

Т а б л и ц а 4.10.2.1. **Наибольшее время отключения для сетей систем ИТ (двойное замыкание)**

Номинальное напряжение установки U_0 , В	Время отключения, с
120	0,8
230	0,4
400	0,2
600	0,1

В сетях системы ИТ могут применяться:

- устройства контроля изоляции;
- устройства защиты от сверхтоков;
- устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

Конструктивное исполнение заземляющих устройств

5.1. Заземляющие и нулевые защитные проводники (нормативные требования)

В качестве заземляющих или нулевых защитных проводников должны быть использованы в первую очередь нулевые рабочие проводники, а затем специально предусмотренные для этой цели проводники (стальная полоса, круглая сталь), а также естественные проводники (трубы, оболочки кабелей и т. д.).

Выбор вида заземляющих и нулевых защитных проводников при обеспечении равных условий безопасности обслуживания электроустановок и технологического оборудования следует производить по минимуму затрат с учетом требований эстетики, а также в соответствии с табл. 5.1—5.4.

По проводимости, термической стойкости и сопротивлению цепи фаза — нуль заземляющие и нулевые защитные проводники должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.3.

Выбор защитных проводников при условии нагрева при коротком замыкании. Температура нагрева защитных проводников при КЗ должна быть не выше следующих предельно допустимых значений, °С:

Шины:	
медные.....	300
алюминиевые.....	200
стальные, не имеющие непосредственного соединения с аппаратами.....	400
стальные с непосредственным присоединением к аппаратам.....	300
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение, кВ:	
до 10.....	200
20—220.....	125
Кабели и изолированные провода с медными и алюминиевыми жилами и изоляцией:	
поливинилхлоридной и резиновой.....	150
полиэтиленовой.....	120
Медные неизолированные провода при тяжении, Н/мм ² :	
менее 20.....	250
20 и более.....	200
Алюминиевые неизолированные провода при тяжении, Н/мм ² :	
менее 10.....	200
10 и более.....	160
Алюминиевая часть сталслюминиевых проводов.....	200

Условия безопасности обслуживания нулевых рабочих и нулевых защитных проводников изложены в табл. 5.5.

В случае, когда сечение стальных заземляющих проводников в производственных помещениях не определяется термической стойкостью или проводимостью по сравнению с фазными, а только требованиями механической прочности, выбор стальных проводников производится по табл. 5.6.

Таблица 5.1. Рекомендуемые естественные заземляющие и нулевые защитные проводники

Естественные заземляющие и нулевые защитные проводники	Расчетные формулы	Рекомендации по проектированию и монтажу
1. Стальные и железобетонные каркасы производственных зданий и сооружений	(3.15) — (3.18)	§ 6.1, 6.4
2. Металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы РУ, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т. п.)	(3.15) — (3.18)	§ 6.1, 6.4
3. Стальные трубы электропроводок	См. [2]	—
4. Алюминиевые оболочки кабелей	См. [2]	—
5. Металлические кожухи и опорные конструкции шинопроводов, металлические корпуса и лотки электростановок	(3.6) — (3.14)	§ 6.4

Продолжение табл. 5.1

Естественные заземляющие и нулевые защитные проводники	Расчетные формулы	Рекомендации по проектированию и монтажу
6. Металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и центрального отопления.	См. [2]	—

Примечания: 1. Использование металлических оболочек трубчатых проводов, несущих тросов при тросовой электропроводке, металлических оболочек изоляционных труб, металлорукавов, а также брони и свинцовых оболочек проводов и кабелей в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников запрещается.

В помещениях и наружных установках, в которых требуется применение заземления или зануления, эти элементы должны быть заземлены или занулены и иметь надежные соединения на всем протяжении. Металлические соединительные муфты и коробки должны быть присоединены к броне и к металлическим оболочкам пайкой или болтовым соединением.

