

# **Новый стандарт по молниезащите для железных дорог: ГОСТ Р 58232 «Объекты железнодорожной инфраструктуры. Комплексная защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Общие требования»**

Кузнецов М.Б., к.ф.-м.н., системный инженер по защите от перенапряжений ООО «1520 Сигнал»

Щербина Евгений Геннадьевич, к.т.н., доцент, технический директор «ООО 1520 Сигнал»

Плавник Яков Юрьевич, руководитель отдела «Грозозащита» ООО «ЭкспертСтройПроект»

## **Введение**

В настоящем докладе представлены основные положения ГОСТ Р 58232-2018 «Объекты железнодорожной инфраструктуры. Комплексная защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Общие требования» в части, относящейся к молниезащите.

В ОАО «РЖД» в 2015 году был впервые выпущен отраслевой стандарт по молниезащите, распространяющийся непосредственно на объекты железнодорожной инфраструктуры СТО РЖД 08.026-2015 [1]. В настоящее время вышел ГОСТ Р 58232 «Объекты железнодорожной инфраструктуры. Комплексная защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Общие требования». ГОСТ Р 58232 отличается от СТО РЖД следующим:

- Расширением области применения стандарта, в том числе на высокоскоростные железнодорожные линии;
- Введением критерия необходимости создания внешней системы молниезащиты;
- Введением понятия общей надежности молниезащиты – как совокупной надежности защиты от прямого удар молнии и от вторичных проявлений молниевых разрядов;
- Определением принципов расчёта площадей сбора разрядов для объектов железнодорожной инфраструктуры;

Кроме того, ГОСТ Р 58232 содержит разделы по защите от импульсных магнитных полей (индуцированных током молнии), по требованиям к УЗИП и правилам их выбора, по использованию экранированных кабелей и элементов кабельной канализации как части внутренней системы молниезащиты.

## Основные параметры комплексной системы молниезащиты

ГОСТ Р 58232 посвящен вопросам создания комплексной системы молниезащиты. Для построения такой системы необходимо определить требуемую надежность и параметры, на которую эта система должна быть рассчитана. Надежность защиты от прямого удара молнии определяется вероятностью прорывов молнии за конечный отрезок времени, надежность защиты от вторичных проявлений молниевых разрядов определяется вероятностью ударов за конечный отрезок времени молнии с током, который превышает безопасный уровень для защищаемого оборудования.

В основу методики определения параметров систем внутренней и внешней молниезащиты положено, как и в [1], [2] и [3], понимание вероятностного характера молнии и необходимость создания системы молниезащиты, способной обеспечить защиту объекта от ударов молнии с определенными токами. Значения токов молнии, на которые рассчитана внешняя и внутренняя системы молниезащиты определяются исходя из параметров защищаемого объекта.

Аналогично методике, приведенной в [1], построение систем молниезащиты начинается с определения допустимой частоты нежелательного события или минимального времени ( $T$ ) между нежелательными событиями, наступающими при молниевом разряде. К нежелательным событиям относятся прорывы молнии через систему внешней молниезащиты и разряды молнии в систему внешней молниезащиты с токами, превышающими те, на которые рассчитана внутренняя система молниезащиты ( $I_{max}$ ), позволяющая минимизировать воздействие вторичных проявлений молнии на защищаемое оборудование. Прорыв через зону внешней молниезащиты возможен только для молний, имеющих ток меньше определенного ( $I_{min}$ ), на который рассчитана система.

Определение количества ударов молнии в объект по ГОСТ Р 58232 полностью аналогично методике СТО РЖД 08.026-2015.

Для определения количества ударов в объект используется стандартная формула, приведенная в [2]:

$$N_D = N_g \cdot S_{сб} \cdot C_D \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где параметры приведены согласно [1], [3] и [4].

Площадь сбора молниевых разрядов  $S_{сб}$  для изолированных зданий/сооружений определяют по формулам, приведенным в [2].

