

### 3.2. Защитные проводники уравнивания потенциалов

3.2.1. Если здание имеет несколько обособленных вводов, то главная заземляющая шина (ГЗШ) должна быть выполнена для каждого вводного устройства (ВУ) или вводно-распределительного устройства (ВРУ)

В качестве ГЗШ может быть использована РЕ-шина ВУ, ВРУ или РУНН, при этом все главные заземляющие шины и РЕ-шины НКУ должны соединяться между собой проводниками системы уравнивания потенциалов (магистралью) сечением (с эквивалентной проводимостью), равным сечению меньшей из попарно сопрягаемых шин.

3.2.2. Сечение РЕ-шины в вводных устройствах (ВУ, ВРУ) электроустановок зданий и соответственно ГЗШ принимается по ГОСТ Р 51321.1-2000. табл. 4.

Если ГЗШ установлены отдельно и к ним не подключаются нулевые защитные проводники установки, в том числе PEN (РЕ)- проводники питающей линии, то сечение (эквивалентная проводимость) каждой из отдельно установленных ГЗШ принимается равным половине сечения РЕ-шины наибольшей из всех РЕ-шин, но не менее меньшего из сечений РЕ-шин вводных устройств.

**ГОСТ Р 51321.1-2000. Таблица 4. Сечения РЕ-шин**

<i>Сечение фазного проводника <math>S</math> (мм<sup>2</sup>)</i>	<i>Наименьшее сечение РЕ-шины (мм<sup>2</sup>)</i>
<i>До 16 включительно</i>	<i><math>S</math></i>
<i>От 16 до 35 вкл.</i>	<i>16</i>
<i>От 35 до 400 вкл.</i>	<i><math>S/2</math></i>
<i>От 400 до 800 вкл.</i>	<i>200</i>
<i>Св. 800</i>	<i><math>S/4</math></i>

Площади поперечного сечения приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Защитные проводники, изготовленные из других материалов, должны иметь эквивалентную проводимость.

РЕ-шина низковольтных комплектных устройств (НКУ) должна проверяться по нагреву по максимальному значению рабочего тока в PEN-проводнике (например, в неполнофазных режимах, возникающих при перегорании предохранителей, при наличии третьей гармоники и т.д.). Для ГЗШ, не являющейся РЕ-шиной НКУ, такая проверка не требуется.

3.2.3. Сечение главных проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее  $6 \text{ мм}^2$  по меди,  $16 \text{ мм}^2$  по алюминию и  $50 \text{ мм}^2$  по стали. Это условие распространяется и на заземляющие проводники, соединяющие ГЗШ с заземлителями защитного заземления и/или функционального заземления (при их наличии), а также с естественными заземлителями.

Сечения проводников основной системы уравнивания потенциалов, используемых для присоединения к ГЗШ металлических труб коммуникаций, имеющих дополнительную металлическую связь с нейтралью трансформатора и через которые возможно протекание токов короткого замыкания (например, трубопроводы отдельно стоящих насосных, которые питаются от тех же трансформаторов, что и вводы в здание), должны выбираться по термической стойкости в соответствии с п.п. 1.7.113 и 1.7.126 ПУЭ.

Присоединение к заземлителю молниезащиты заземляющих проводников основной системы уравнивания потенциалов и заземляющих проводников от естественных заземлителей (при использовании естественных заземлителей в качестве заземлителей системы молниезащиты) должно производиться в разных местах.

Если имеется специальный заземлитель системы молниезащиты, к которому подключены молниеотводы, то такой заземлитель также должен подключаться к ГЗШ.

3.2.4. При наличии в здании нескольких электрических вводов от одной ТП трубопроводные системы и заземлители рекомендуется подключать к ГЗШ основного ввода.

