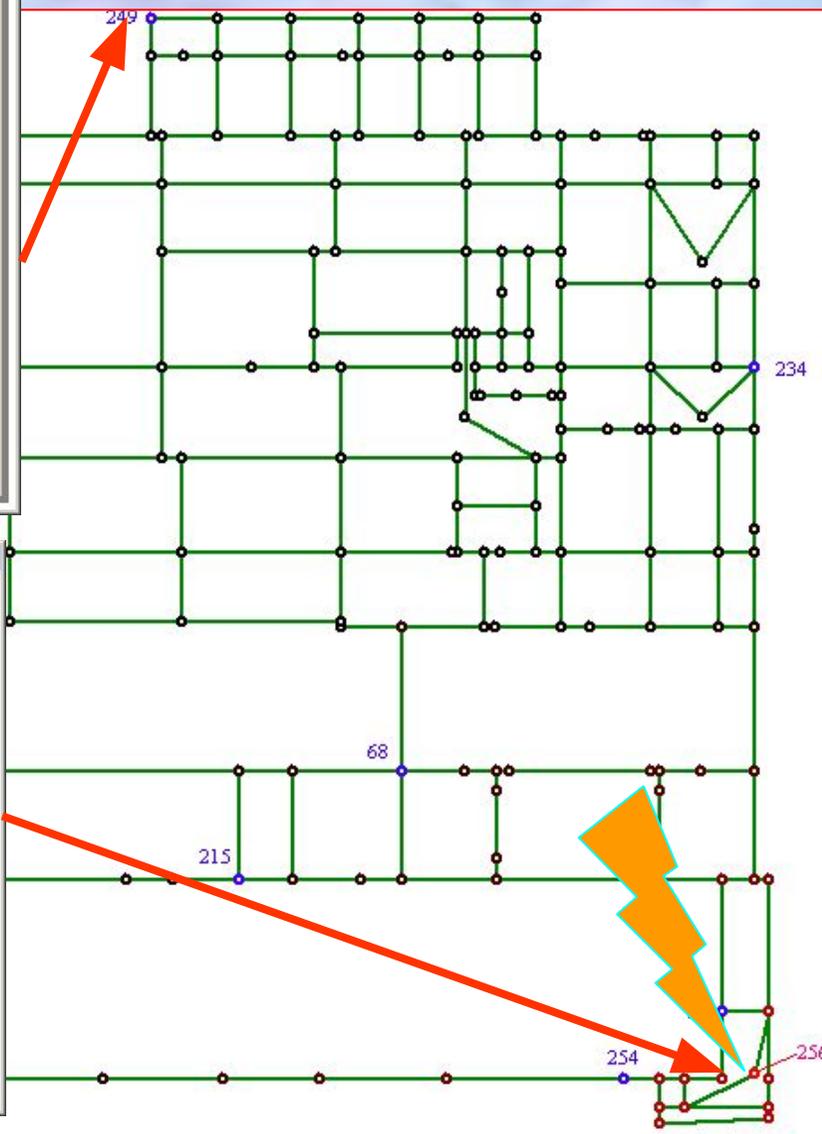
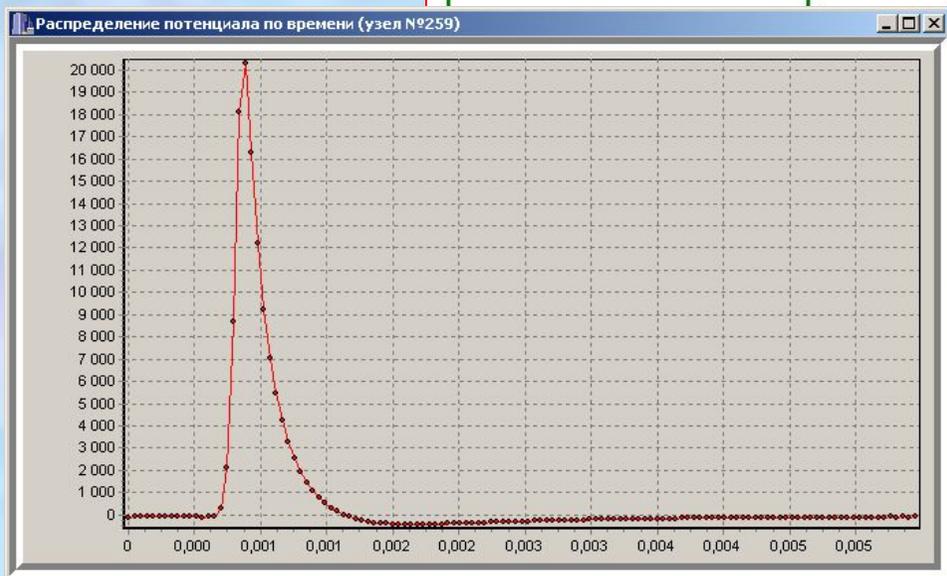
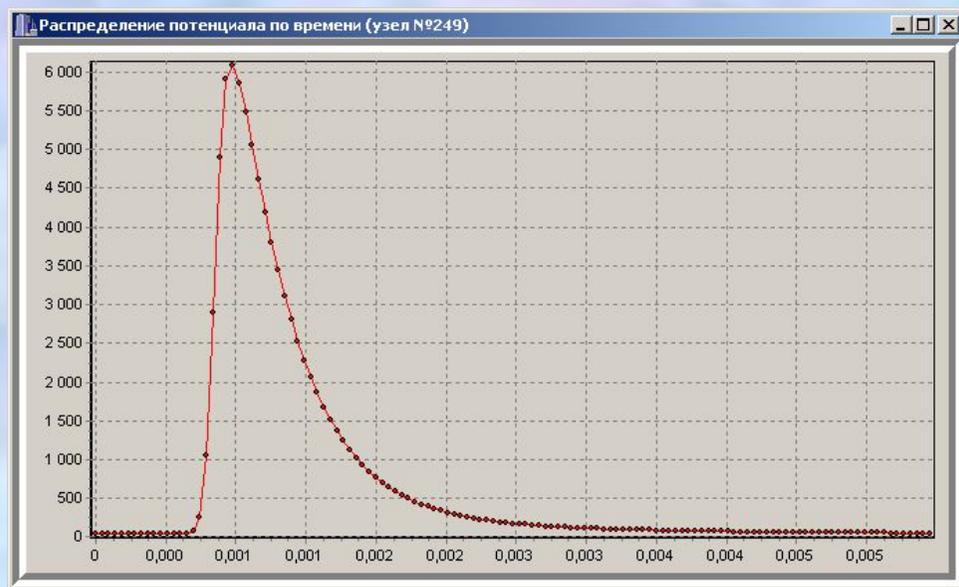


ПРИМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПО СЕТКЕ ЗУ НА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ (по данным СИГРЭ)



Полное сопротивление протяженных заземлителей возрастает с ростом частоты. Поэтому заземляющие устройства электрических станций и подстанций не обеспечивают эффективного выравнивания потенциалов на частотах молниевых импульсов.

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ И РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ (РАСЧЕТ ВЫПОЛНЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО «КОНТУР»)



ИМПУЛЬСНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ И РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

В приведенной на предыдущем слайде ситуации амплитуда импульсных потенциалов в разных частях территории ОРУ подстанции будет сильно различаться. РЩ расположен в правом нижнем углу (рядом с молниеотводом, разряд на который моделировался). В верхней части схемы находятся измерительные трансформаторы, связанные вторичными цепями с аппаратурой в РЩ.

В приведенном выше примере, к изоляции вторичных цепей и входам аппаратуры будет приложена разность потенциалов, достигающая $20 - 6 = 14$ кВ по амплитуде. При этом максимальный потенциал оказывается на заземлении РЩ!

Причиной такой ситуации является ошибка при проектировании системы молниезащиты подстанции.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ

DIN V VDE V 0185-3: 2002-11, Раздел 1, Абзац 4.4.1

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2006-10, Абзац 5.4.1

Чтобы распределить ток молнии в земле (высокочастотный режим) при этом снизить опасные перенапряжения, форма и размеры заземлителей должны отвечать определённым критериям. В целом, рекомендуется низкое сопротивление заземления (меньше, чем 10Ω , измеренное на низкой частоте).

С точки зрения молниезащиты, единая интегрированная структурная система заземления является предпочтительной и правильной для систем молниезащиты, электроснабжения и телекоммуникаций). Соединение с землёй должно быть выполнено в соответствии с требованиями пункта 6.2

ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Стандарт ГОСТ Р МЭК 62305-3 требует непрерывного уравнивания потенциалов молниезащиты. Таким образом, все отдельные системы заземления должны быть связаны между собой для создания глобальной системы заземления. Стандарт различает системы заземления типа А и типа В. К типу А относятся вертикальные и горизонтальные заземлители (глубинный заземлитель, стержневой заземлитель). Тип В включает все поверхностные заземлители (кольцевой заземлитель, фундаментный заземлитель).

ПРОКЛАДКА ФУНДАМЕНТНОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

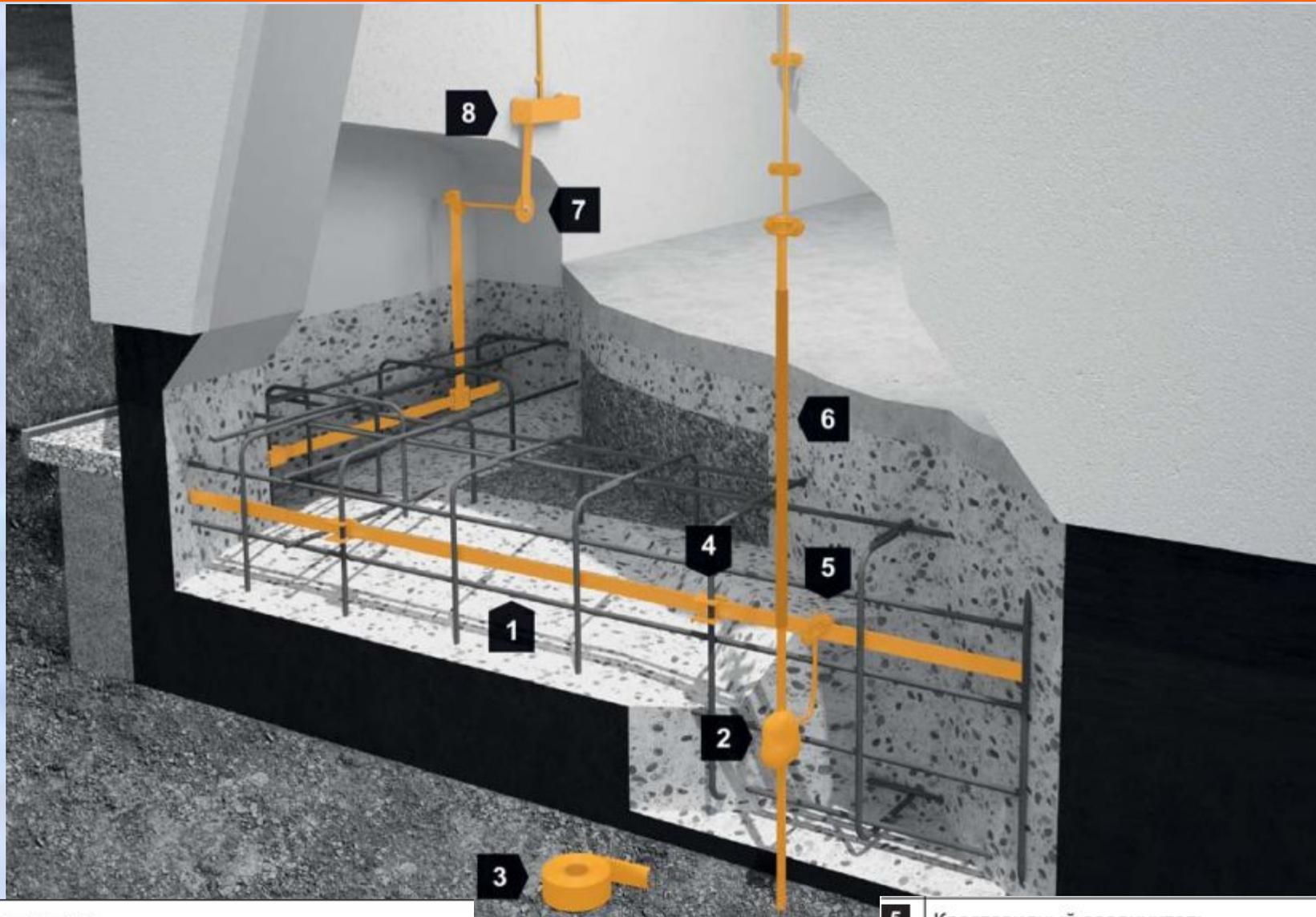




Кольцевой заземлитель типа В



Фундаментный заземлитель типа В



1	Плоский проводник
2	Крестовидный соединитель с антикоррозионной защитой
3	Антикоррозионный бандаж / лента
4	Соединительный зажим для арматурной стали

5	Крестовидный соединитель
6	Стержень для ввода в землю
7	Фиксированная точка заземления
8	Главная заземляющая шина (ГЗШ)

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ. ТИП А



Если сопротивление заземлителя превышает 10 Ом, минимальная длина заземлителя должна быть не менее указанной на Рис.2. Каждый токоотвод соединяется с горизонтальным заземляющим электродом, который закапывается в грунт на длину 5 метров и на глубину не менее полуметра. В случае необходимости, горизонтальный заземляющий электрод может быть соединен с дополнительным вертикальным электродом.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ (ГЛУБИННЫЙ) ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ. ТИП А

В морозных условиях
рекомендуется
рассматривать первый
метр вертикального
заземлителя
неэффективным!

Вертикальный заземлитель

Токоотвод

Точка
измерения

0.5 м

0.5 м

1 м

~1 м

2.5 м

2.5 м

Стандарт: DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2006-10

© 2007 DEHN + SÖHNE / protected by ISO 16016



ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО. ТИП В

Этот тип заземляющих устройств состоит либо из одного кольцевого заземлителя, по крайней мере 80 % общей длины которого расположены в грунте снаружи защищаемого объекта, либо из фундаментного заземлителя. Подобный заземлитель может быть выполнен в виде решётки.



ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО. ТИП В. ФУНДАМЕНТНЫЙ ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ

Присоединение к системе внешней молниезащиты

рекомендуется выполнять
длиной мин. 1,5 м :

- Проводник Ø 10 мм,
с ПВХ-покрытием
- Полоса 30 x 3,5 ,
оцинкованная с
ПВХ-покрытием
- Проводник из нерж.
стали (V4A) Ø 10 мм
- Опорная точка заземления



Фундаментный заземлитель

- замкнутое кольцо
- Каждые 2 м соединение с арматурой
железобетона (сваркой,
опрессовкой, с помощью клемм)
- мин. 5 см защитного слоя бетона
- полосу необходимо монтировать на
ребро

Фундаментный заземлитель

- Проводник Ø 10 мм
- Полоса 30 x 3,5



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДНИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕТКИ В ФУНДАМЕНТАХ ЗДАНИЙ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ



ФУНДАМЕНТНЫЙ ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ КЛЕММЫ ДЛЯ АРМАТУРЫ



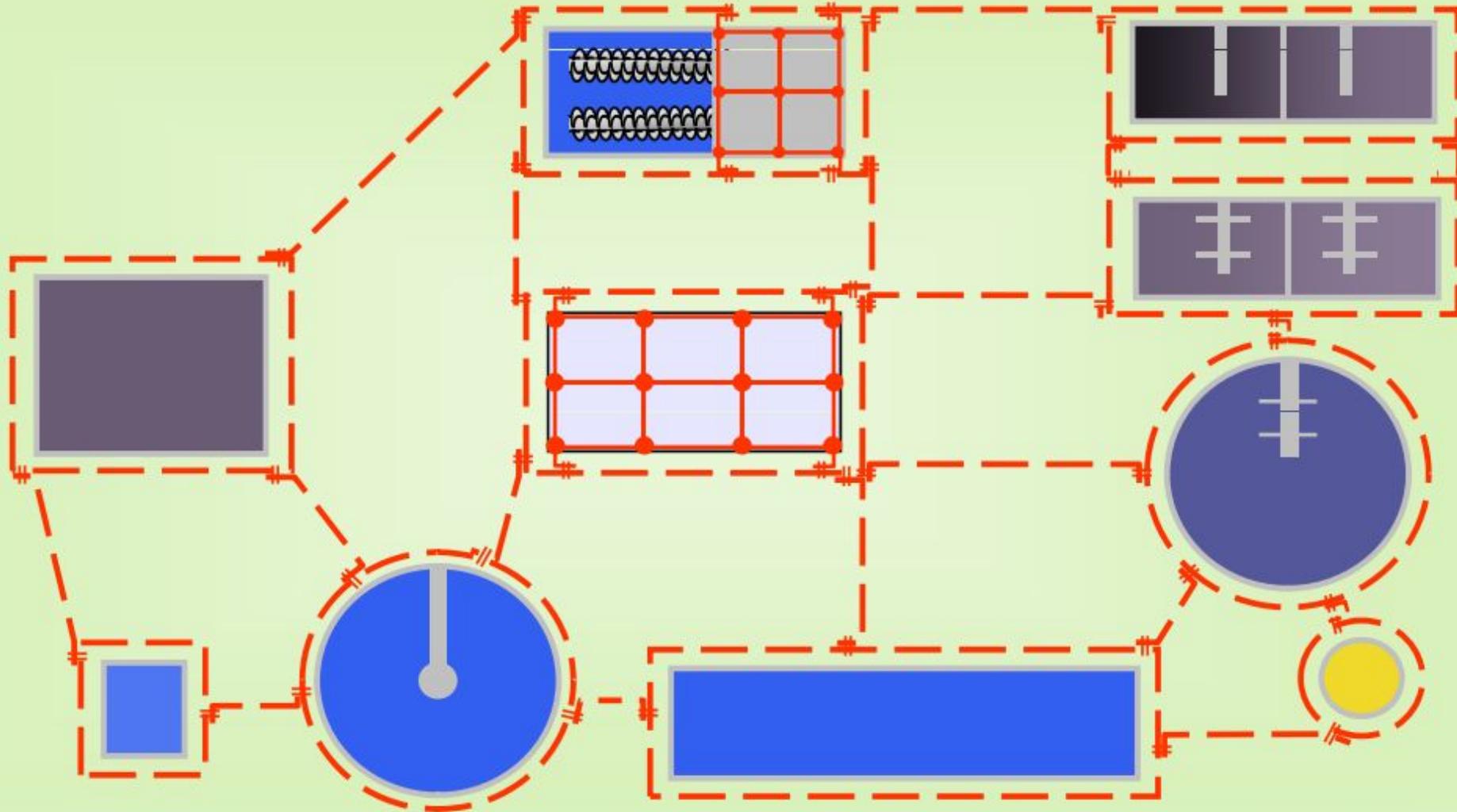
Арт.-№. 390 059



Арт.-№. 308 025



РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ. КОНТУРНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ. КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ RAINVACH



ЗАЗЕМЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ОБЪЕДИНЕНИЕМ В ОБЩИЙ КОНТУР



ЗАЗЕМЛЕНИЕ И УРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ В ПОМЕЩЕНИИ КИП и А



ЗАЗЕМЛЕНИЕ И УРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ В ПОМЕЩЕНИИ КИП и А



ЗАЗЕМЛЕНИЕ И УРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ В ПОМЕЩЕНИИ КИП и А



УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Для защиты линий и оборудования подстанций от перенапряжений используют следующие устройства:

- искровые промежутки, разрядники и ОПН для защиты отдельных точек на линии;
- тросы и заземления опор на линиях;
- роговые разрядники, трубчатые разрядники на контактной сети;
- молниеотводы;
- разрядники и ОПН на подстанциях;
- в отдельных случаях — конденсаторы для снижения грозовых перенапряжений.