В ГОСТ Р 58232 общую надежность системы молниезащиты (внешней и внутренней)  $P_{\Sigma}$  определяют (см. Рисунок 1) по формуле

$$P_{\Sigma} = 1 - p_{min} - p_{max} = 1 - \frac{1}{N_{D1} T_{вн} + 1} - \frac{1}{N_{D2} T_{пр} + 1}. \quad (2)$$

где  $p_{min}$  – вероятность того, что ток молнии не превысит  $I_{min}$ ;

$p_{max}$  – вероятность того, что ток молнии превысит  $I_{max}$ ;

$N_{D1}, N_{D2}$  – количество ударов молнии в год (1/год);

$T_{пр}$  – время, между двумя прорывами молнии через систему молниезащиты, лет;

$T_{вн}$  – время между двумя ударами молнии с током, превышающим защитные способности системы внутренней молниезащиты, лет.

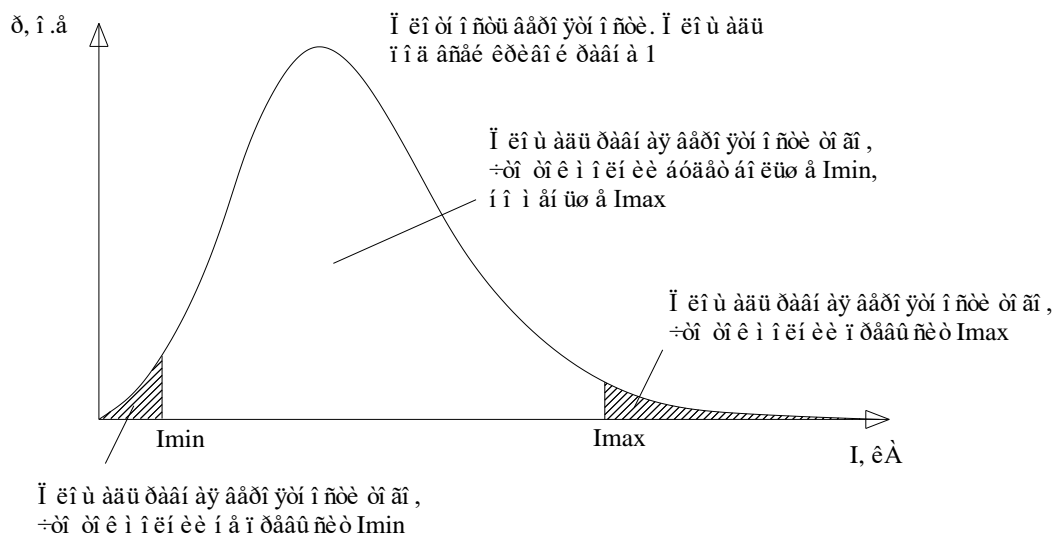


Рисунок 1. Плотность вероятности тока молнии. Заштрихована область, соответствующая вероятности нежелательных событий.

Определение  $p_{min}$  и  $p_{max}$  проводят, как и определение вероятности удара молнии с током, превышающим заданный по методике [1] и [3]. Используют выражение для плотности вероятности:

$$p(I) = \frac{lg(e)}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma \cdot I} \cdot \exp\left(\frac{-(lg(I) - lg(\mu))^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (3)$$

где  $I$  – ток молнии, кА

остальные параметры приведены в [1], [3] и [4].

Вероятность того, что ток не превысит заданного наперед значения  $I_0$ , определяют следующим выражением:

$$P(I) = \int_0^{I_0} (q \cdot p^-(I) + (1 - q) \cdot p^+(I)) dI, \quad (4)$$

где  $p^-(I)$  – плотность вероятности тока молнии отрицательной полярности;

$p^+(I)$  – плотность вероятности тока молнии положительной полярности;

$q$  – доля молний отрицательной полярности в общем количестве разрядов.

В [4] подробно обсуждалось, почему в  $T_{пр}$  и  $T_{вн}$  могут в некоторых случаях отличаться. Здесь же следует особо отметить, что в формуле (2) количество ударов молнии  $N_{D1}$ ,  $N_{D2}$  также могут значительно отличаться друг от друга. Это вызвано различными способами определения площади сбора разрядом для расчёта надёжности внешней и внутренней молниезащиты.