3.2.5. Соединения сторонних проводящих частей с ГЗШ могут выполняться: по радиальной схеме, по магистральной схеме с помощью ответвлений, по смешанной схеме. Трубопроводы одной системы, например прямая и обратная труба центрального отопления, не требуют выполнения отдельных присоединений. В этом случае достаточно иметь одно ответвление от магистрали или одну радиальную линию, а прямую и обратную трубы достаточно соединить перемычкой сечением, равным сечению проводника системы уравнивания потенциалов.

3.2.6. Для проведения измерений сопротивления растекания заземляющего устройства на ГЗШ должно быть предусмотрено разборное соединение заземляющего проводника, подключаемого к заземляющему устройству.

3.2.7. В качестве проводников основной системы уравнивания потенциалов, в первую очередь, следует использовать открыто проложенные неизолированные проводники.

Ввод защитных проводников в НКУ класса защиты 2 следует выполнять изолированными проводниками, поскольку РЕ-шина в них выполняется изолированной.

3.2.8. Отдельно устанавливаемые ГЗШ рекомендуется выполнять из стали. В низковольтных комплектных устройствах РЕ-шина, как правило, выполняется медной (допускается выполнять из стали, использование алюминия не допускается). Стальные шины должны иметь металлическое покрытие, обеспечивающее выполнение требований ГОСТ 10434 для разборных контактных соединений класса 2. При использовании разных материалов для ГЗШ и для проводников системы уравнивания потенциалов необходимо принять меры по обеспечению надежного электрического соединения.

3.2.9. В местах, доступных только квалифицированному электротехническому персоналу, ГЗШ может устанавливаться открыто. В местах доступных неквалифицированному персоналу, ГЗШ должна иметь защитную оболочку. Степень защиты оболочки выбирается по условиям окружающей среды, но не ниже IP21.

3.2.10. ГЗШ на обоих концах должна быть обозначена продольными или поперечными полосами желто-зеленого цвета одинаковой ширины. Изолированные проводники уравнивания потенциалов должны иметь изоляцию, обозначенную желто-зелеными полосами. Неизолированные проводники основной системы уравнивания потенциалов в местах их присоединения к сторонним проводящим частям должны быть обозначены желто-зелеными полосами, выполненными, например, краской или клейкой двухцветной лентой.

3.2.11. Указания по выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания должны быть предусмотрены в проектной документации на электроустановку здания.

### **3.3. Выбор защитных проводников по условию эквивалентной проводимости**

3.3.1. Если защитный проводник выполнен из другого металла, нежели фазный, то его сечение должно выбираться из условия обеспечения так называемой эквивалентной проводимости. При

пересчете сечения по эквивалентной проводимости кроме величины удельного сопротивления должны также учитываться начальная и конечная температура проводника и изоляции, способ прокладки и характеристики окружающей среды. Ниже приводится методика выбора защитных проводников по условию обеспечения эквивалентной проводимости в соответствии с указаниями стандарта ГОСТ Р 50571-5-54-2011 и ГОСТ Р 50571-4-43-2012. Таблицы с характеристиками проводников, приведенные в главе 1.7 ПУЭ седьмого издания устарели.

3.3.2. Выбор сечения защитных проводников производится в следующей последовательности:

- определяется сечение  $S_1$  защитного проводника по отношению к фазному, при условии, что защитный проводник выполнен из того же материала, что и фазный;

- по формуле  $S_2 = S_1 \times k_1 / k_2$  определяем сечение защитного проводника выполненного из материала, отличного от материала фазного проводника, где

$k_1$  – величина коэффициента  $k$  для фазного проводника, рассчитанного по формуле (см. ниже) в соответствии с таблицей 4 (А.54.1 ГОСТ Р 50571-5-54-2011) или взятого из таблицы 5 (43А ГОСТ Р 50571-4-43-2012), в соответствии с материалом проводника и изоляции;

$k_2$  – величина коэффициента  $k$  для защитного проводника, выбранного из таблиц 6-10 (А.54.2-А.54.6 ГОСТ Р 50571-5-54-2011), в соответствии с условиями применения.