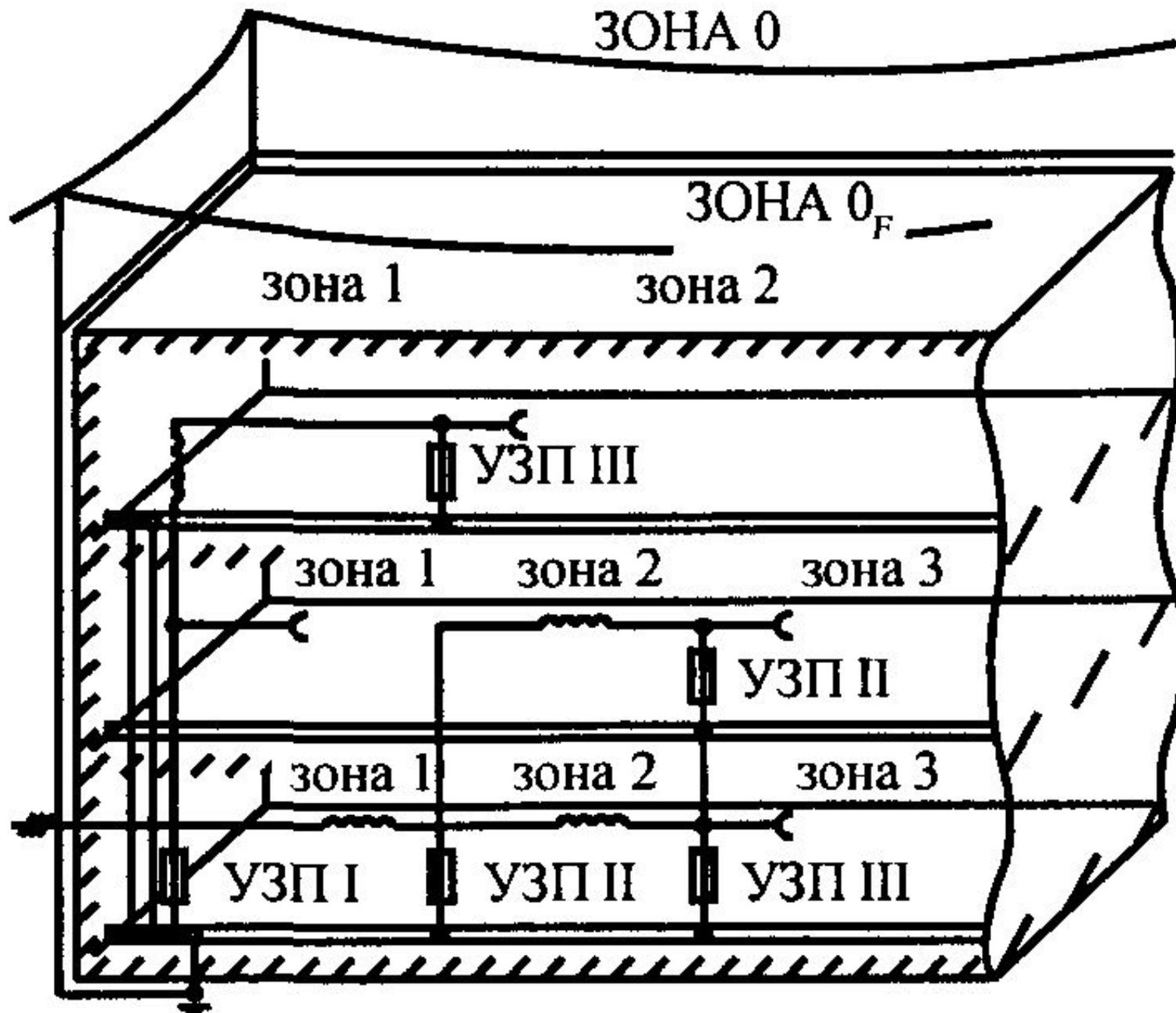
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Устройства защиты от перенапряжений (УЗП) устанавливаются в месте пересечения линией электроснабжения, управления, связи, телекоммуникации границы двух зон экранирования. УЗП координируют для достижения приемлемого распределения нагрузки между ними в соответствии с их стойкостью к разрушению, а также для уменьшения вероятности разрушения защищаемого оборудования под воздействием тока молнии.

Рекомендуется входящие в здание линии питания и связи соединять одной шиной и располагать их УЗП как можно ближе одно к другому. Это особенно важно в зданиях из неэкранирующего материала (дерева, кирпича). УЗП выбираются и устанавливаются так, чтобы ток молнии был в основном отведен в систему заземления на границе зон 0 и 1.

Так как энергия тока молнии в основном рассеивается на указанной границе, последующие УЗП защищают лишь от оставшейся энергии и воздействия электромагнитного поля в зоне 1. Для наилучшей защиты от перенапряжений при установке УЗП используют короткие соединительные проводники, выводы и кабели.

ПРИМЕР УСТАНОВКИ УЗП В ЗДАНИИ

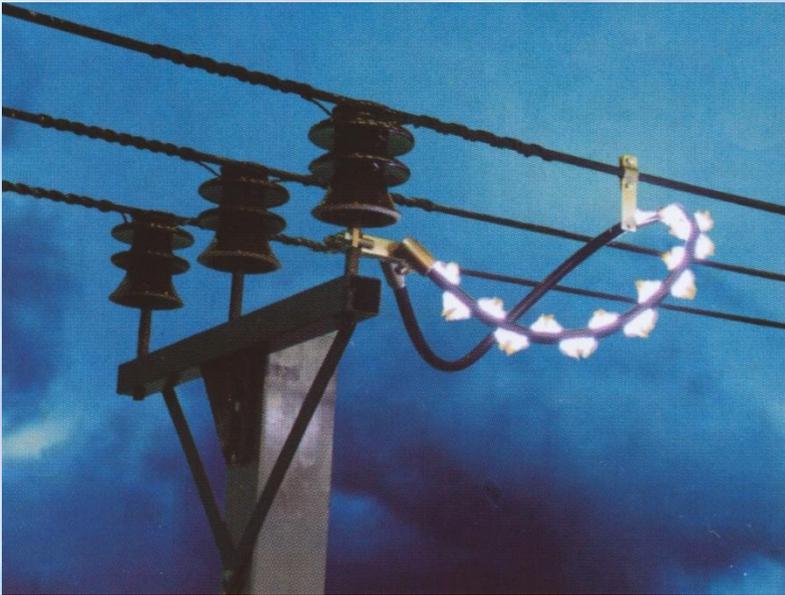


Исходя из требований координации изоляции в силовых установках и устойчивости к повреждениям защищаемого оборудования, необходимо выбирать уровень УЗП по напряжению ниже максимального значения, чтобы воздействие на защищаемое оборудование всегда было ниже допустимого напряжения. Если уровень устойчивости к повреждениям неизвестен, следует использовать ориентировочный или полученный в результате испытаний уровень. Количество УЗП в защищаемой системе зависит от устойчивости защищаемого оборудования к повреждениям и характеристик самих УЗП.

ГРОЗОЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛИННО-ИСКРОВЫМИ РАЗРЯДНИКАМИ

Одним из способов защиты воздушных линий электропередачи и электрических сетей 6-35 кВ от грозовых перенапряжений и их последствий является применение длинно-искровых разрядников (РДИ).

РДИ – особенный по своему принципу действия, конструктивным параметрам, техническим характеристикам и функциональным возможностям класс грозозащитных разрядников, предотвращающий дуговые замыкания за счет удлинения и разбиения на части канала разряда.



Длинно-искровой разрядник петлевой РДИП-10-4-УХЛ1.

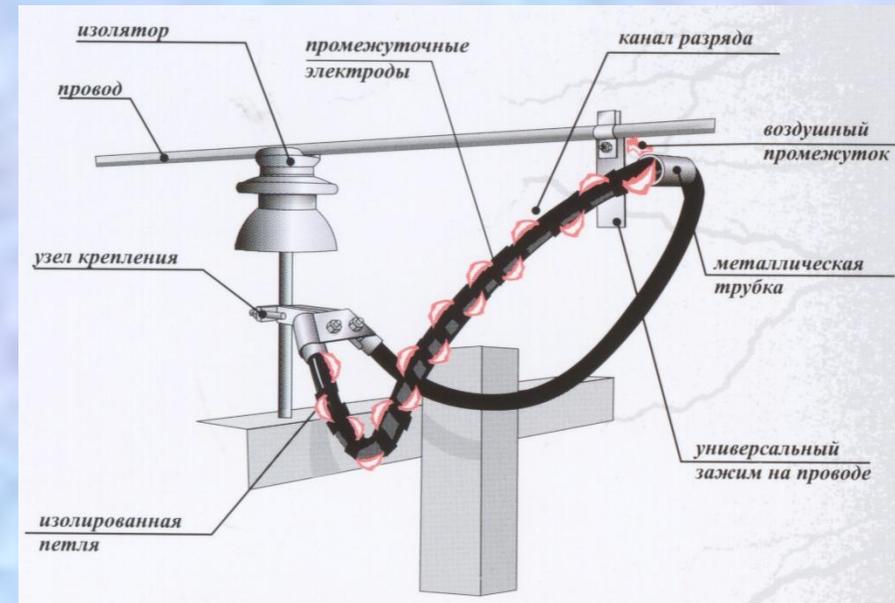


Схема установки на опоре со штыревыми изоляторами.

Принцип работы разрядника основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника, и предотвращении за счет этого перехода импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты. Разрядный элемент РДИ, вдоль которого развивается скользящий разряд, имеет длину, в несколько раз превышающую длину защищаемого изолятора линии. Конструкция разрядника обеспечивает его более низкую импульсную электрическую прочность по сравнению с защищаемой изоляцией. Главной особенностью длинно-искрового разрядника является то, что вследствие большой длины импульсного грозового перекрытия вероятность установления дуги короткого замыкания сводится к нулю.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

РДИМ-10-0,4

Импульсное разрядное напряжение

при положительной полярности.....110 кВ

при отрицательной полярности.....90 кВ

Длина перекрытия по поверхности.....0,4 м

Внешний искровой воздушный промежуток....2-4 см

Выдерживаемое напряжение промышленной частоты не менее

в сухом состоянии.....42 кВ

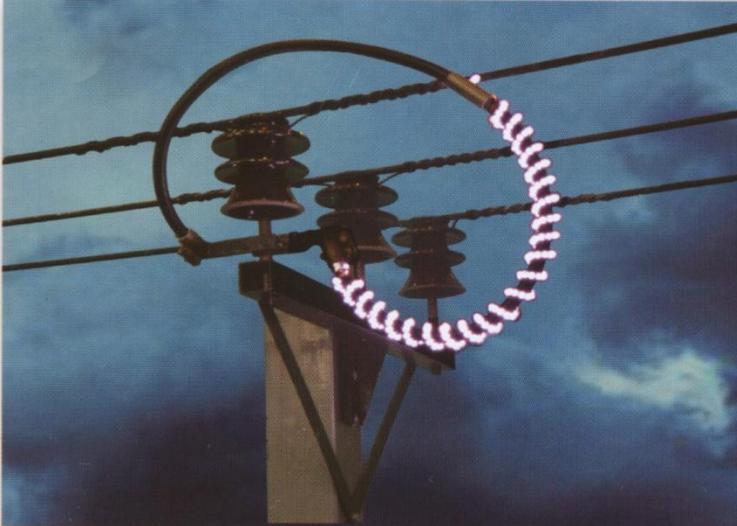
под дождем.....28 кВ

Выдерживаемый импульсный ток, не менее.....40 кА

Масса.....0,1 кг

Срок службы, не менее.....30 лет

РДИ, установленные как с голыми, так и с защищенными проводами, предотвращают грозовые отключения, пережоги проводов, повреждения оборудования, в результате повышая надежность электроснабжения и снижая эксплуатационные расходы.



Длинно-искровой разрядник с мульти-электродной системой РДИ-20-0,4-УХЛ1.



Длинно-искровой разрядник модульный РДИМ-10-0,4-УХЛ1.



streamer.exe











НЕЛИНЕЙНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) являются безискровыми разрядниками и предназначены для защиты изоляции электрооборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений. Ограничители перенапряжений в сетях 6, 10, 35, 110 и 220 кВ устанавливаются взамен вентильных разрядников всех типов.