Так, согласно ГОСТ Р 58232 при определении надёжности **внешней системы молниезащиты** определяют общую площадь сбора разрядов ( $S_{сб}$ ) для всех элементов рассматриваемого объекта, за исключением элементов, находящихся вне пределов станции (за входными светофорами) или за пределами тяговой подстанции, а также за исключением воздушных линий. При этом трассы прокладки кабелей в площади сбора не учитывают. Кроме того, при определении площади сбора молниевых разрядов ( $S_{сб}$ ) для участков с электрической тягой учитывают все элементы рассматриваемого объекта, кроме напольного оборудования, находящегося в зоне А контактной сети (см. Рисунок 2), а также кроме элементов контактной сети, включая опоры и порталы, на которых нет электроустановок напряжением ниже 1 кВ. Такое ограничение обусловлено тем, что большинство защищаемого напольного оборудования железнодорожной инфраструктуры имеет высоту менее 2 метров, и оборудование, находящиеся в зоне А (см. Рисунок 3) защищено от прямого удара молнии с надёжностью не хуже чем 0,9 по [1] (требовать большую надёжность для защиты напольного оборудования нет необходимости). При этом прорыв молнии при надёжности 0,9 (0,99) возможен только для молний, ток которых менее 10 кА (менее 3 кА), и который сравним с током (меньше тока), попадающим на напольные устройства при ударе молнии с током 100 кА в защищающую это устройство конструкцию (например, опору контактной сети).

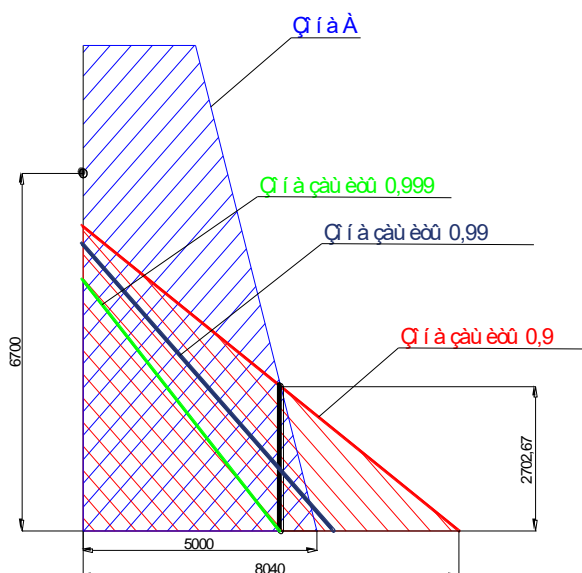


Рисунок 2. Зона А контактной сети и зоны защиты с надежностью 0,9, 0,99 и 0,999 по [1].

Для участков с автономной тягой, при определении площади сбора молниевых разрядов, учитывают также и напольное оборудование в пределах станции. Для подстанций учитывают всю территорию подстанции, не включая заходящие на подстанцию воздушные или кабельные линии.

При определении площади сбора молниевых разрядов для напольного оборудования на участках с электрической тягой учитывают только те естественные молниеотводы или их фрагменты, которые непосредственно обеспечивают защиту напольного оборудования от прямого удара молнии (см. Рисунок 3).

Для напольного оборудования, расположенного на перегонах, необходимую надежность защиты от прямого удара молнии принимают равной 0,9. Защиту от прямого удара молнии воздушных линий до 1 кВ не осуществляют. Защиту мачтовых светофоров от прямого удара молнии не осуществляют.