#### Расчет коэффициента $k$

Коэффициент  $k$  рассчитывается по следующей формуле:

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20^\circ\text{C})}{\rho_{20}}} \ln \left( 1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{\beta + \theta_i} \right),$$

где  $Q$  – объемная теплоемкость материала проводника (Дж/°С·мм³);

$\beta$  – величина, обратная температурному коэффициенту проводника при 0 °С (°С);

$\rho_{20}$  – удельное электрическое сопротивление проводника при 20 °С (Ом·мм);

$\theta_i$  – начальная температура проводника (°С);

$\theta_f$  – конечная температура (°С).

**Таблица 4 (А.54.1) – Величины параметров для различных материалов**

Материал	$\beta$ , °C	$Q_c$ , Дж/°C·мм <sup>3</sup>	$\rho_{20}$ , Ом·мм	$\sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20^\circ \text{C})}{\rho_{20}}}$
Медь	234,5	$3,45 \cdot 10^{-3}$	$17,241 \cdot 10^{-6}$	226
Алюминий	228	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$28,264 \cdot 10^{-6}$	148
Свинец	230	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	41
Сталь	202	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	78

**Таблица 5 (43А) – Величина k для фазных проводников**

	Материал изоляции					
	ПВХ $\leq 300 \text{ мм}^2$	ПВХ $> 300 \text{ мм}^2$	сшитый полиэтилен	резина 60 °C	минеральная	
					ПВХ	неизоли- рованные
Начальная температура, °C	70	70	90	60	70	105
Конечная температура, °C	160	140	250	200	160	250
Материал проводника:						
медь	115	103	143	141	115	135/115 <sup>a</sup>
алюминий	76	68	68	93	–	–
паяные соединения меди	115	–	–	–	–	–
<sup>a</sup> – Эта величина применяется для неизолированных проводников, незащищенных от при- косновения						
<p>Примечание 1. В стадии рассмотрения находятся значения k для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проводников малого сечения (особенно для поперечного сечения меньше 10 мм<sup>2</sup>);</li> <li>– продолжительности короткого замыкания более 5 с;</li> <li>– других типов соединения проводников;</li> <li>– неизолированных проводников.</li> </ul> <p>Примечание 2. Номинальный ток аппарата защиты от короткого замыкания может быть больше допустимого тока кабеля.</p> <p>Примечание 3. Вышеуказанные параметры приняты в соответствии МЭК 60724.</p>						

**Таблица 6 (А.54.2) – Значение коэффициента  $k$  для изолированных защитных проводников**

Изоляция проводника	Температура, °C <sup>б</sup>		Материал проводника		
			медь	алюминий	сталь
	начальная	конечная	$k$		
70 °C ПВХ	30	160/140 <sup>а</sup>	143/133 <sup>а</sup>	95/88 <sup>а</sup>	52/49 <sup>а</sup>
90 °C ПВХ	30	160/140 <sup>а</sup>	143/133 <sup>а</sup>	95/88 <sup>а</sup>	52/49 <sup>а</sup>
90 °C сшитый полиэтилен	30	250	176	116	64
60 °C резина	30	200	159	105	58
85 °C резина	30	220	166	110	60
Силиконовая резина	30	350	201	133	73

<sup>а</sup> – Нижнее значение дано для ПВХ изоляции проводников сечением более 300 мм<sup>2</sup>.  
<sup>б</sup> – Предельные температуры для различных типов изоляции даны по МЭК 60724.

**Таблица 7 (А.54.3) – Значение коэффициента  $k$  для неизолированных защитных проводников, находящихся в контакте с оболочкой кабеля, но проложенным не в общем пучке с другими кабелями**

Оболочка кабеля	Температура, °C <sup>а</sup>		Материал проводника		
			медь	алюминий	сталь
	начальная	конечная	$k$		
ПВХ	30	200	159	105	58
Полиэтилен	30	150	138	91	50
Резина	30	220	166	110	60

<sup>а</sup> – Предельные температуры для различных типов изоляции даны по МЭК 60724.