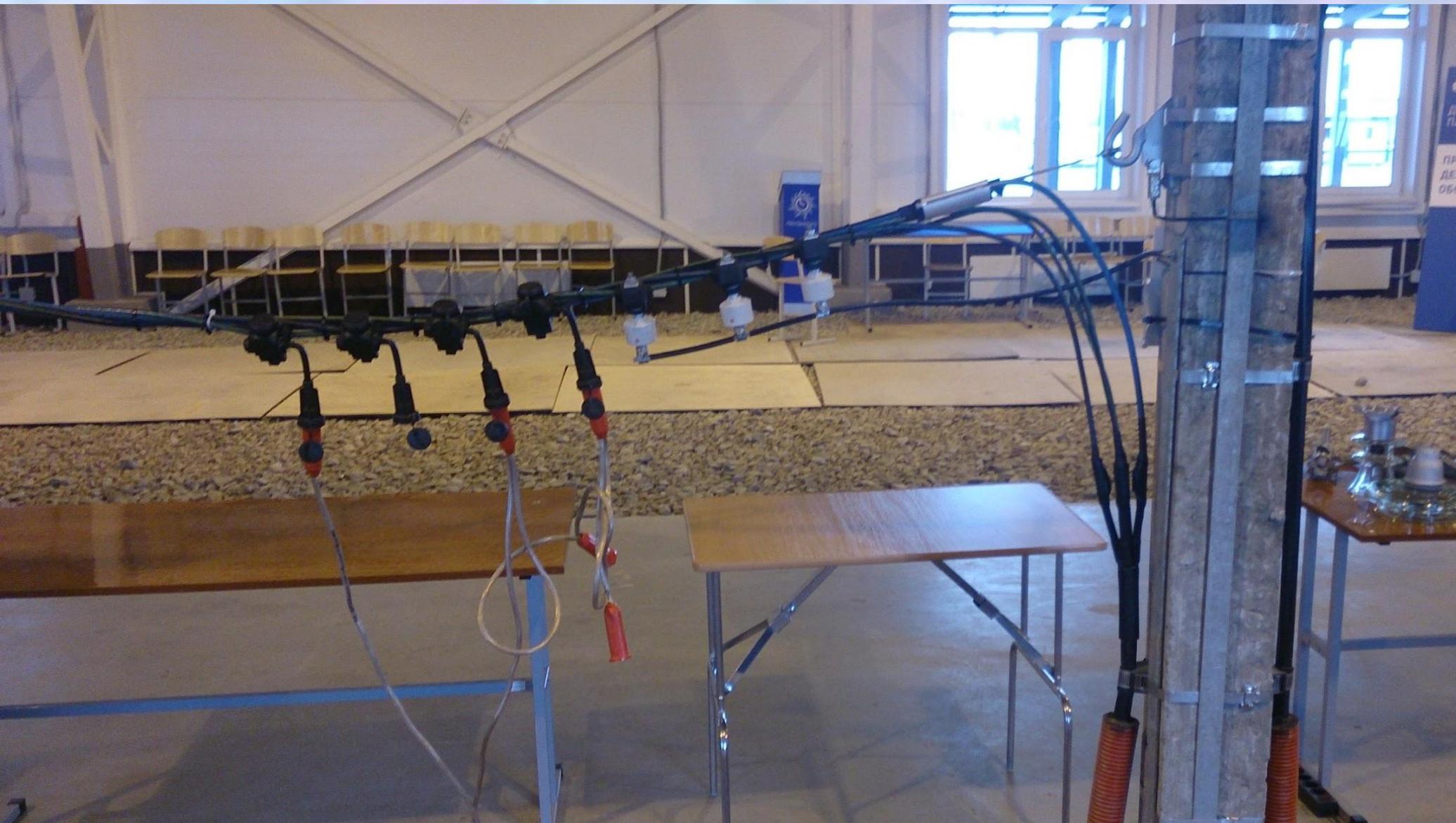
ОПН-П-10УХЛ1 с
хомутом

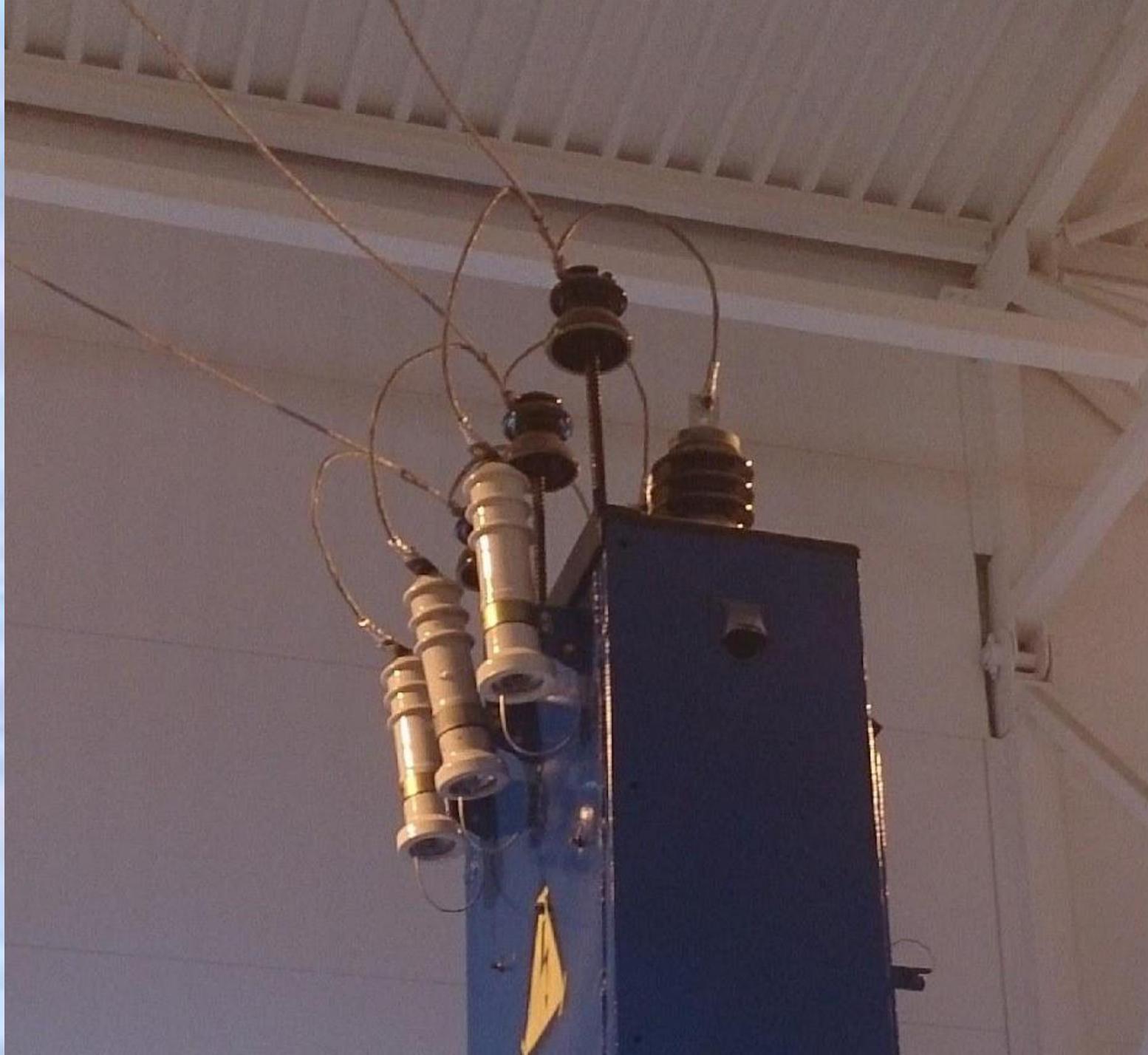


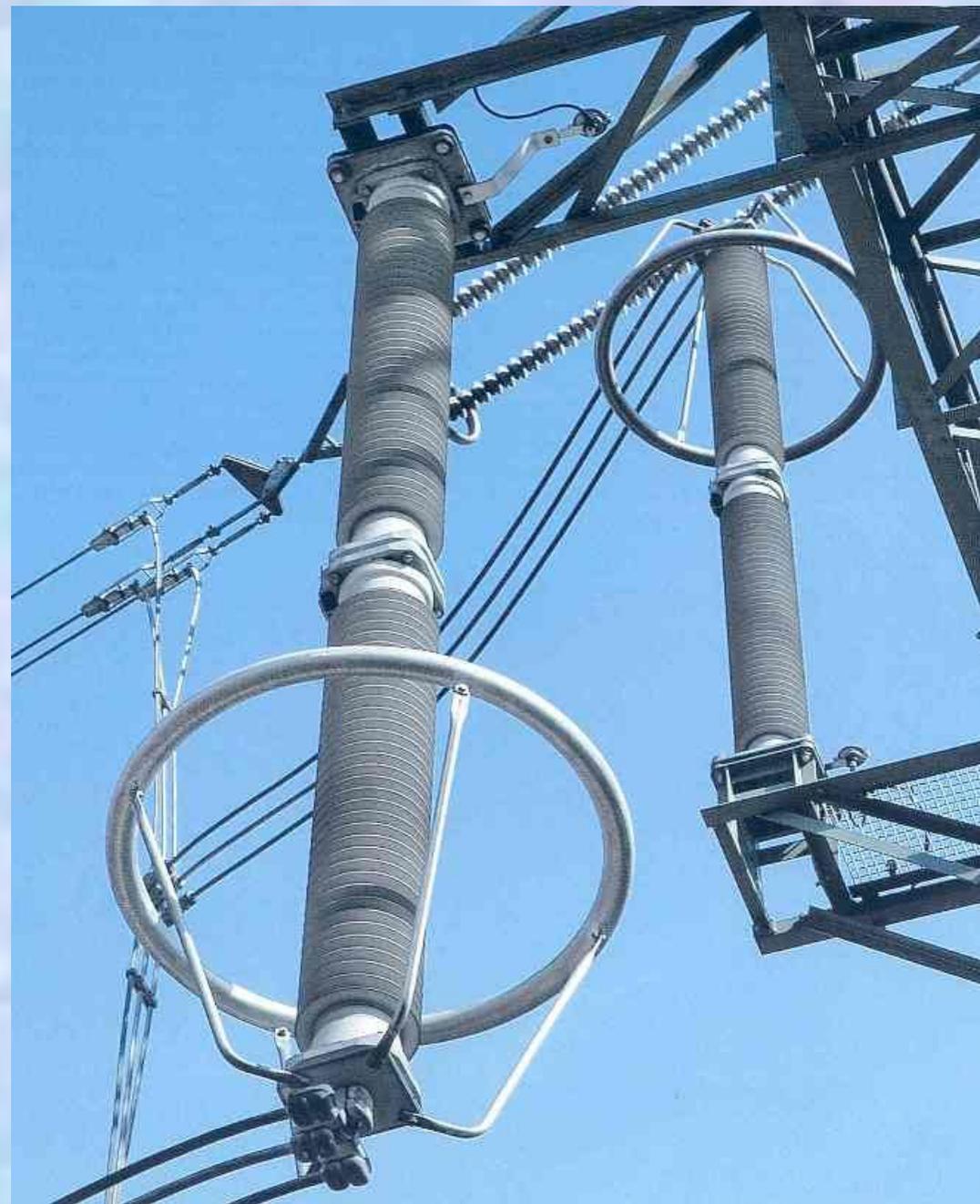
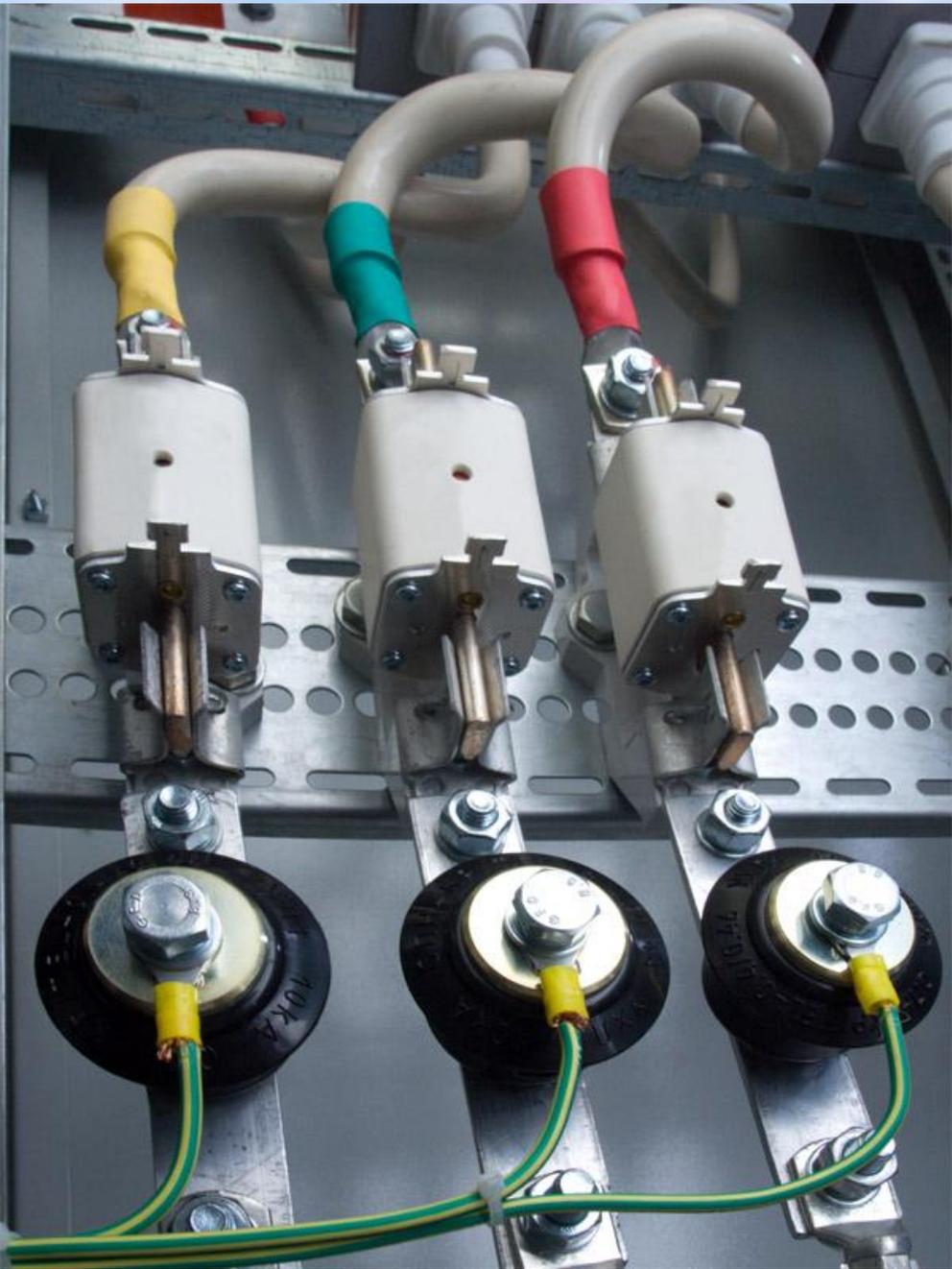
ОПН-П-6 УХЛ1



ОПН-П-10 УХЛ2









ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОПН 10

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ВЕЛИЧИНА ПАРАМЕТРА					
1	Класс напряжения сети, кВ	10					
2	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение $U_{\text{пр}'} \text{ кВ}_{\text{действ.}}$	8,9	10,5	11,5	12	12,5	12,7
3	Номинальное напряжение, кВ _{действ.}	11,1	13,1	14,4	15,0	15,6	15,9
4	Напряжение на ограничителе, допустимое в течении времени, кВ _{действ.} :						
	1200 с	9,9	11,7	12,8	13,3	13,9	14,1
	10 с	11,5	13,5	14,8	15,5	16,1	16,4
	1 с	12,1	14,3	15,6	16,3	17,0	17,3
5	Номинальный разрядный ток (амплитуда грозового импульса тока 8/20 мкс), $A_{\text{ампл.}}$	10000					
6	Пропускная способность $I_{\text{пр}}$ (амплитуда прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс), $A_{\text{ампл.}}$	550					
7	Остающееся напряжение при импульсном токе на волне 8/20 мкс, кВ, не более, с амплитудой:						
	5000 А	26,2	30,9	33,9	35,3	36,8	37,4
	10000 А	28,5	33,6	36,8	38,4	40,0	40,6
	20000 А	31,6	37,3	40,8	42,6	44,4	45,1

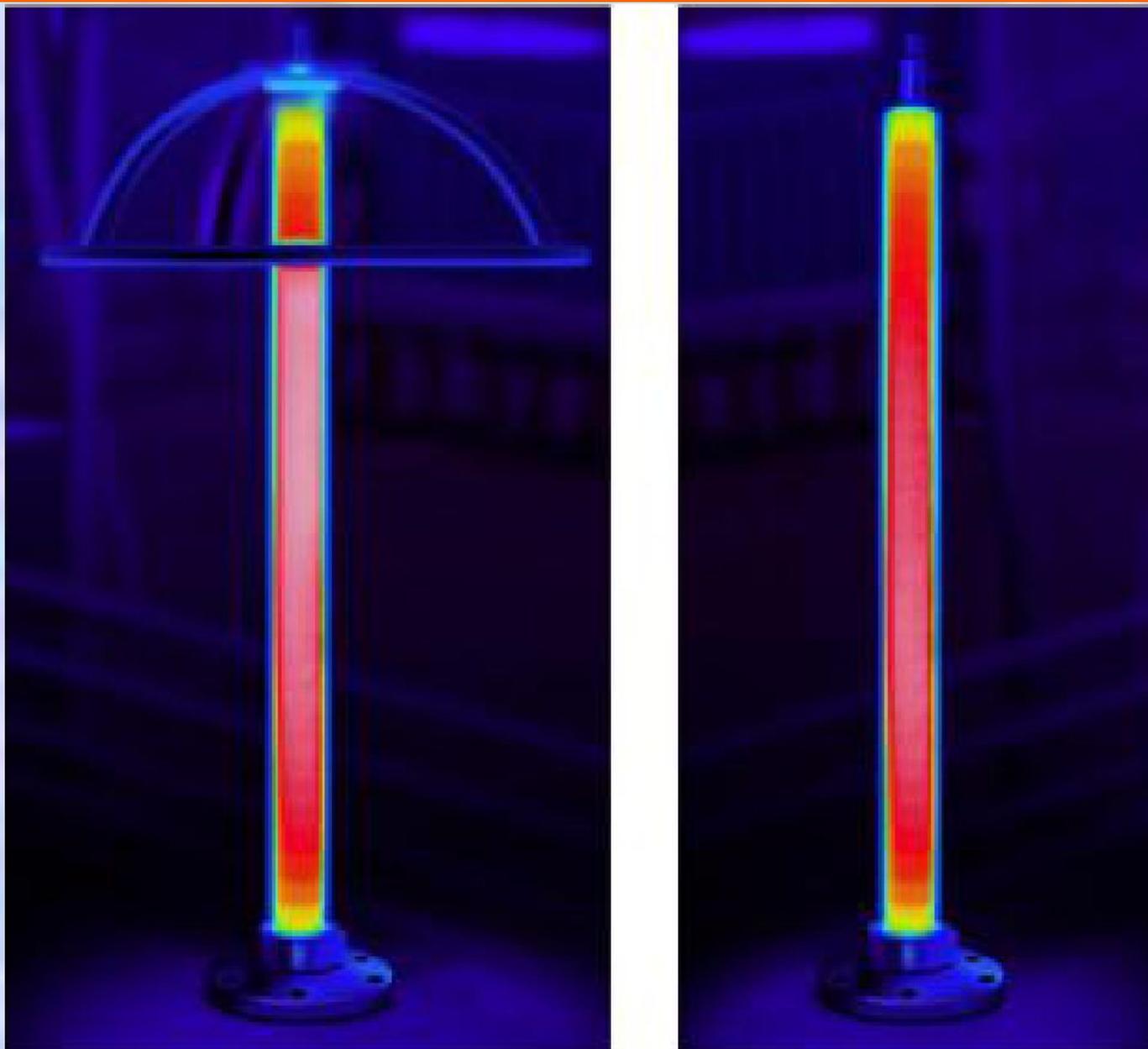
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОПН 10