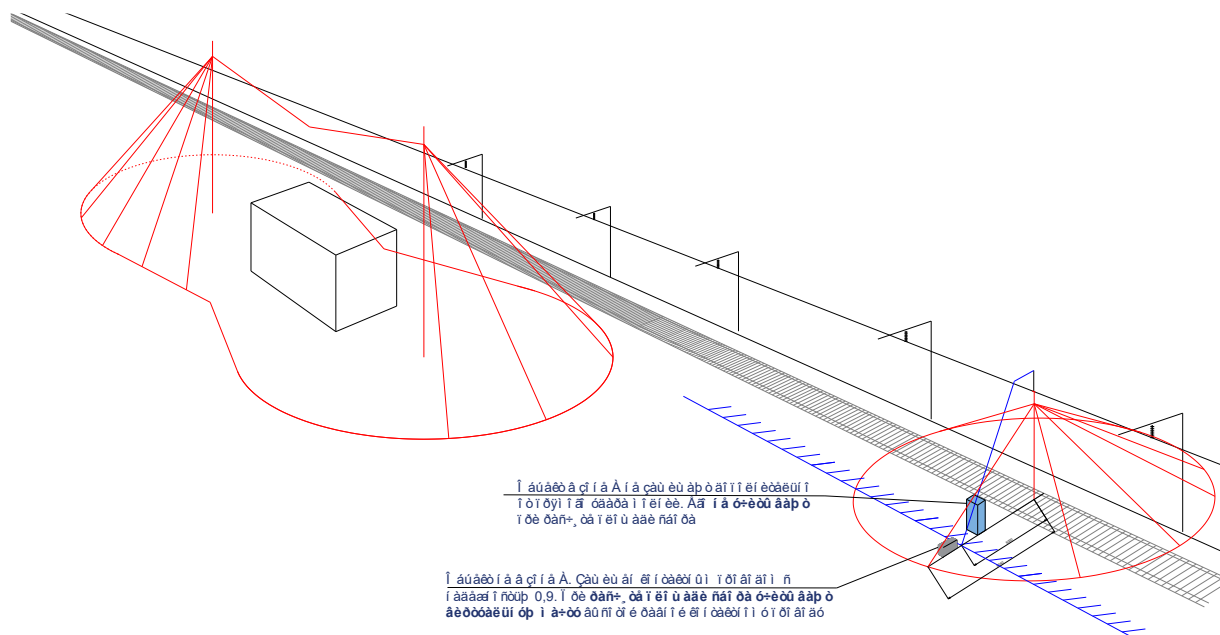


Рисунок 3. Правило определения площади сбора для расчёта надёжности внешней молниезащиты

При определении **надёжности внутренней системы молниезащиты** площадь сбора разрядов ( $S_{сб}$ ) определяют суммарно для **всех элементов рассматриваемого объекта**, за исключением элементов, находящихся вне пределов станции (см. Рисунок 4). Например, для железнодорожной станции определяют площадь сбора разрядов ( $S_{сб}$ ) для всех задний, строений и устройств, соединенных проводными кабелями, включая все элементы контактной сети (опоры, порталы, тросы, провода контактной сети и т.п.), находящиеся в пределах станции. Удар молнии в любой из этих элементов приведет к перераспределению тока молнии по всем проводящим элементам, включая рельсы, напольное оборудование и т.п.

Для напольного оборудования, расположенного вне пределов станции, максимальный ток молнии  $I_{max}$  принимают равным 100 кА.

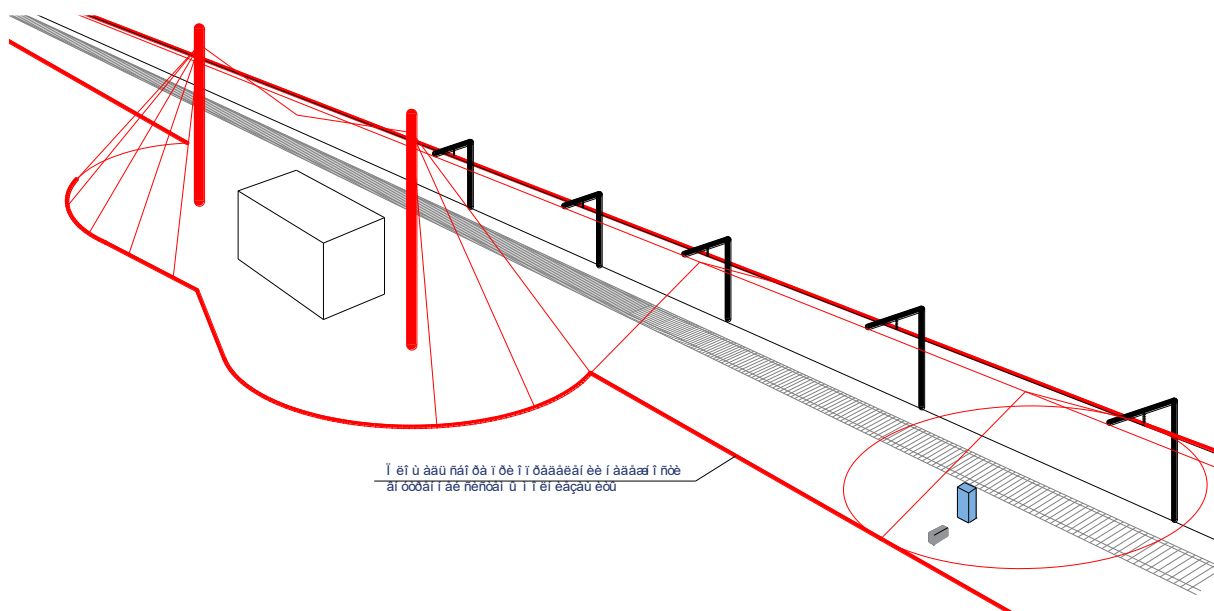


Рисунок 4. Правило определения площади сбора для расчёта надёжности внутренней молниезащиты