**Таблица 8 (А.54.4) – Значение коэффициента  $k$  для защитных проводников, являющихся жилой кабеля или проложенных в одном пучке с другими кабелями или изолированными проводами**

Изоляция проводника	Температура, °C <sup>b</sup>		Материал проводника		
			медь	алюминий	сталь
	начальная	конечная	$k$		
70 °C ПВХ	70	160/140 <sup>a</sup>	115/103 <sup>a</sup>	76/68 <sup>a</sup>	42/37 <sup>a</sup>
90 °C ПВХ	90	160/140 <sup>a</sup>	100/86 <sup>a</sup>	66/57 <sup>a</sup>	36/31 <sup>a</sup>
90 °C сшитый полиэтилен	90	250	143	94	52
60 °C резина	60	200	141	93	51
85 °C резина	85	220	134	89	48
Силиконовая резина	180	350	132	87	47

<sup>a</sup> – Нижнее значение дано для ПВХ изоляции проводников сечением более 300 мм<sup>2</sup>.  
<sup>b</sup> – Предельные температуры для различных типов изоляции даны по МЭК 60724.

**Таблица 9 (А.54.5) – Значение коэффициента  $k$  для защитных проводников, таких как металлическая основа брони кабеля, металлическая оболочка кабеля, концентрические проводники и т.п.**

Изоляция кабеля	Температура, °C <sup>a</sup>		Материал проводника			
			медь	алюминий	свинец	сталь
	начальная	конечная	$k$			
70 °C ПВХ	60	200	141	93		51
90 °C ПВХ	80	200	128	85		46
90 °C сшитый полиэтилен	80	200	128	85		46
60 °C резина	55	200	144	95		52
85 °C резина	75	220	140	93		51
Минеральная поверхность ПВХ изоляции <sup>b</sup>	70	200	135	–		–
Минеральная неизолированных проводников	105	250	135	–		–

<sup>a</sup> – Предельные температуры для различных типов изоляции даны по МЭК 60724.  
<sup>b</sup> – Указанные величины могут использоваться для неизолированных проводников, незащищенных от прикосновения или находящихся в контакте с горючими материалами.

**Таблица 10 (А.54.6)– Значение коэффициента  $k$  для неизолированных проводников, когда указанные температуры не создают угрозы повреждения находящимся вблизи материалов**

Условия применения	Начальная температура, °С	Медь		Алюминий		Сталь	
		$k$	максимальная температура, °С	$k$	максимальная температура, °С	$k$	максимальная температура, °С
Открыто и на ограниченных участках	30	228	500	125	300	82	500
Нормальные условия	30	159	200	105	200	58	200
Пожароопасные зоны	30	138	150	91	150	50	150

### **3.4. Выбор защитных и заземляющих проводников по термической стойкости**

3.4.1. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571-5-54-2011 «Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники» п. 542.1.4 **все** элементы заземляющих устройств должны быть выбраны с учетом возможности их повреждения токами замыкания на землю и токами защитных проводников.

Выбор заземляющих проводников и заземляющих электродов только из соображений их механической прочности и коррозионной стойкости является недостаточным. Проблемы могут возникнуть в местах соединения заземляющих проводников с естественными заземлителями, фундаментной сеткой, арматурой, поверхностными (горизонтальными) заземлителями и т.п. В точке соединения заземляющего проводника с заземлителем (заземляющим электродом) эквивалентная проводимость последнего должна быть не ниже чем у заземляющего проводника.

#### *Система защитного заземления TN*

3.4.2. В электроустановках с системой защитного заземления TN, где для автоматического отключения питания используется защита от сверхтока, в качестве защитных РЕ-проводников используются проводники, проложенные в общей оболочке с фазными проводниками или в непосредственной близости к ним (см. ТЦ № 27).