8	Остающееся напряжение при импульсном токе на волне 30/60 мкс, кВ, не более, с амплитудой:						
	250 А	21,1	24,9	27,2	28,4	29,6	30,1
	500 А	21,6	25,5	28,0	29,2	30,4	30,9
	1000 А	22,5	26,5	29,1	30,3	31,6	32,1
9	Остающееся напряжение при импульсном токе на волне 1/10 мкс с амплитудой 10000 А, кВ, не более	30,2	35,6	39,0	40,7	42,4	43,1
10	Классификационное напряжение ограничителя при активной составляющей переменного тока $2 \text{ мА}_{\text{ампл.}}$, $\text{кВ}_{\text{действ.}}$, не менее	11,0	12,9	14,2	14,8	15,4	15,6
11	Пропускная способность ограничителя:						
	а) 18 импульсов тока прямоугольной формы длительностью 2000 мкс с амплитудой, А	550					
	б) 20 импульсов тока 8/20 мкс с амплитудой, А	10000					
	в) 2 импульса тока 4/10 мкс с амплитудой, А	100000					
12	Удельная энергоемкость, $\text{кДж/кВ}_{\text{действ.}}$	2,7					

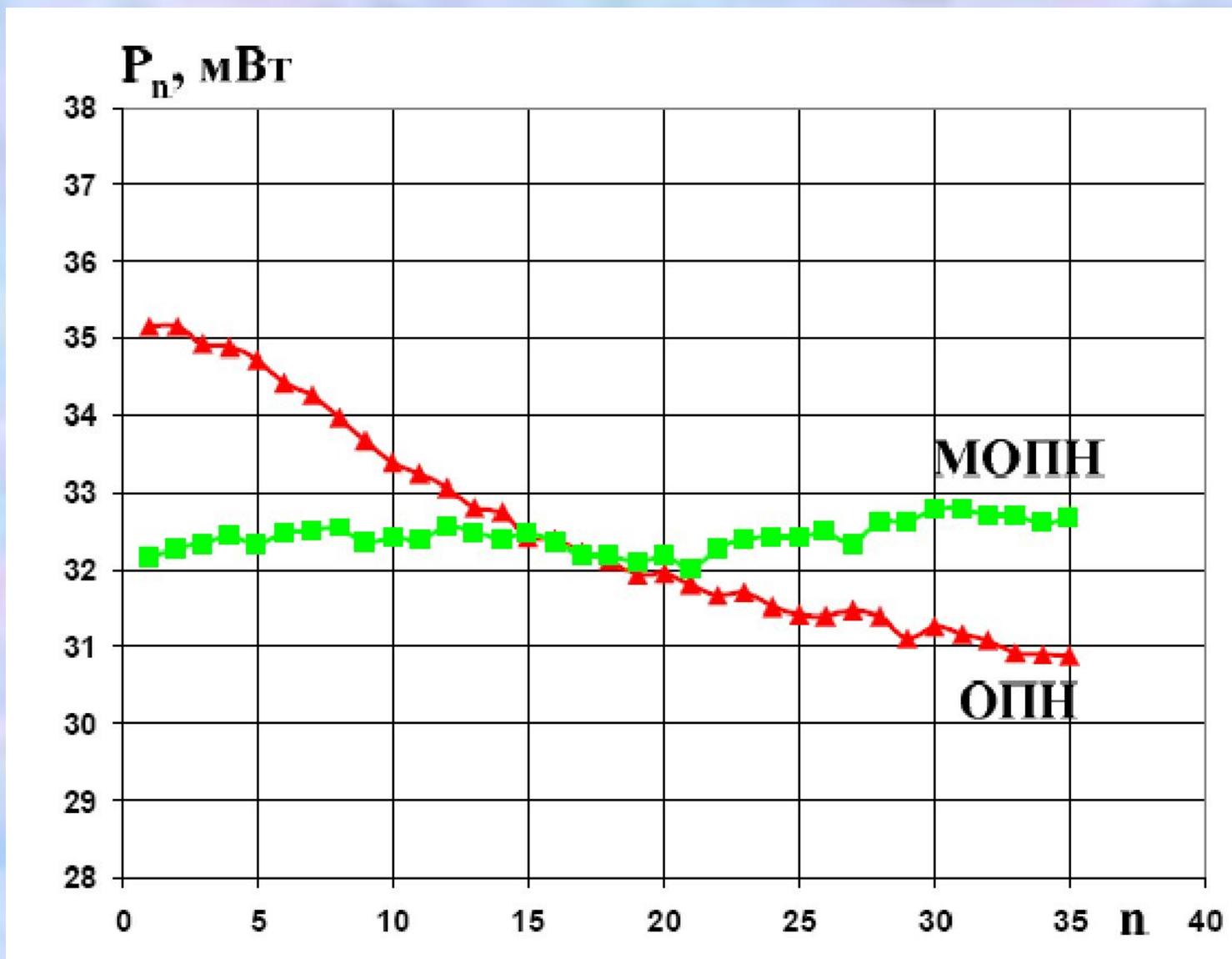
Одной из серьезных проблем, требующих решения при создании и эксплуатации ОПН, является обеспечение равномерного распределения напряжения вдоль колонки варисторов. Причиной неравномерности распределения напряжения вдоль колонки варисторов является резкая неравномерность электрического поля, в которое помещается ОПН. Неравномерное поле создается высоковольтным электродом в виде провода, подходящего к ОПН, и заземленной опорной конструкцией в виде бетонной сваи совместно с поверхностью земли. Неравномерность электрического поля является причиной того, что потери активной мощности оказываются различными для варисторов, расположенных в разных частях колонки, что приводит к их неравномерному нагреву. Как правило, воздействие на единичные варисторы повышенного напряжения и их перегрев имеют место в верхней части колонки, что ведет к их преждевременному старению, и может явиться причиной выхода из строя ОПН.



Термограммы, полученные с помощью тепловизора
(слева – для типового ОПН 110 кВ с экраном, справа – для МОПН).



Распределение активных потерь мощности в варисторах для типового ОПН 110 кВ с экраном и МОПН без экрана.

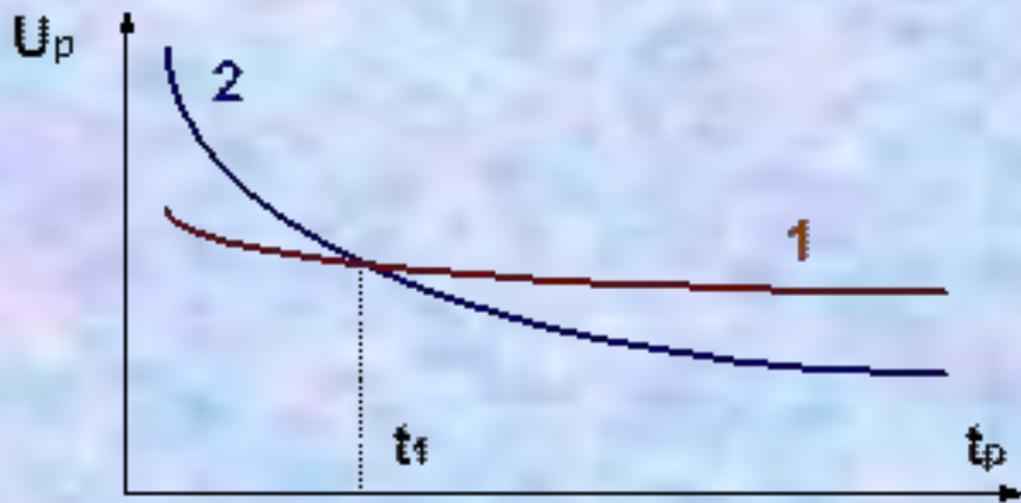
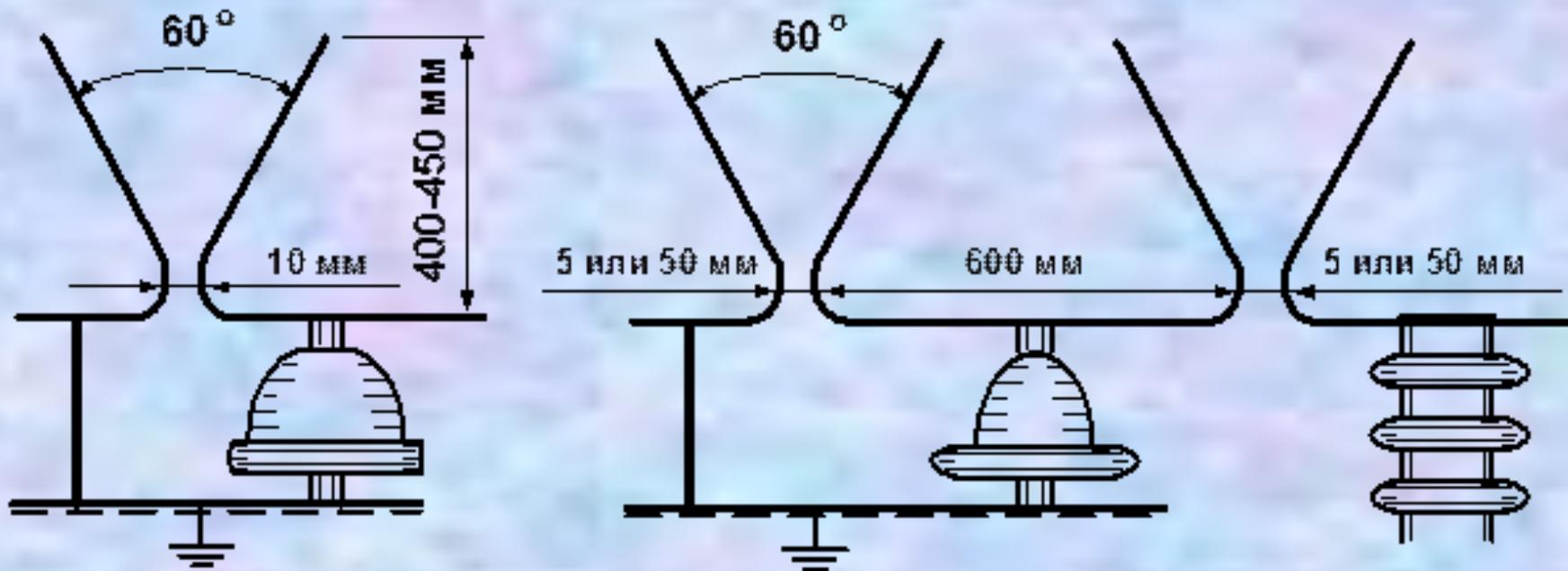


МОПН, разрабатываемый как защитный аппарат для особо тяжелых условий работы может быть эффективно использован в обычных условиях с существенным увеличением надежности. В качестве основных преимуществ МОПН можно назвать следующие:

1. способность перераспределения тепла за счет соответствующего выстраивания свойств полупроводниковых материалов;
2. повышенная устойчивость при перенапряжениях;
3. расширенные возможности адаптации защитного аппарата к конкретным местам установки;
4. снижение массогабаритных характеристик защитного аппарата за счет уменьшения экрана, вплоть до полного отказа от него.

РОГОВЫЕ РЯЗРЯДНИКИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ





Вольт-секундные характеристики изоляции (1)
и искрового промежутка с резконеоднородным полем (2)

Искровые промежутки обладают целым рядом *недостатков*, основные из которых следующие:

- срабатывание искровых промежутков приводит к короткому замыканию, которое должно отключаться выключателями;
- при переходном процессе среза напряжения могут возникнуть перенапряжения на продольной изоляции трансформаторов, реакторов и электрических машин;
- большой статистический разброс пробивных напряжений затрудняет координацию изоляции;
- вольт-секундная характеристика искрового промежутка из-за резкой неоднородности поля имеет подъем в области малых времен, соответствующих грозovým перенапряжениям, и защищаемая изоляция может остаться незащищенной.

ПАРАМЕТРЫ ИСКРОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ				
Номинальное напряжение, кВ	3	6	10	35	110
Длина основного промежутка, мм	20	40	60	250	650
Длина дополнительного промежутка, мм	5	10	15	30	-
Амплитуда пробивного напряжения 50 Гц, кВ ампл.	28	48	63	148	356
Импульсное пробивное напряжение, кВ (для отрицательного импульса)	34	52	67	220	510

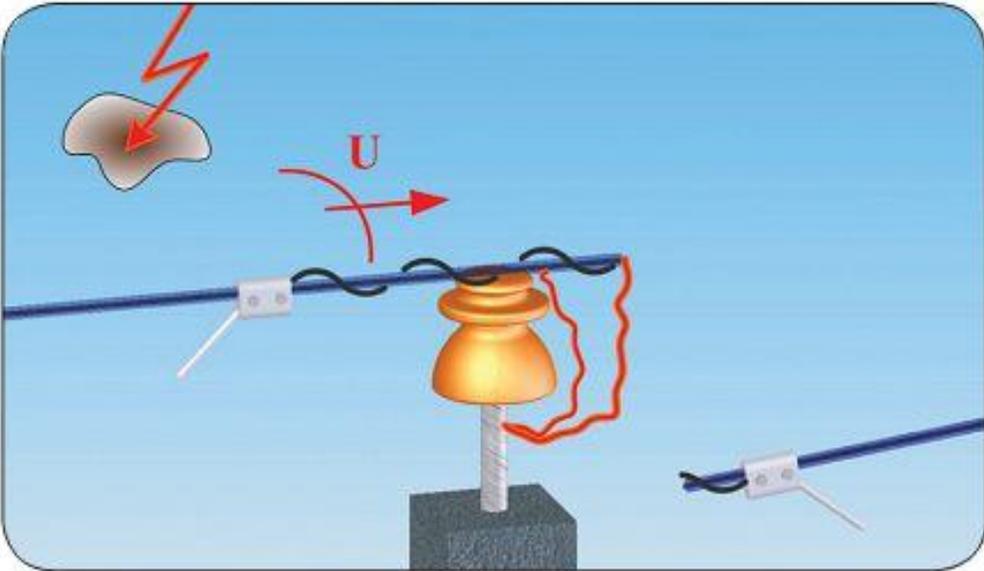
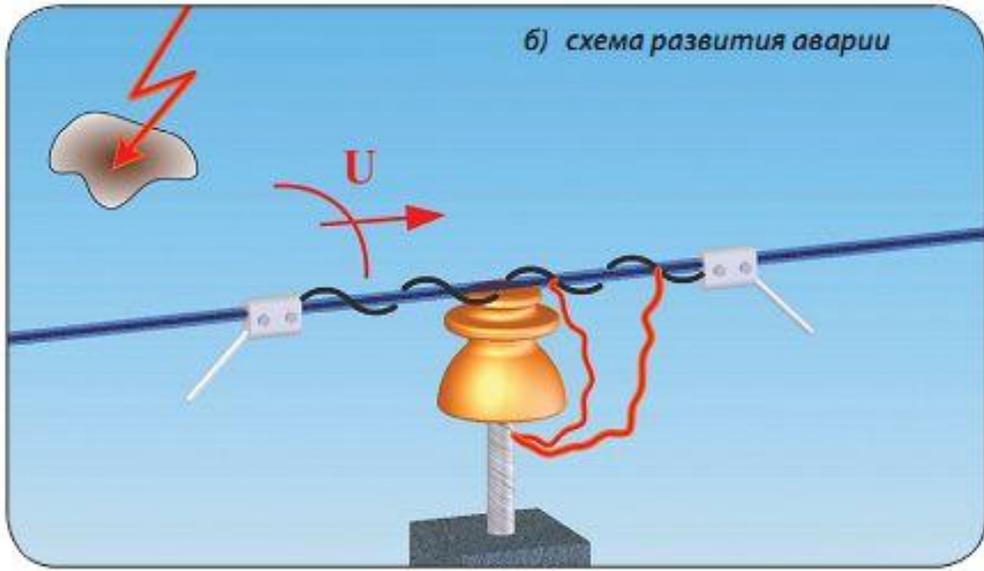
ПАРАМЕТРЫ РОГОВЫХ РАЗРЯДНИКОВ

Параметр	С одним искровым промежутком	С двумя искровыми промежутками	
		3.3	25
Напряжение контактной сети, кВ	3.3	3.3	25
Расстояние, мм	10..11	4,5..5,5	40..50
Амплитуда пробивного напряжения 50 Гц, кВ	33	33	95
Импульсное пробивное напряжение, кВ	35	25	190
Наибольший ток, при котором дуга может погаснуть самостоятельно, кА	3	7	-
Время гашения дуги, с	0,25..0,6	0,2..0,6	-