Такой метод определения площади сбора разрядов приводит к тому, что для средней станции с количеством стрелок около 10-20 различие в площадях сбора, определенных для внутренней и внешней молниезащиты будет отличаться в два-четыре раза. Это различие в случае одинакового времени между нежелательными событиями будет давать различие в два-четыре раза между вероятностью прорыва молнии через систему молниезащиты и вероятностью тока молнии превысить выбранное значение. Вероятность прорыва молнии будет меньше, чем вероятность молнии иметь ток, превышающий максимальный. Однако сравнимое различие также было заложено в параметрах III и IV уровней молниезащиты согласно ГОСТ Р МЭК 62305-2010.

Приведенная в ГОСТ Р 58232 методика, обладая достоинствами методики, приведенной в СТО РЖД 08.026, дополняет и расширяет её. Задав время между двумя нежелательными событиями можно определить все необходимые параметры систем внутренней и внешней молниезащиты, которые позволят спроектировать указанные системы с достаточной степенью надёжности, но без ненужного перезаклада, не ограничиваясь дискретным набором токов молнии.

### **Выбор параметров УЗИП**

В ГОСТ Р 58232 приведена краткая методика выбора УЗИП для защиты оборудования железнодорожной инфраструктуры, в отличие от многих современных «методических указаний», в которых даны конкретные марки УЗИП.

Для выбора параметров УЗИП необходимо иметь следующую информацию:

- параметры импульсных токов ( $I_{\text{imp}}$ ) или максимальных разрядных токов ( $I_{\text{max-p}}$ ), которые могут протекать через УЗИП, их амплитуда, временные характеристики, а также то, насколько часто ожидаются токи с теми или иными амплитудами;
- схема защиты (установки) УЗИП (например, «провод-провод» или «провод-земля» для информационных цепей);
- помехоустойчивость защищаемой аппаратуры, а именно, максимальный уровень микросекундных импульсных помех, который способна выдержать защищаемая аппаратура;
- номинальное напряжение и максимальное длительное рабочее напряжение ( $U_c$ ) в защищаемой цепи;
- максимальное значение временного перенапряжения (ВПН), которое может воздействовать на УЗИП;
- максимальный ток или ток короткого замыкания, который может протекать через УЗИП при его срабатывании;
- наличие/отсутствие в защищаемой цепи схемы контроля изоляции;
- максимальный уровень наведенного (работой тяговой сети переменного тока) напряжения в защищаемой цепи.

При выборе УЗИП необходимо выполнение следующих основных требований:

- УЗИП должно само, или во взаимодействии с другими УЗИП, снижать уровень импульсных перенапряжений до уровня, безопасного для защищаемых устройств (т.е. до уровня, не превышающего уровень помехоустойчивости защищаемых устройств), или до уровня, соответствующего молниезащитной зоне (LPZ), на границе которой устройство установлено, если между данным устройством защиты и защищаемым устройством располагаются другие УЗИП;
- УЗИП должно быть скоординировано с другими УЗИП во избежание неправильной работы системы защиты или неэффективного использования устройств защиты различных LPZ;
- УЗИП не должно оказывать негативного влияния на работу защищаемого оборудования, как в нормальном режиме работы, так и в случаях отказа защитного устройства;
- параметры УЗИП должны быть выбраны таким образом, чтобы исключить возможность выхода из строя УЗИП в режиме нормальной работы и, при



возможности, в аварийном режиме (например, при КЗ как в защищаемой цепи, так и в других сетях, в том числе в тяговой сети);

- УЗИП должны быть установлены таким образом, чтобы импульсные помехи, возникающие в защищаемых цепях на участке между УЗИП и защищаемым оборудованием, наложенные на уровень помех, ограниченный УЗИП, не превышали уровня помехоустойчивости защищаемого оборудования.