В качестве проводников, проложенных в непосредственной близости к фазным проводникам, могут использоваться: специально проложенные проводники, металлические покрытия кабелей, металлические трубы или металлические оболочки для проводников, при выполнении условий, установленных положениями главы 1.7 ПУЭ.

Использование общей заземляющей магистрали, проложенной в помещении, в качестве защитного РЕ-проводника для объектов нового строительства не рекомендуется. Данное указание не распространяется на энергетические объекты, расположенные в специальных электротехнических помещениях, например на подстанции 10/0,4 кВ, при этом должны быть выполнены условия по времени автоматического отключения питания, установленные положениями главы 1.7 ПУЭ.

3.4.3. При таком выполнении системы защитного заземления TN при устройстве основной системы уравнивания потенциалов, охватывающей все заземлители и сторонние проводящие части, при выборе проводников основной системы уравнивания потенциалов и заземляющих проводников следует проверять их термическую стойкость при токе короткого замыкания, равном половине полного тока короткого замыкания по основному вводу.

3.4.4. При выборе защитных проводников основной системы уравнивания потенциалов и заземляющих проводников в системе защитного заземления TN по току короткого замыкания следует пользоваться расчетной формулой в соответствии с требованиями п. 1.7.126 ПУЭ с учетом того, что по заземляющим проводникам может протекать только часть тока короткого замыкания. Необходимые расчетные данные приведены в разделе 3.3. настоящей Инструкции.

3.4.5. При выборе защитных проводников основной системы уравнивания потенциалов и заземляющих проводников не следует пользоваться таблицей 1.7.5 ПУЭ, так как это приведет к существенному завышению сечения проводников.

3.4.6. При использовании заземляющего устройства для установки выше 1 кВ с изолированной нейтралью и одновременно для установки до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью сечение заземляющего проводника, соединяющего сторонние проводящие части установки с заземлителем, следует принимать с учетом расчетного тока замыкания в электроустановке выше 1 кВ (10 кВ) с изолированной нейтралью. В качестве расчетного принимается ток однофазного короткого замыкания. Указанные токи замыкания носят

емкостной характер и рассматриваются как малые токи замыкания (до 500 А). В сетях, где защита в распреустройстве 10 кВ работает на сигнал при первом замыкании, а это практически все городские сети, данный ток рассматривается как длительный. Величина этого тока задается при получении технических условий от местных кабельных сетей. При наличии в системе электроснабжения устройств компенсации емкостных токов для расчета заземляющих проводников рекомендуется принимать ток короткого замыкания без учета действия компенсирующих устройств.

3.4.7. В соответствии с требованиями п. 1.7.115 ПУЭ седьмого издания «В электроустановках напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью..... **Как правило**, не требуется применение медных проводников сечением более 25 мм<sup>2</sup> .....стальных 120 мм<sup>2</sup>».

Для стальной шины размером 40×3 мм допустимый длительный ток составляет 125 А (см. 1.3.31.ПУЭ). То есть в некоторых случаях, когда ток замыкания превосходит 125 А сечения, указанные в п.1.7.115 ПУЭ могут оказаться недостаточными.

### *Система защитного заземления ТТ*

3.4.8. В соответствии с требованиями п.1.7.39 ПУЭ шестого издания использование системы ТТ в электроустановках было запрещено: «Применение в ... электроустановках заземления корпусов электроприемников без их зануления не допускается».

В соответствии с указаниями п. 1.7.59 ПУЭ седьмого издания, «Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система ТТ), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО.....».

Примером электроустановки, где невозможно выполнить требования электробезопасности в системе TN, являются индивидуальные жилые дома, которые по местным условиям необходимо подключить к воздушной линии 0,4 кВ, выполненной неизолированными проводами (ВЛ). Дело в том, что нейтральный проводник ВЛ не может рассматриваться как PEN-проводник по определению. В этих условиях до замены неизоли-