а) фотография
опоры ВЛЗ



б) схема развития аварии

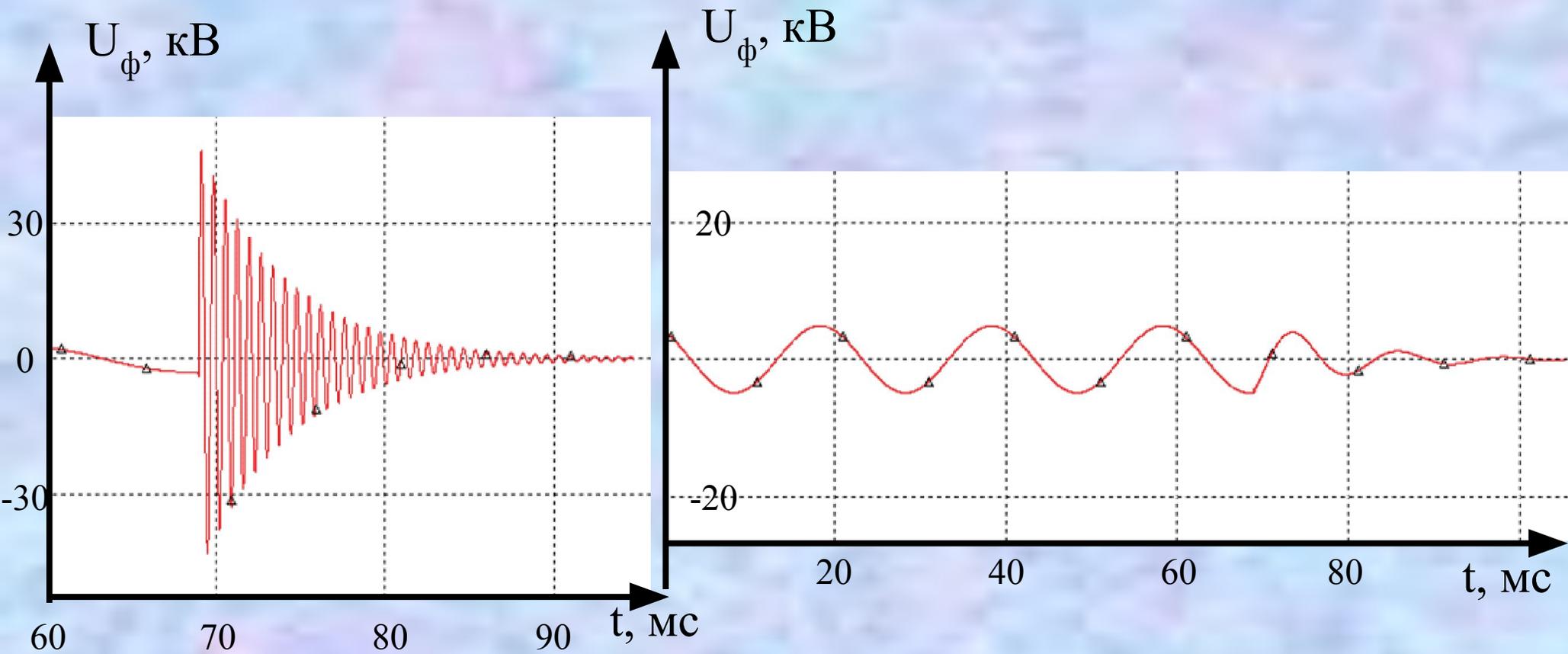


Пережог провода на ВЛЗ, оборудованной дугозащитными рогами

ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Надежность работы электрооборудования обеспечивается в первую очередь прочностью электрической изоляции, находящейся в условиях агрессивной среды, высокой влажности, запыленности и механических воздействий. Ввиду возможных жестких требований, предъявляемых к габаритам электрооборудования, его изоляция, как правило, не способна выдерживать перенапряжения при их многократных повторениях.

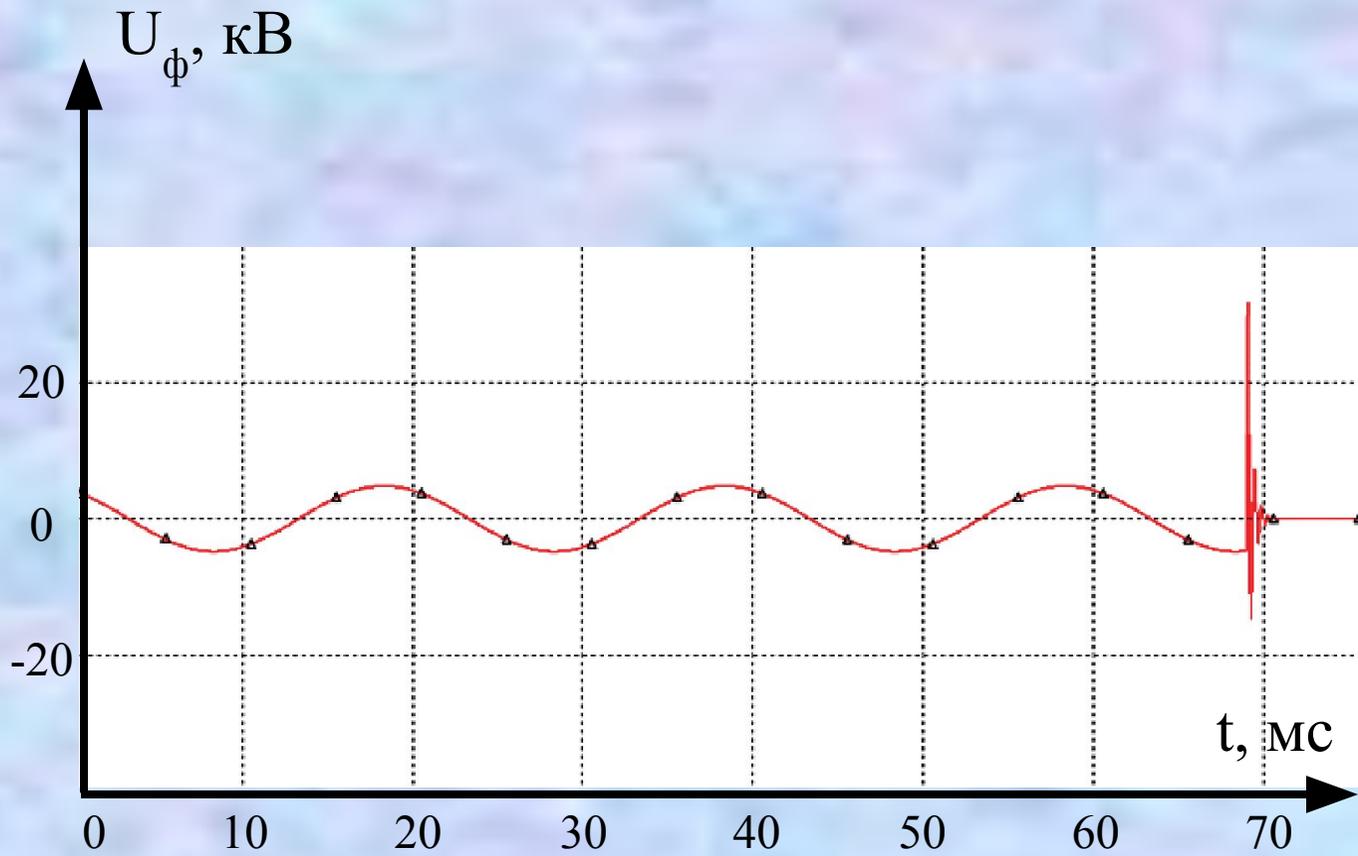
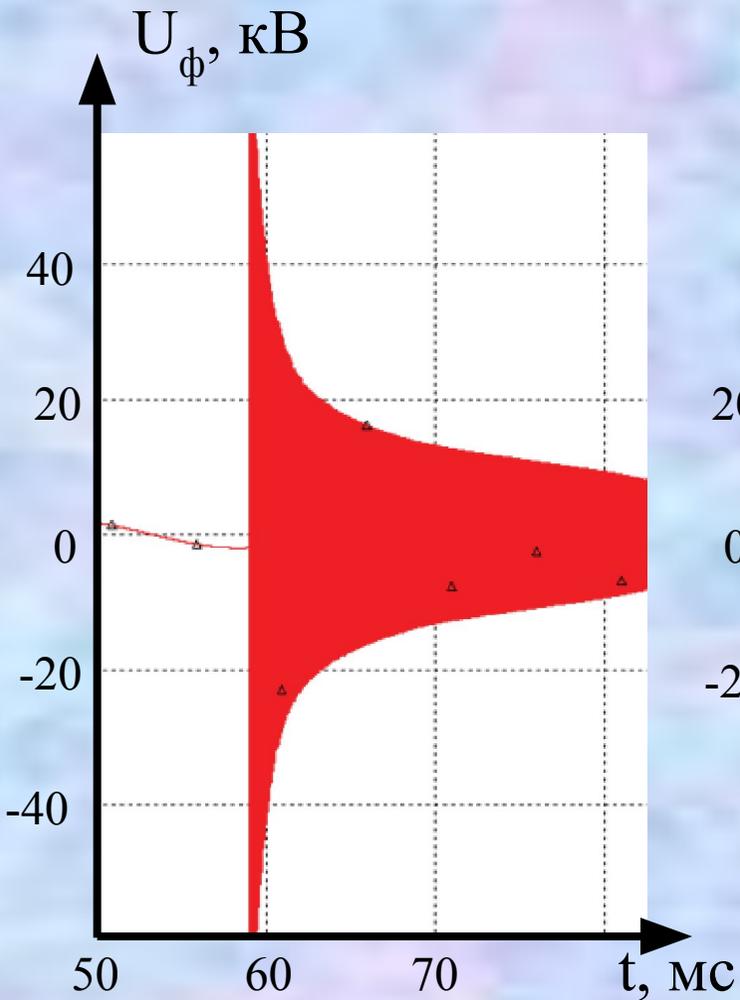
Перенапряжения, возникающие на клеммах трансформаторов и электрических машин при коммутации их обмоток, могут достигать больших величин, что приводит не только к выходу из строя дорогостоящего оборудования, но и к возможному появлению потенциала на его корпусе, представляющего большую опасность для человека.



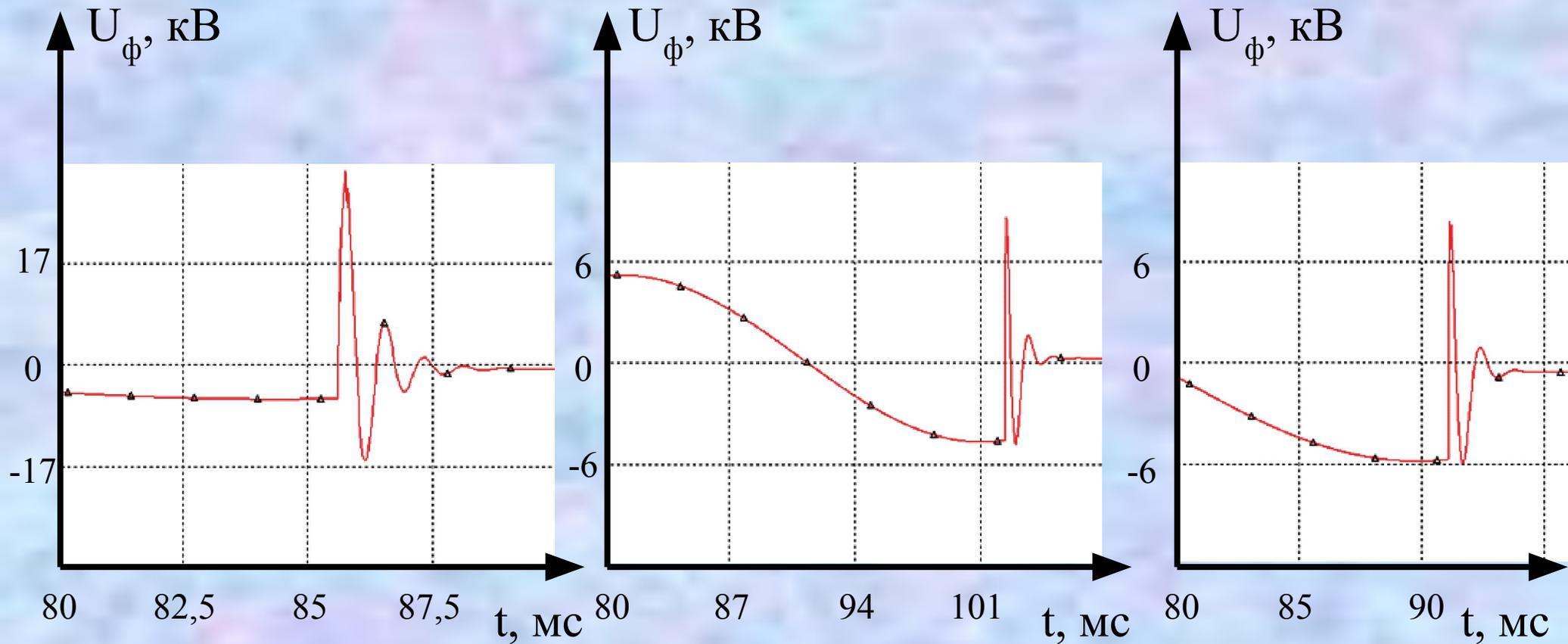
Фазное напряжение при отключении трансформатора на холостом ходу:

а) без РС-цепей;

б) с РС-цепями.



Фазное напряжение (относительно средней точки «звезды» трансформатора) при отключении трансформатора, нагруженного на электродвигатель:
 а) без RC-цепей; б) с RC-цепями.



Отключение трансформатора, нагруженного на электродвигатель.

Напряжение:

а) на резисторе RC-цепи; б) фазное с RC-цепями и ограничителем напряжения; в) на резисторе RC-цепи и ограничителем напряжения.

Установка ОПН на воздушной линии 110 кВ.



Класс устройства	Назначение устройства
I	МЭК-61643-1 (1998): «Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Данный стандарт МЭК переведен на русский язык и введен в действие в виде ГОСТ Р 51992-2011 Предназначены для защиты от прямых ударов молнии в систему молниезащиты здания (объекта) или воздушную линию электропередач (ЛЭП). Устанавливаются на вводе в здание во вводно-распределительном устройстве (ВРУ) или главном распределительном щите (ГРЩ). Нормируются импульсным током I_{imp} с формой волны 10/350 мкс.
II	Предназначены для защиты токораспределительной сети объекта от коммутационных помех или как вторая ступень защиты при ударе молнии. Устанавливаются в распределительные щиты. Нормируются импульсным током с формой волны 8/20 мкс.
III	Предназначены для защиты потребителей от остаточных бросков напряжений, защиты от дифференциальных (несимметричных) перенапряжений (например, между фазой и нулевым рабочим проводником в системе TN-S), фильтрации высокочастотных помех. Устанавливаются непосредственно возле потребителя. Могут иметь самую разнообразную конструкцию (в виде розеток, сетевых вилок, отдельных модулей для установки на DIN-рейку или навесным монтажом). Нормируются комбинированной волной напряжения (1,2/50) мкс и тока (8/20) мкс.

При выборе защитных устройств на разрядниках или оксидно-цинковых варисторах необходимо обращать внимание на следующие параметры:

1. Номинальное рабочее напряжение. (U_n) Это номинальное действующее напряжение сети, для работы в которой предназначено защитное устройство.

2. Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение защитного устройства (максимальное рабочее напряжение). (U_c) Это наибольшее действующее значение напряжения переменного тока, которое может быть длительно (в течение всего срока службы) приложено к выводам защитного устройства.

3. Классификационное напряжение (Параметр для варисторных ограничителей перенапряжений). Это действующее значение напряжения промышленной частоты, которое прикладывается к варисторному ограничителю для получения классификационного тока (обычно значение классификационного тока принимается равным 1,0 мА).

4. Импульсный ток. (I_{imp}). Этот ток определяется пиковым значением I_{peak} испытательного импульса длительностью 10/350 мкс и зарядом Q. Применяется для испытаний защитных устройств класса I.

5. Номинальный разрядный ток. (I_n). Это пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, проходящего через защитное устройство. Ток данной величины защитное устройство может выдерживать многократно. Используется для испытания УЗИП класса II. При воздействии данного импульса определяется уровень защиты устройства. По этому параметру также производится координация других характеристик УЗИП, а также норм и методов его испытаний.

6. Максимальный разрядный ток. (I_{max}). Это пиковое значение испытательного импульса тока формы 8/20 мкс, который защитное устройство может пропустить один раз и не выйти из строя. Используется для испытания УЗИП класса II.

7. Сопровождающий ток. (I_f) (Параметр для УЗИП на основе разрядников). Это ток, который протекает через разрядник после окончания импульса перенапряжения и поддерживается самим источником тока, т.е. электроэнергетической системой. Фактически значение этого тока стремится к расчетному току короткого замыкания (в точке установки разрядника для данной конкретной электроустановки). Поэтому для установки в цепи «L-N; L-PE» нельзя применять газонаполненные (и другие) разрядники со значением I_f равным 100 – 400 А (если расчетный ток КЗ оказался выше этого значения). В результате длительного воздействия сопровождающего тока они будут повреждены и могут вызвать пожар! Для установки в данную цепь необходимо применять разрядники со значением I_f превышающим расчетный ток короткого замыкания, т.е. желательно величиной от 2 – 3-х кА и выше!