Для исключения случаев установки УЗИП на базе разрядника в цепи постоянного тока и других аналогичных ошибок проектирования в ГОСТ Р 58232 приведены указания выбирать тип УЗИП на основании данных о токе, протекающем в защищаемой цепи в нормальном режиме работы, наличии устройств контроля изоляции в защищаемой цепи, а также соотношения между максимальным сопровождающим током в защищаемой цепи и максимальным уровнем гашения сопровождающего тока на основании данных, приведенных в таблице 1. Для цепей, значение напряжения в которых не переходит через ноль (например, цепи постоянного тока), не могут использоваться УЗИП коммутирующего типа в случае, если максимальный сопровождающий ток ( $I_f$ ) в цепи превышает максимальный уровень гашения сопровождающего постоянного тока ( $I_{\text{гаш\_разр}}$ ). При наличии контроля изоляции не могут применяться УЗИП только ограничивающего типа.

Т а б л и ц а 1 - Выбор типа УЗИП в зависимости от параметров цепи

Тип УЗИП	Параметры защищаемых цепей		
	Цепи переменного тока, в том числе передающие любой сигнал без наличия постоянной составляющей	Цепи постоянного тока, Наличие контроля изоляции	Цепи постоянного тока, Отсутствует контроль изоляции
Коммутирующий	+	+ только если $I_f < I_{\text{гаш\_разр}}$	+ только если $I_f < I_{\text{гаш\_разр}}$
Ограничивающий	+		+
Комбинированный, содержащий УЗИП коммутирующего и ограничивающего типов, включенные последовательно	+	+	+
<b>П р и м е ч а н и я</b> 1 Знак «+» показывает допустимость использования УЗИП соответствующего типа для указанных условий; 2 $I_{\text{гаш\_разр}}$ – максимальный уровень гашения постоянного тока УЗИП коммутирующего типа (разрядника); 3 $I_f$ – максимальный сопровождающий ток.			

В ГОСТ Р 58232 приведен краткий алгоритм, позволяющий на основании данных о максимальном токе молнии, определенном из заданной надежности защиты, и других параметров объекта, выбрать параметры УЗИП.

## Кабели и кабельная канализация

В ГОСТ Р 58232 приведены общие требования к кабелям и кабельной канализации, как к средствам снижения импульсных помех (возникающих при ударах молнии) в случае заземления экранов/брони/оболочек кабелей и металлических конструкций кабельной канализации с двух сторон. Использование указанных проводящих элементов позволяет в несколько раз снизить импульсную разность потенциалов (возникающую при ударах молнии), приложенную к изоляции кабелей и входам аппаратуры [5], [6], [7], [8] и [9].

Стандарт содержит общие требования по использованию, прокладке, заземлению и взаимному расположению шин уравнивания потенциалов (ШУП, прокладываемых вдоль трасс кабелей), для достижения максимального эффекта ослабления импульсных помех, вызванных ударом молнии. ШУП должны обеспечивать отсутствие нагрева проводящих элементов кабелей (экранов, брони, оболочек) при протекании по ним части тяговых токов или токов КЗ, выше допустимых значений температур. ШУП следует располагать симметрично, относительно трассы прокладки кабеля, например, по противоположным сторонам кабельного канала (при использовании двух ШУП) или по его углам (при использовании четырех ШУП). Необходимо, чтобы при использовании четырех и более ШУП, в сечении кабельной конструкции кабели не выходили за четырехугольник, образуемый ШУП. При использовании двух ШУП необходимо, чтобы кабели лежали посередине между ШУП, как можно ближе к линии, соединяющей ШУП. Примеры прокладки и взаимного расположения ШУП приведены на рисунке 5.