8. Уровень защиты. (U_p) Это максимальное значение потери напряжения на защитном устройстве при протекании через него импульсного тока разряда. Параметр характеризует способность устройства ограничивать появляющиеся на его клеммах перенапряжения. Обычно определяется при протекании номинального импульсного разрядного тока (I_n).

9. Время срабатывания. Для оксидно-цинковых варисторов его значение обычно не превышает 25 наносекунд. Для разрядников разной конструкции время срабатывания может находиться в пределах от 100 наносекунд до нескольких микросекунд.

Существует ряд других параметров, которые тоже учитываются при выборе устройств защиты от перенапряжения: ток утечки (для варисторов), максимальная энергия, выделяемая на варисторе, ток срабатывания предохранителей (для защитных устройств со встроенными предохранителями).

КОМПОНЕНТЫ И ЗАЩИТНЫЕ ЦЕПИ

Диод-супрессоры

Характеристики:

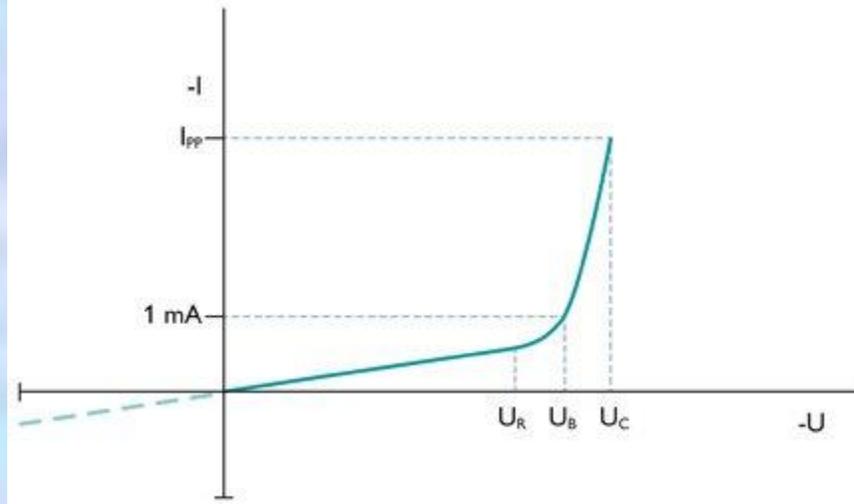
В общем случае функция определяется как высокочувствительная защита.

Очень короткое время реагирования.

Низкое ограничение напряжения.

Стандартное исполнение с низкой максимальной нагрузочной способностью по току и высокой ёмкостью. При номинальном напряжении 5 В максимальная пропускная способность составляет около 750 А. При увеличении номинального напряжения значительно уменьшается пропускная способность.

Особенности: В наличии есть также диоды с более высоким номинальным напряжением и более высокой пропускной способностью. Однако эти исполнения отличаются существенно большими размерами, и поэтому не используются в комбинированных защитных цепях.



КОМПОНЕНТЫ И ЗАЩИТНЫЕ ЦЕПИ

Варисторы

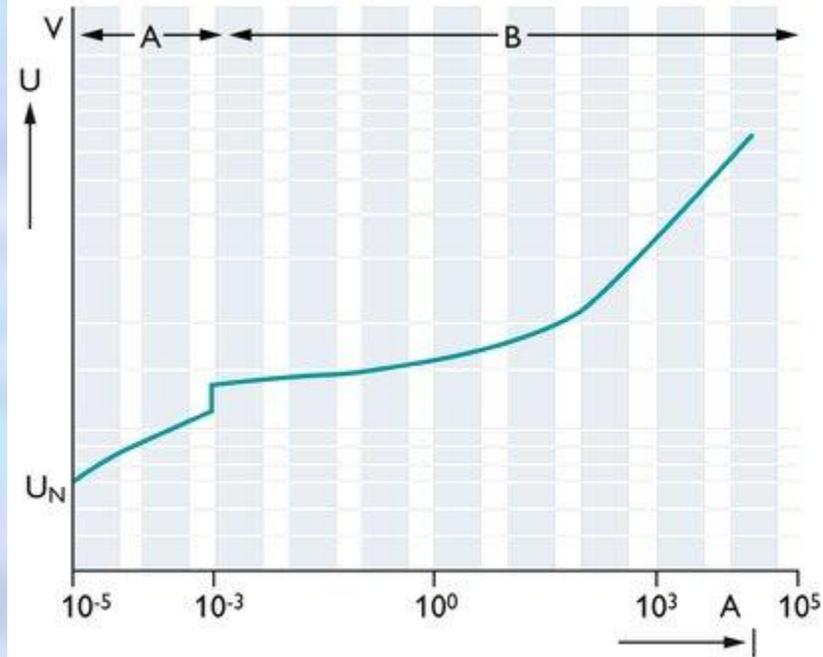
Характеристики:

В общем случае функция определяется как среднечувствительная защита.

Время срабатывания находится в нижнем диапазоне наносекунд.

Более быстрая реакция, чем у газонаполненных защитных устройств. Не вызывают сопровождающего тока в сети.

Варисторы с номинальным разрядным током до 2,5 кА используются в КИПиА в качестве устройств среднечувствительной защиты. В области источников питания варисторы с номинальным разрядным током до 3 кА являются важным компонентом защитных цепей в защитных устройствах типа 3 для защиты устройств. Значительно более мощные варисторы используются в устройствах защиты от импульсных перенапряжений типа 2. В стандартном исполнении в этом диапазоне допускается номинальный разрядный ток до 20 кА. Для специальных приложений имеются также защитные устройства типа 2 с номинальным током до 80 кА.



КОМПОНЕНТЫ И ЗАЩИТНЫЕ ЦЕПИ

Газонаполненное устройство защиты от импульсных перенапряжений

Характеристики:

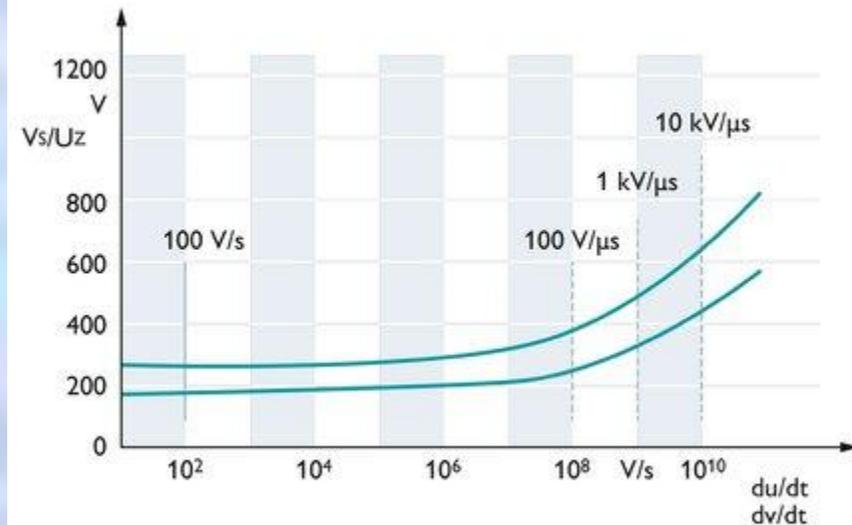
В общем случае функция определяется как

среднечувствительная защита.

Время срабатывания находится в среднем диапазоне наносекунд.

Стандартные варианты позволяют отводить токи до 20 кА.

Несмотря на высокую пропускную способность компонент имеет совсем небольшие размеры.



Особенности:

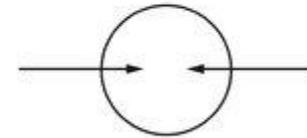
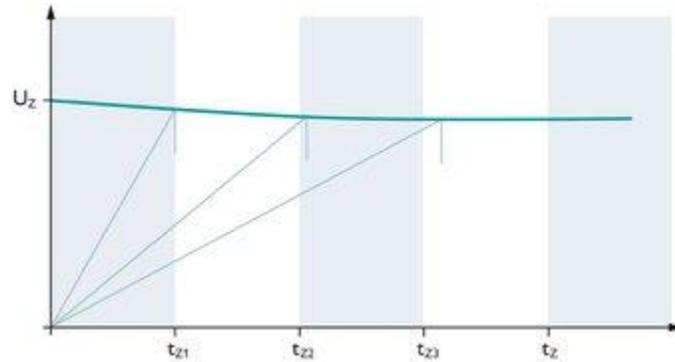
В этом компоненте характеристика зажигания с зависимостью напряжения от времени приводит к остаточным напряжениям, которые могут достигать до нескольких 100 В.

КОМПОНЕНТЫ И ЗАЩИТНЫЕ ЦЕПИ

Искровые разрядники

Характеристики:

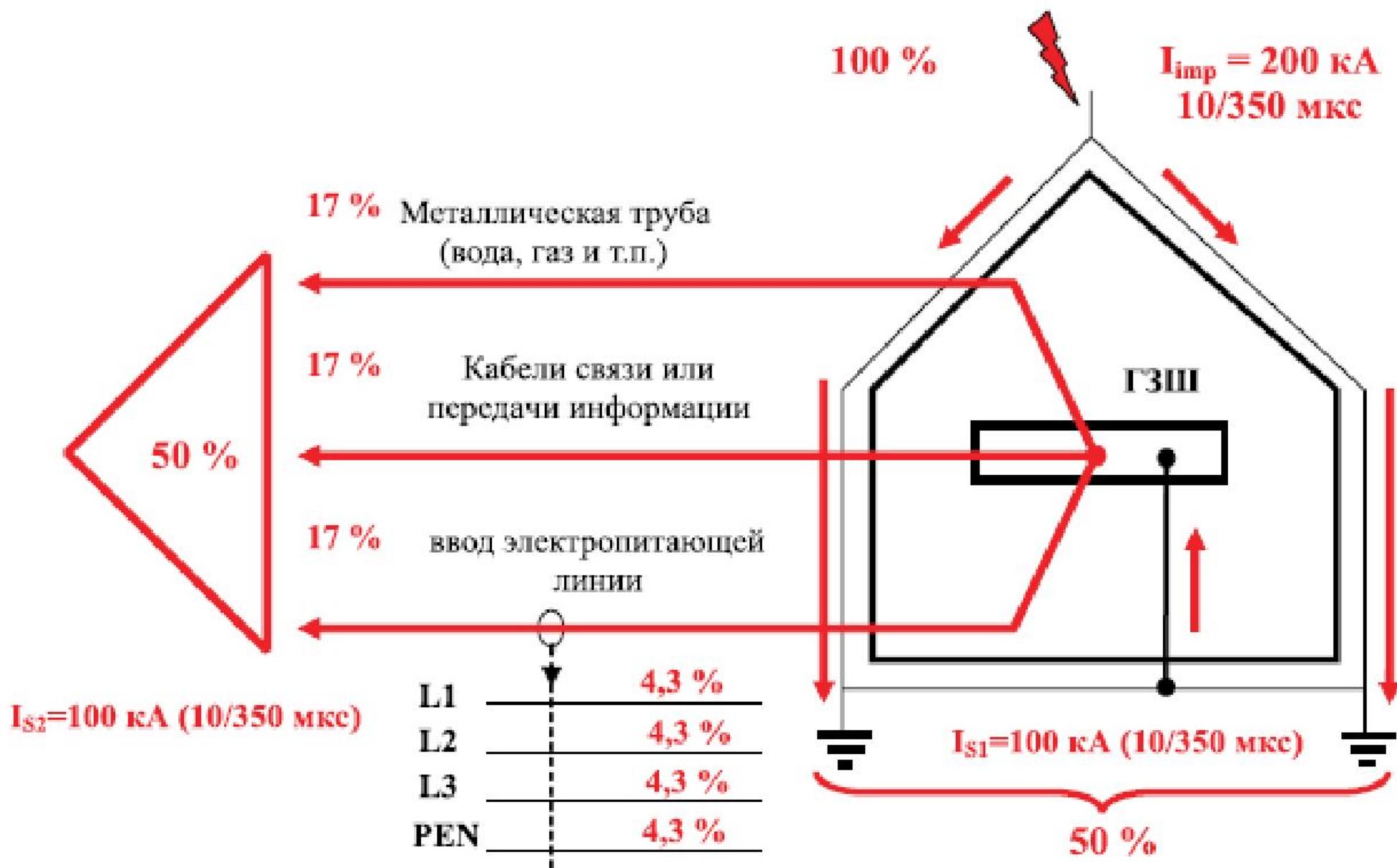
Ядро молниезащитного разрядника;
Высокая способность гашения
сопровождающих токов сети;
Относительно высокая скорость
срабатывания;



Характеристика зажигания зависит от нарастания напряжения во временном промежутке.

В большинстве случаев ядром мощного молниезащитного разрядника является искровой разрядник. В этом компоненте два искровых рога располагаются друг против друга на небольшом расстоянии. В результате перенапряжения происходит пробой между искровыми рогами и возникает электрическая дуга. Этот плазменный промежуток закорачивает перенапряжение. При этом протекают очень высокие токи с круто возрастающей характеристикой, величина которых достигает трехзначного значения в кА. Есть открытые и закрытые искровые разрядники. Величина отводимого тока и гасящая способность открытых искровых разрядников больше вследствие физических особенностей.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ МОЛНИИ ПРИ ПРЯМОМ УДАРЕ В ОБЪЕКТ

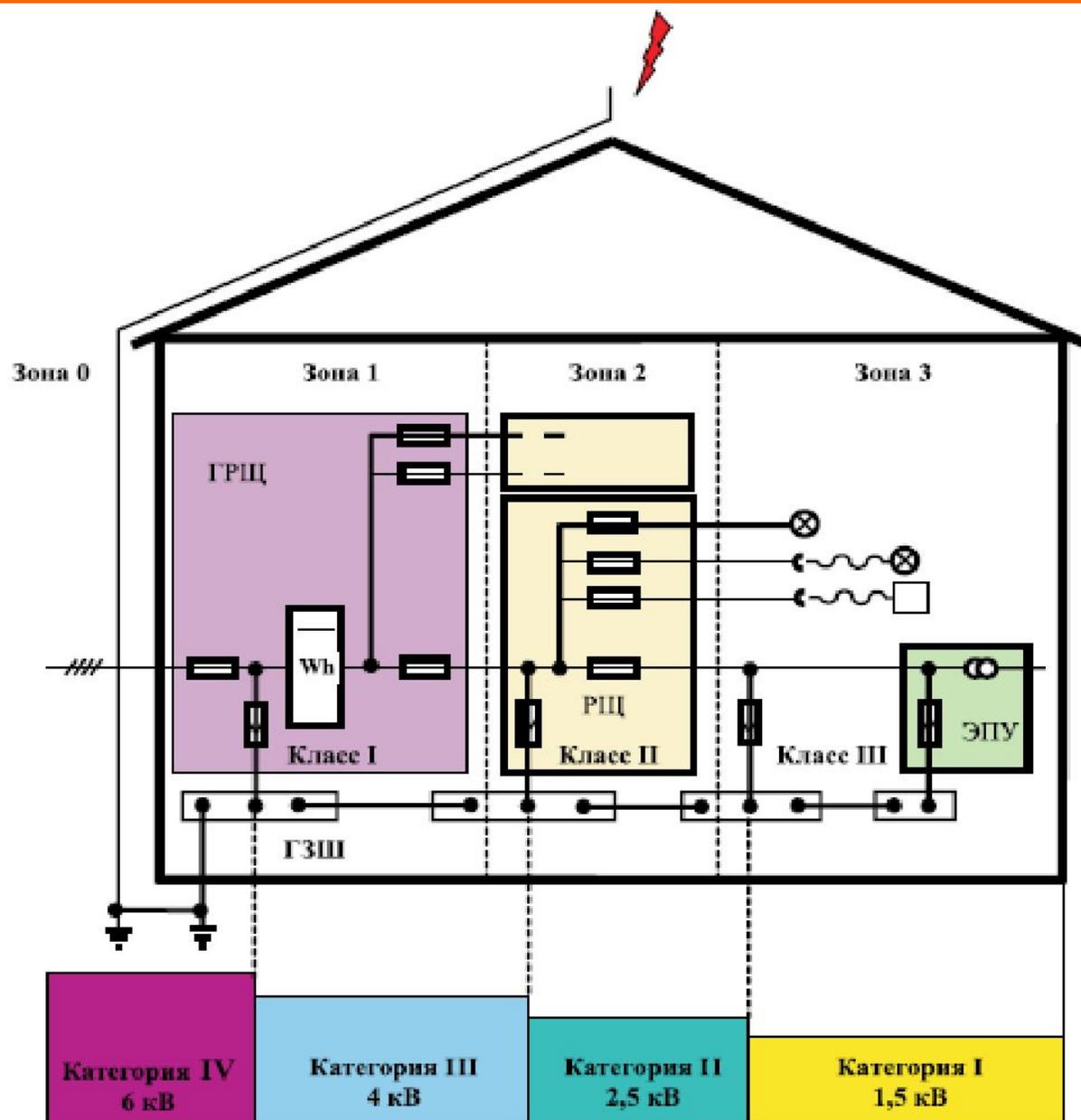


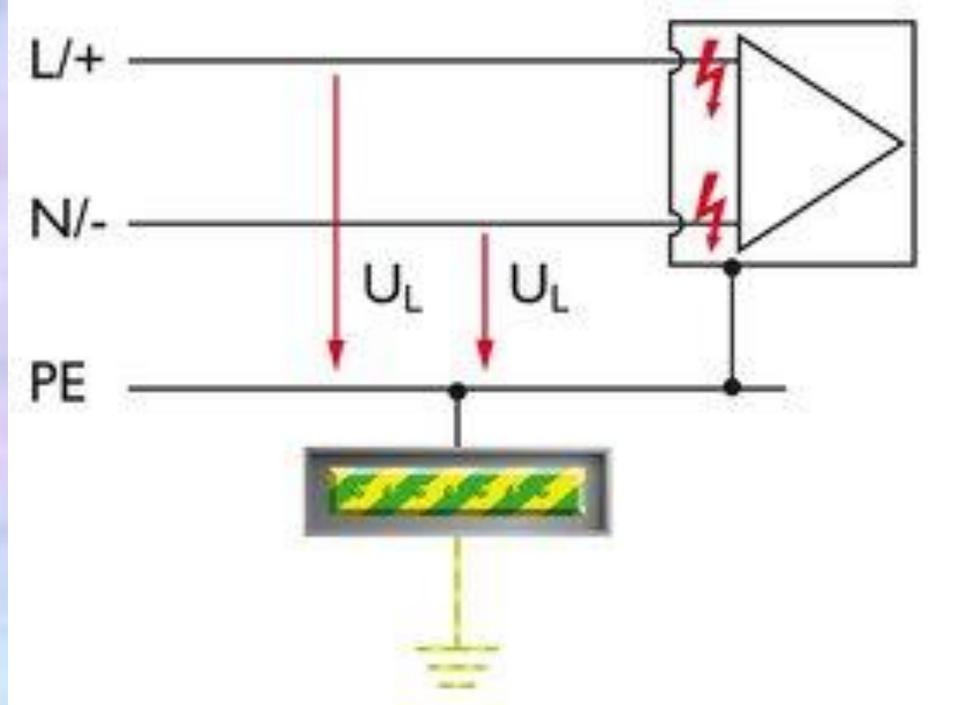
ГОСТ Р 50571.4.44-2019 вводит понятие «импульсного выдерживаемого напряжения, требуемого для оборудования», иначе говоря, стойкости изоляции к импульсным перенапряжениям. По стойкости изоляции электротехническое оборудование, предназначенное для использования в сетях 220/380 В, делится на 4 категории (IV, III, II, I). Для каждой категории определяются так называемые максимально выдерживаемые импульсные перенапряжения (защитные уровни), допускаемые для подключённого оборудования.

Например, для сети TN-C 220/380 В перенапряжение на вводе в объект не должно превышать уровень 6 kV, после главного распределительного щита - 4 kV, на выходах вспомогательных распределителей 2,5 kV и для оборудования подключаемого непосредственно к электророзеткам - 1,5 kV.

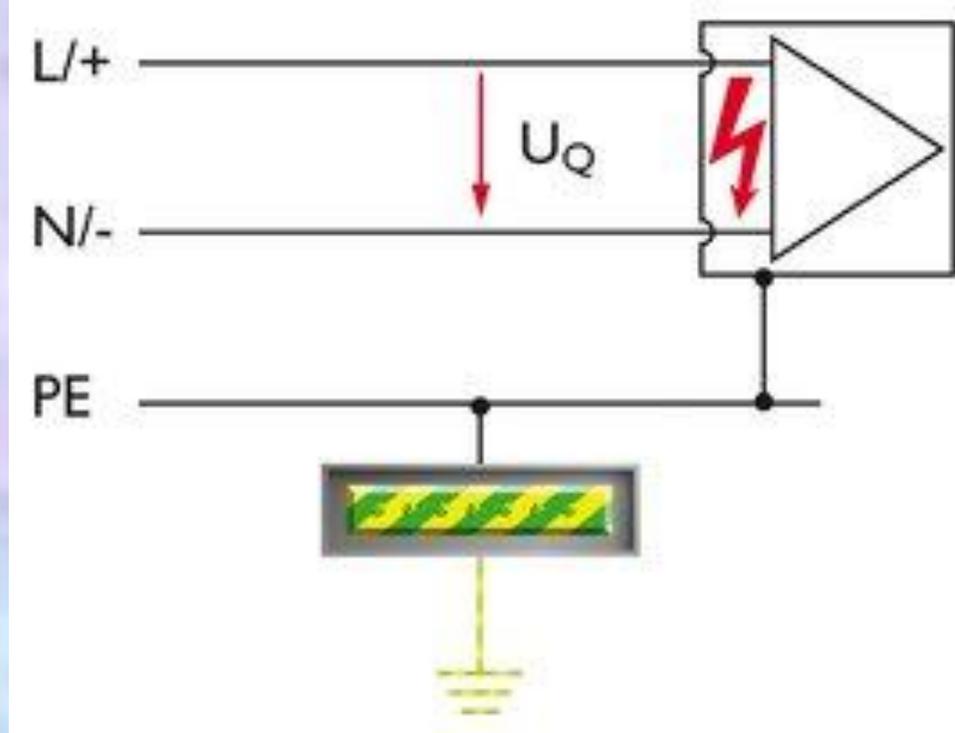
Как правило, УЗИП класса I на базе разрядника имеют $U_p = 4 \text{ kV}$, на базе варистора еще ниже, УЗИП класса II имеют $U_p = 1,3 - 2,5 \text{ kV}$, УЗИП класса III имеют $U_p = 0,8 - 1,5 \text{ kV}$.

УСТАНОВКА УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ.





Синфазное напряжение Продольные напряжения $[U_L]$ появляются вследствие перенапряжений или высокочастотных напряжений помех между активными проводами и землей. Также используются термины несимметричный или синфазный режим. Несимметричные напряжения представляют угрозу, в первую очередь, компонентам, которые находятся между активными потенциалами и заземлением, а также изоляции между активными потенциалами и землей. Они приводят к пробоям на печатных платах или находящемся под напряжением электрооборудовании заземленных частей корпуса.



Поперечное напряжение

Поперечные напряжения $[U_Q]$ появляются вследствие перенапряжений или высокочастотного напряжения помех между активными проводами цепи тока. Используются также термины симметричный и дифференциальный режим. Симметричные перенапряжения представляют угрозу для входа напряжения и сигнала устройств и интерфейсов. Они приводят к прямой перегрузке и разрушению соответствующего электрооборудования в источнике питания или в устройствах обработки сигнала.

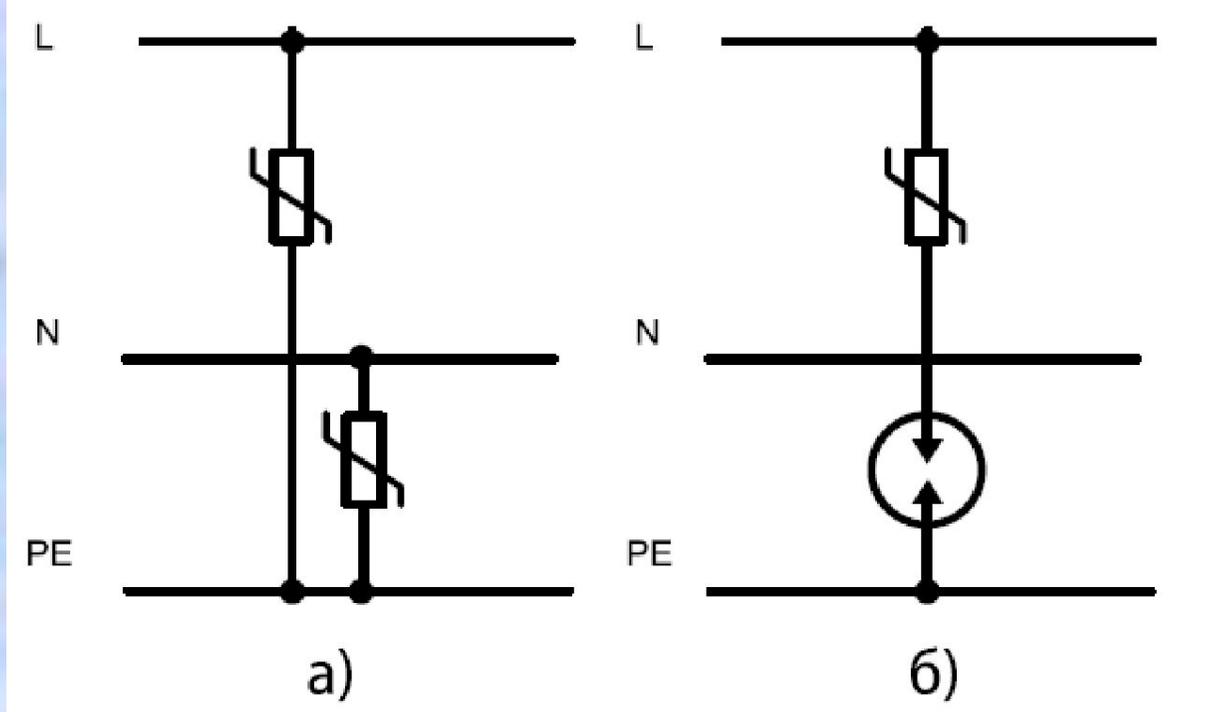
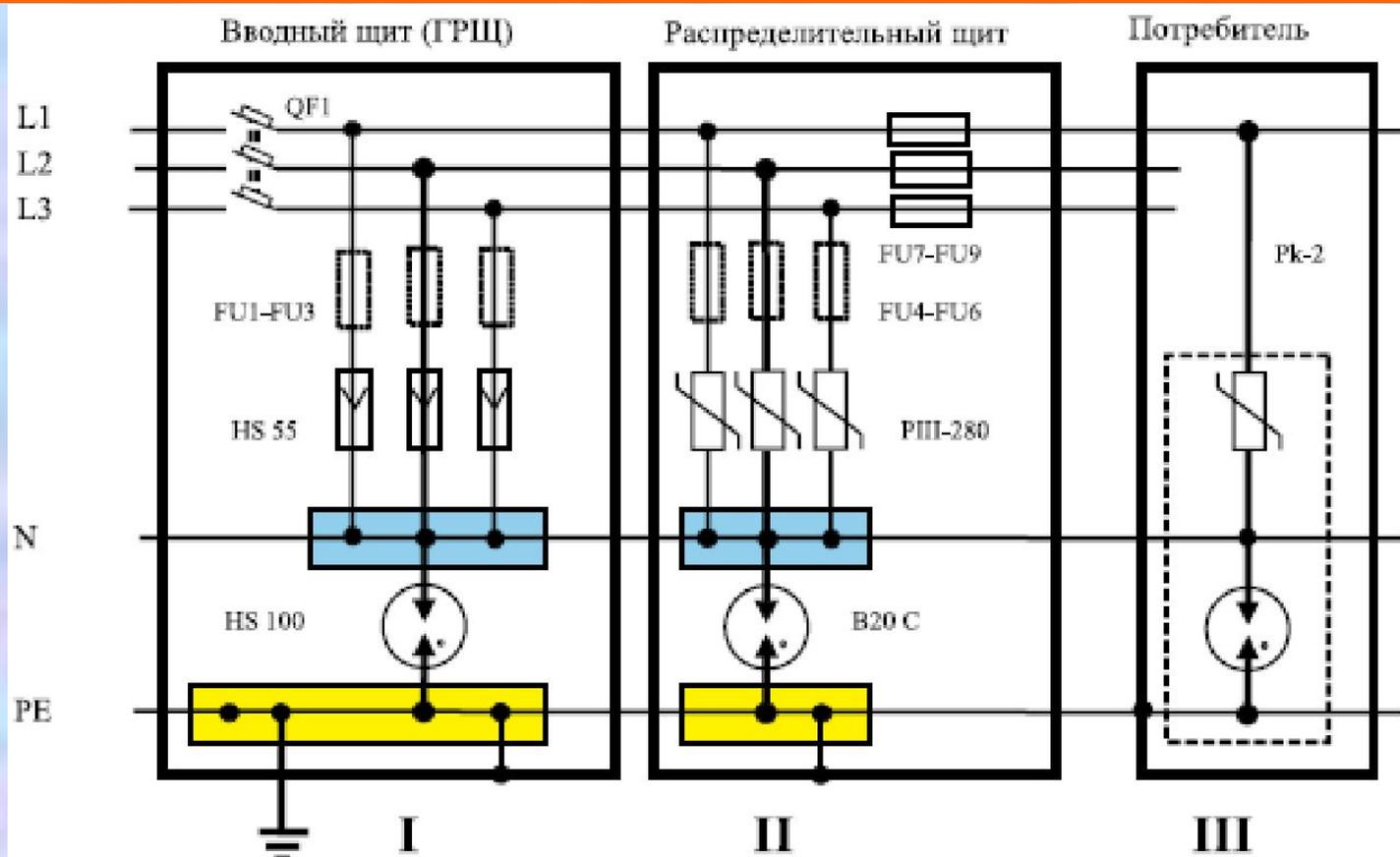


Схема (а) предназначена, в первую очередь, для защиты от синфазных (продольных) перенапряжений (провод - земля), схема (б), соответственно, от противофазных (поперечных) перенапряжений (провод - провод). Полученные в целой серии экспериментов данные, а также результаты статистических исследований, проводимых фирмами – производителями защитных устройств, показали, что более высокую опасность для защищаемого оборудования представляют собой противофазные (поперечные) перенапряжения (на клеммах электроприёмников L/N), по сравнению с продольными перенапряжениями (на клеммах электроприёмников L/PE и N/PE). При проектировании различных ступеней защиты возможно комбинирование этих схем.

Установка УЗИП в сеть с системой заземления TN-S



Одним из преимуществ данной схемы является то, что разрядники в цепи N – PE позволяют обеспечить гальваническую развязку этих проводников, а следовательно, и лучшую помехозащищенность оборудования связи или обработки информации.

Установка УЗИП в сеть с системой заземления TN-S

Известно, что нулевой рабочий проводник практически всегда находится под каким-то потенциалом (от единиц до десятков вольт), зависящим от симметричности распределения нагрузки по фазам. Также при работе импульсных нагрузок (например, импульсных выпрямителей с преобразованием частоты) в нулевом рабочем проводнике появляются высшие гармоники рабочей частоты сети 50 Гц. Все эти помехи могут приводить к ошибкам и сбоям в работе сверхчувствительных нагрузок через цепи заземления и уравнивания потенциалов, т.е. через РЕ проводники. Применение системы электропитания типа TN-S с разрядниками в цепи N – РЕ позволяет свести эти влияния к минимуму.

При установке защитных устройств, особенно если в первой ступени применяются УЗИП на базе разрядников, а во второй на базе варисторов, необходимо, чтобы расстояние между соседними ступенями защиты было не менее 10 метров по кабелю электропитания.

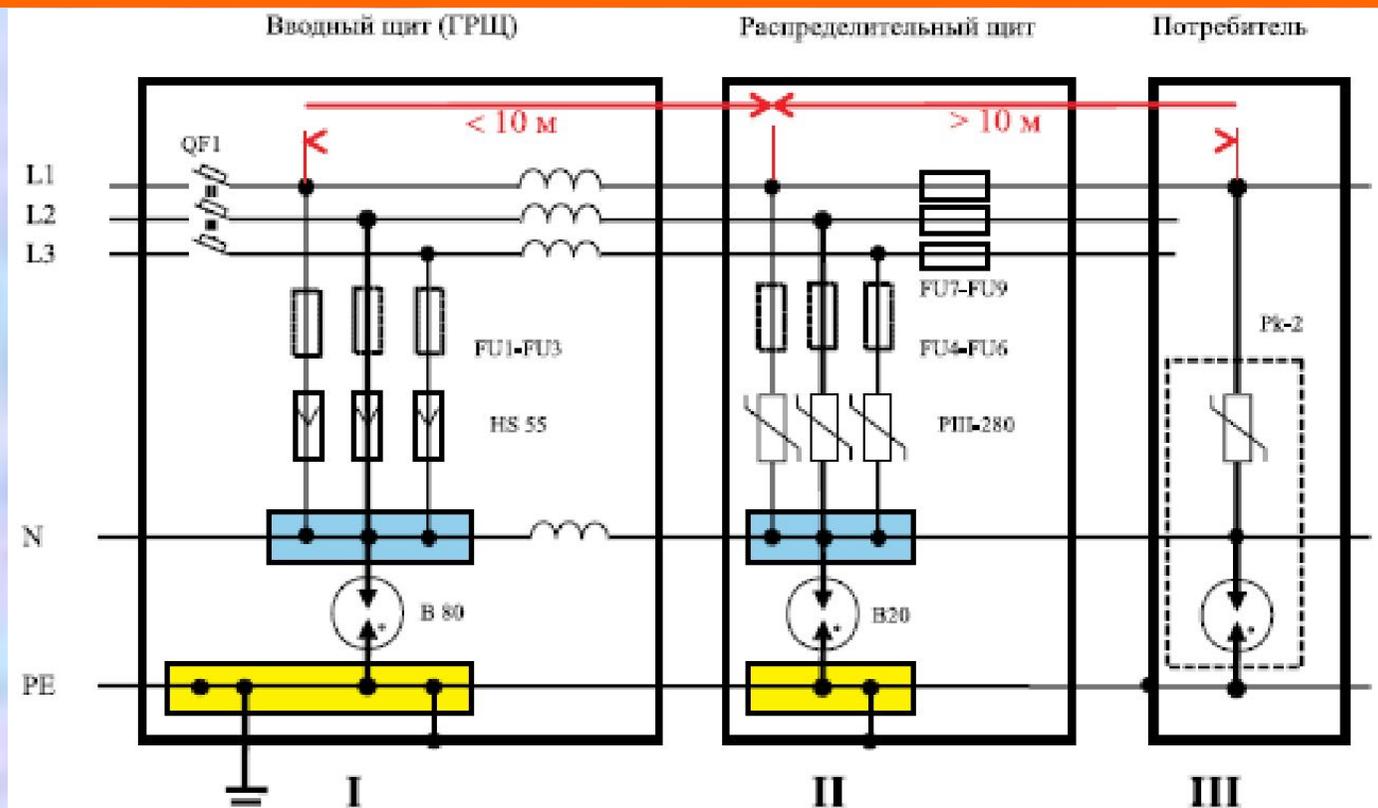
Невыполнение этого требования приведет к следующим последствиям. В момент возникновения на вводе электроустановки импульсного грозового перенапряжения с очень крутым фронтом, в первую очередь, за счет более высокого быстродействия, произойдет открывание варисторных УЗИП в цепях каждой фазы. Сформируются цепи протекания импульсных токов через варисторы, уровни перенапряжений на их клеммах резко снизятся, что приведет к шунтированию более мощных каскадов защиты на разрядниках, которым не хватит напряжения для зажигания! В случае разноса ступеней защиты на расстояние 10 м, за счет увеличения индуктивного сопротивления металлических жил кабеля при протекании по ним импульса тока, на них возникает падение напряжения, которое оказывается приложенным к первому каскаду защиты.