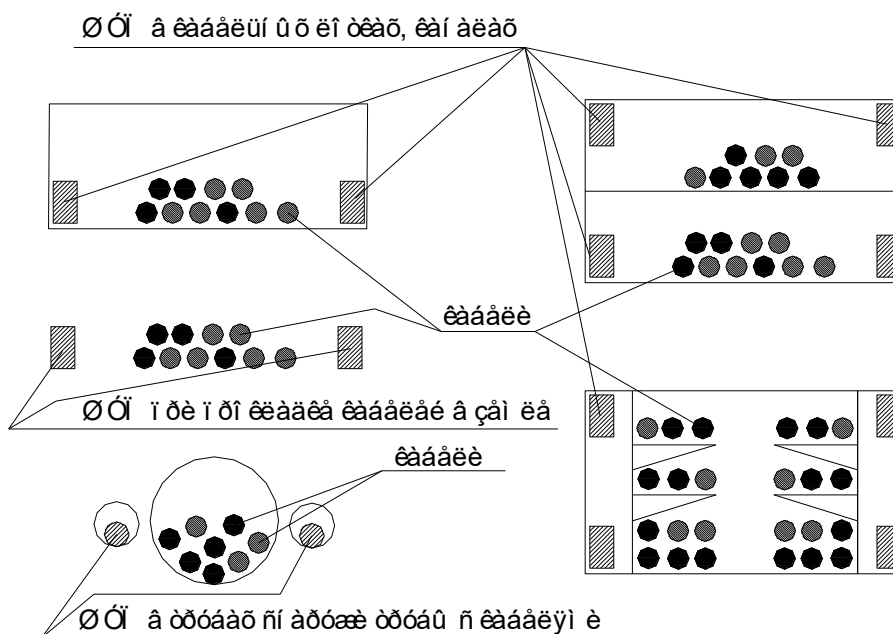


Рисунок 5 – Пример размещения ШУП внутри и возле кабельных конструкций и мест прокладки кабелей

В ГОСТ Р 58232 приведены минимальные коэффициенты ослабления импульсных помех заземленными с двух сторон экранирующими кабельными конструкциями (таблица 2) которые при проектировании, строительстве или реконструкции могут быть либо приняты на основе этих данных, либо рассчитаны, либо измерены напрямую. Приведенные в таблице 2 значения даны для стальных ШУП сечением не менее 120 мм<sup>2</sup> при условии, что заземляющие устройства, между которыми проходят кабели, соединены между собой заземлителями. При применении нескольких экранирующих конструкций, коэффициенты ослабления помех перемножаются.

Т а б л и ц а 2 – Минимальные коэффициенты ослабления импульсных помех заземленными с двух сторон кабельными конструкциями.

Тип экранирующих кабельных конструкций	Цепи, гальванически не связанные с заземляющим устройством	Цепи, гальванически связанные с заземляющим устройством
Стальная труба	20	8
Две ШУП на расстоянии не более 0,5 м друг от друга	6	2,5
Четыре ШУП по сторонам лотка размером не более 0,5×0,5 м	10	4
Шесть ШУП по сторонам лотка размером не более 0,7×0,7 м	20	8
Металлический закрытый кабельный короб	5	2
Металлический открытый кабельный короб, стальной уголок (при прокладке кабеля непосредственно в углу стального уголка)	3,5	1,5

## Заключение

Разработанный и выпущенный ГОСТ Р 58232-2018 дополняет методику выбора параметров систем внешней и внутренней молниезащиты, принятую в СТО РЖД 08.026-2015. В ГОСТ Р 58232 добавлены некоторые разделы, касающиеся внутренней системы молниезащиты (экранирование, использование УЗИП, использование проводящих кабельных конструкций и проводящих оболочек кабелей).

## Литература

- [1] СТО РЖД 08.026-2015 «Защита от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Устройства молниезащиты и заземления технических средств. Технические требования»
- [2] ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска.

- [3] ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы
- [4] Отраслевой стандарт ОАО «РЖД» 08.026-2015 Устройства молниезащиты и заземления технических средств. Кузнецов М.Б., Плавник Я.Ю. 5-я Российская конференция по молниезащите, Сборник докладов. 2016.
- [5] СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на электросетевых объектах ЕНЭС.
- [6] Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока. Москва, «Транспорт», 1989.
- [7] Экранирующие кабельные конструкции. Средство экономичного решения проблем ЭМС. М. Матвеев, М. Кузнецов, В. Березовский, И. Косарев. Новости Электротехники, 1(79), 2013.
- [8] Входные цепи устройств РЗА: проблемы защиты от мощных импульсных перенапряжений. Кузнецов М.Б., Кунгуров Д.А., Матвеев М.В., Тарасов В.Н. Новости Электротехники, 6(42), 2006.
- [9] Имитационное моделирование растекания тока молнии в ЗУ ПС и ЭС. Матвеев М.В., Кузнецов М.Б. Энергоэксперт №4(15) 2009.