Таким образом, шунтирование разрядника не произойдет, так как приложенное к нему напряжение будет по амплитудному значению превосходить динамическое напряжение пробоя. Такие же требования могут предъявляться и при подключении третьей ступени защиты. В случае необходимости размещения УЗИП 1-ой и 2-ой ступени на более близком расстоянии или рядом друг с другом необходимо использовать «искусственную индуктивность 6-15 мкГн» в виде импульсного разделительного дросселя. Выбор величины индуктивности зависит от того, каким образом осуществляется ввод электропитания в объект.

При подземном вводе (когда в первом каскаде защиты установлены варисторы) величина индуктивности может быть взята меньшей (порядка 6 мкГн), при воздушном вводе (в первой ступени установлены разрядники) это значение должно быть не менее 12-15 мкГн.

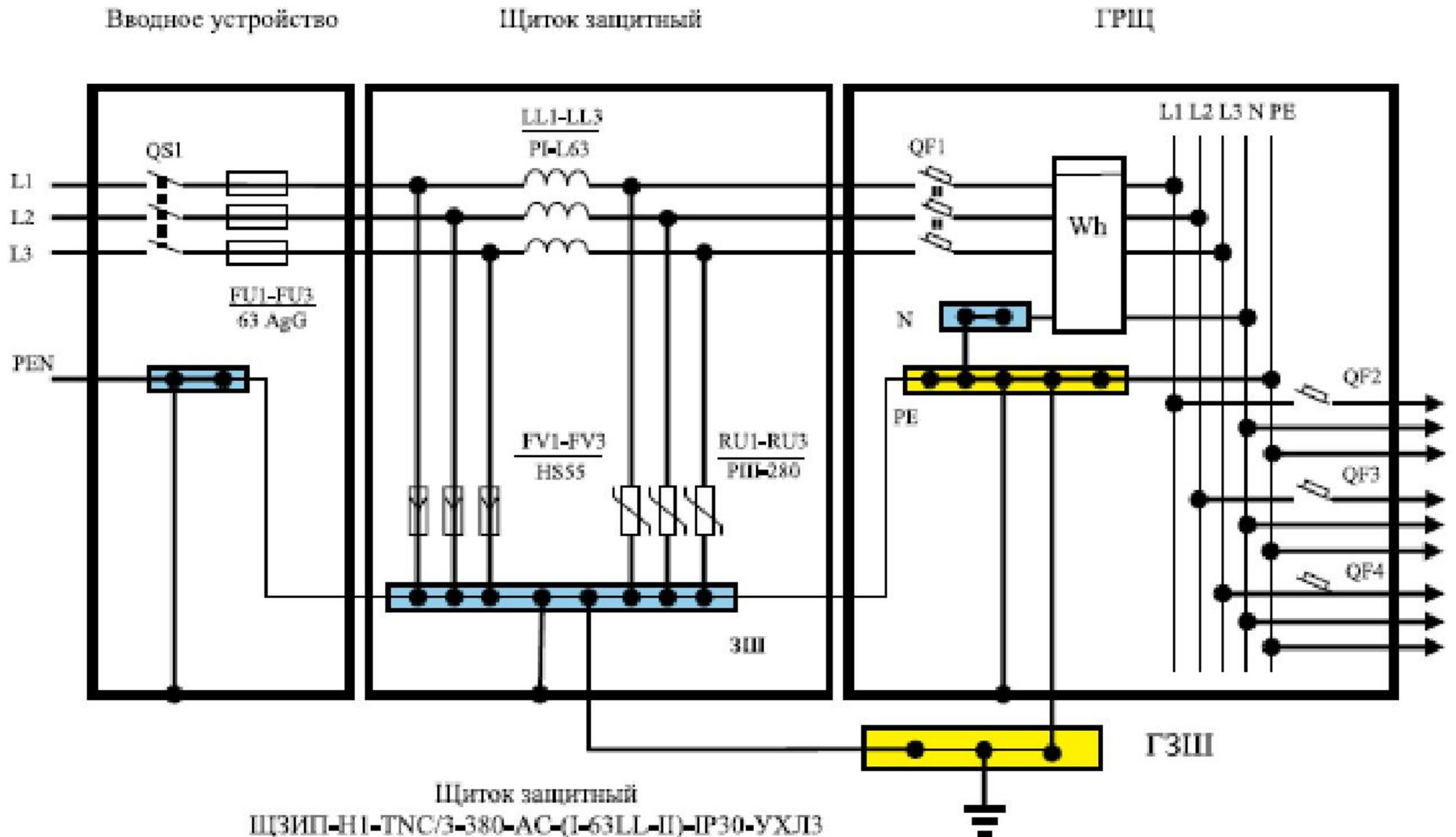
Это объясняется разным временем срабатывания разрядников и варисторов.

Установка УЗИП с использованием импульсных разделительных дросселей в сеть с системой заземления TN-S



При установке дросселей необходимо учитывать, что рабочие токи нагрузки в фазных проводниках не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в техническом паспорте на данное устройство. При необходимости и для удобства монтажа и обслуживания устройства защиты могут размещаться в отдельном щитке. Причем в одном щитке могут быть установлены ограничители перенапряжения всех трех классов.

Установка ЩЗИП в 3-фазную электрическую сеть с системой заземления TN-C-S



Основным принципом приведенных выше схем включения защитных устройств является уравнивание потенциалов между двумя проводниками, одним из которых, как правило, является фазный проводник, а другим - нулевой рабочий или нулевой защитный проводник. При этом в случае выхода из строя УЗИП возможно возникновение режима короткого замыкания между данными проводниками, что может привести к выходу из строя электроустановки и даже возникновению пожара. Имеющееся в варисторных ограничителях устройство отключения при перегреве варистора (тепловая защита), как правило, срабатывает при старении варистора, когда увеличиваются токи утечки, или при превышении фактического тока разряда через УЗИП над максимально допустимым.

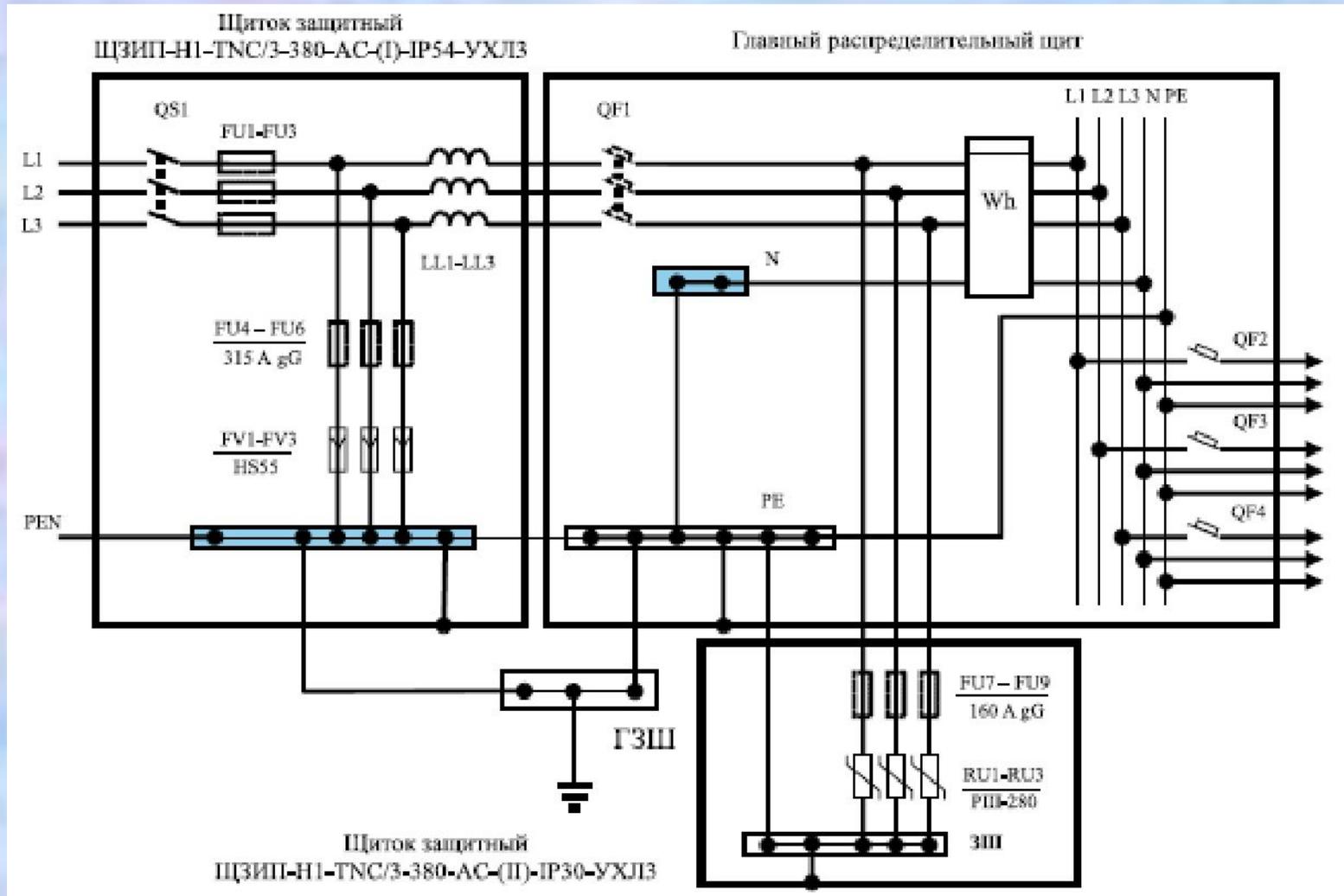
Несколько другая ситуация возникает в случае установившегося превышения действующего напряжения в сети над максимальным допустимым рабочим напряжением, определенным ТУ для данного УЗИП.

Примером такой ситуации может быть повышение напряжения по вине поставщика электроэнергии или обрыв (отгорание) нулевого проводника при вводе в электроустановку (в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью трансформатора). Как известно, в последнем случае к однофазной нагрузке может оказаться приложенным межфазное напряжение величиной до 380 В. При этом устройство защиты от импульсных перенапряжений откроется, и через него начнет протекать ток. Величина этого тока будет стремиться к величине тока короткого замыкания (рассчитывается по общеизвестным методикам для каждой точки электроустановки) и может достигать нескольких сотен ампер (и более). Практика показывает, что терморасцепитель варисторного УЗИП не успевает отреагировать в подобных ситуациях из-за тепловой инерционности конструкции. Варистор, как правило, разрушается в течение нескольких секунд, после чего режим короткого замыкания также может сохраняться через дугу (по продуктам разрушения и горения варистора). При этом возникает вероятность замыкания клемм устройства на корпус шкафа или DIN-рейку при расплавлении пластмассы корпуса и возможность повреждения изоляции проводников в цепях включения защитных устройств.

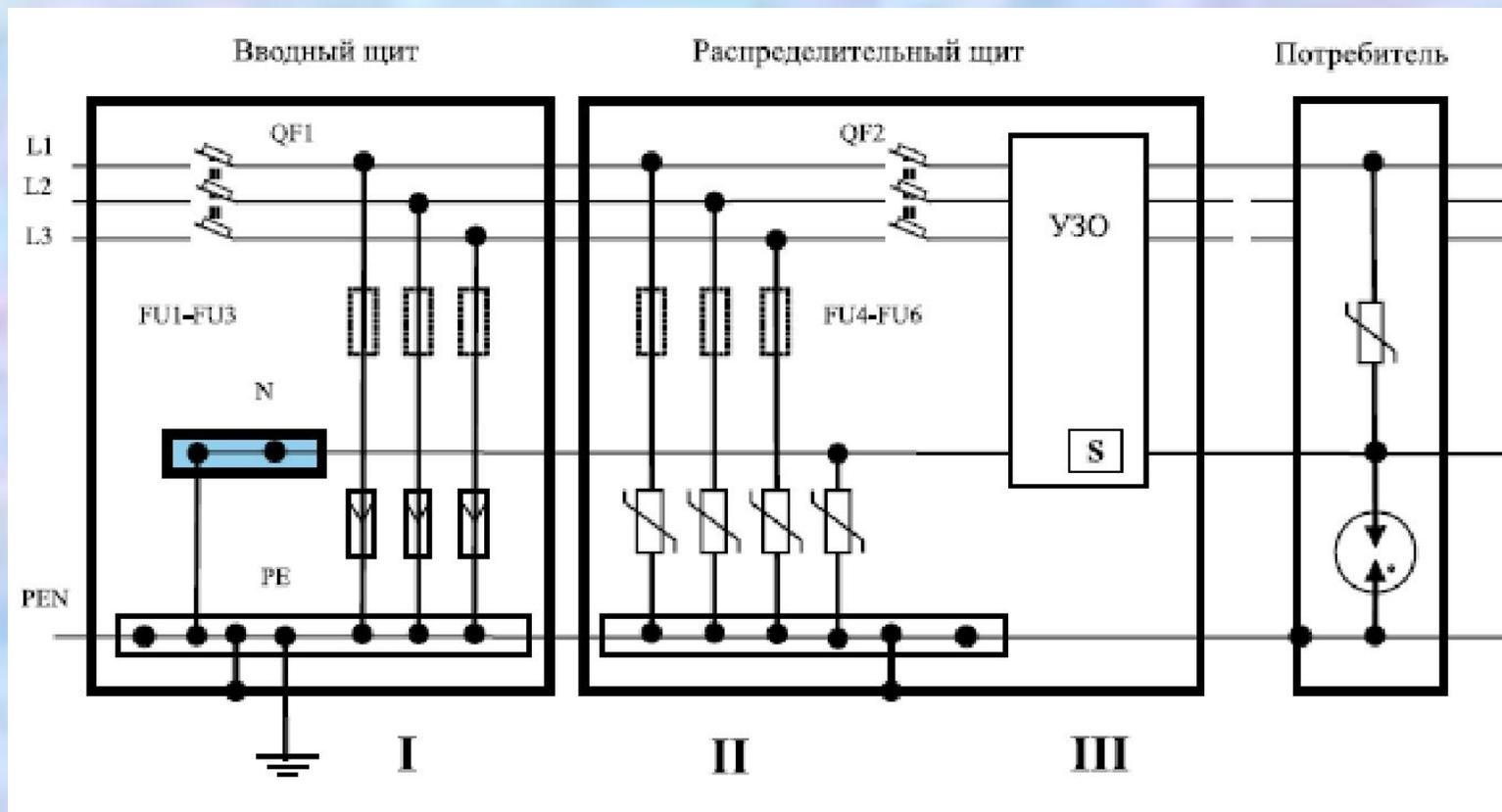
Выход из строя УЗИП на основе варистора привел к пожару в ГРЩ



Сказанное выше относится не только к варисторным устройствам, но и к УЗИП на базе разрядников, которые не имеют в своем составе терморасцепителя. Для того чтобы предотвратить подобные последствия рекомендуется устанавливать последовательно с устройствами защиты от импульсных перенапряжений предохранители.



В случае применения устройств защитного отключения (УЗО) устройства защиты от импульсных перенапряжений первого и второго класса должны быть включены до УЗО (по ходу энергии). Таким образом, их срабатывание не вызовет ложного отключения УЗО. Устройства защиты третьего класса могут быть установлены после УЗО (по ходу энергии), но при этом должны использоваться УЗО типа «S» (селективные) с временной задержкой срабатывания от импульсных помех.



При измерениях, производимых на электроустановке, когда методикой измерений предусматриваются испытания высокими напряжениями (например, проверка сопротивления изоляции проводов) необходимо отключать защитные устройства от электроустановки. Несоблюдение этого правила приведет к искажению результатов измерения или, в худшем случае, к выходу из строя устройств защиты от импульсных перенапряжений.