2. Магистрали заземления или зануления и ответвления от них в закрытых помещениях и в наружных установках должны быть доступны для осмотра и иметь сечения не менее приведенных в табл. 5.2. Требование о доступности для осмотра не распространяется на нулевые жилы и оболочки кабелей, на арматуру железобетонных конструкций, а также на заземляющие и нулевые защитные проводники, проложенные в трубах и коробах, а также непосредственно в теле строительных конструкций (замоноличенные).

Ответвления от магистралей к электроприемникам напряжением до 1 кВ допускается прокладывать скрыто (непосредственно в стене, под чистым полом и т. п.) с защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.

3. В наружных установках заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать в земле, в полу или по краю площадок, фундаментов технологических установок и т. п.

4. Использование неизолированных алюминиевых проводников для прокладки в земле в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников не допускается.

5. Приведенные в пп. 1—6 проводники, конструкции и другие элементы могут служить единственными заземляющими или нулевыми защитными проводниками, если они по проводимости удовлетворяют требованиям и если обеспечена непрерывность электрической цепи на всей ее длине. Заземляющие и нулевые проводники должны быть защищены от коррозии.

Таблица 5.2. Наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников

Наименование	Медь	Алюминий	Сталь		
			в зданиях	в наружных установках	в земле
Неизолированный проводник:					
сечение, мм ²	4	6	—	—	—
диаметр, мм	—	—	5	6	10

Продолжение табл. 5.2

Наименование	Медь	Алюминий	Сталь		
			в зданиях	в наружных установках	в земле
Сечение изолированного провода, мм ²	1,5 *	2,5	—	—	—
Сечение заземляющей и нулевой жил кабелей и многожильного провода в общей защитной оболочке с фазными жилами, мм ²	1,5 *	2,5	—	—	—
Толщина полки из угловой стали, мм	—	—	2	2,5	4
Полосовая сталь:					
сечение, мм ²	—	—	24	48	48
толщина, мм	—	—	3	4	4
Толщина стенки водопроводной трубы (стальной), мм	—	—	2,5	2,5	3,5
Толщина стенки тонкостенной трубы (стальной), мм	—	—	1,5	2,5	Не допускается

* При прокладке проводов в трубах сечение нулевых защитных проводников допускается применять равным 1 мм², если фазные проводники имеют то же сечение.

Таблица 5.3. Выбор сечения заземляющего и нулевого защитного проводника в зависимости от напряжения электроустановки и режима нейтрали

Режим нейтрали	Требования к сечению заземляющего и нулевого защитного проводников
Электроустановки напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью	Сечение заземляющего проводника должно быть выбрано таким, чтобы при протекании по нему наибольшего тока однофазного КЗ температура заземляющего проводника не превысила 400°C (кратковременный нагрев, соответствующий времени действия основной защиты и полного времени отключения выключателя)
Электроустановки напряжением до 1 кВ и выше с изолированной нейтралью	Проводимость заземляющего проводника должна составлять не менее 1/3 проводимости фазных проводников, а сечение — не менее приведенных в таблице. Не требуется применения проводников сечением медных более 25 мм ² , алюминиевых — 35 мм ² ,

Продолжение табл. 5.3

Режим нейтрали	Требования к сечению заземляющего и нулевого защитного проводников
Электроустановки напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью	стальных — 120 мм ² . В производственных помещениях с такими электрическими магистралями заземления из стальной полосы должны иметь сечение не менее 100 мм ² . Допускается применение круглой стали того же сечения. Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50% проводимости фазного проводника

Примечания: 1. В целях обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возник ток КЗ, превышающий (не менее) в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя, в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратную зависимость от тока характеристики.

2. При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсеку), проводимость указанных проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженный на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса, равный 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А — не менее 1,25.

3. Если указанные требования не удовлетворяют значениям тока замыкания на корпус или на нулевой защитный проводник, то отключение при этих замыканиях должно обеспечиваться при помощи специальных защит.

4. В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью в целях удовлетворения указанных требований нулевые защитные проводники рекомендуется укладывать совместно или в непосредственной близости с фазными.

В табл. 5.7 приводятся стальные проводники, эквивалентные по проводимости алюминиевому проводнику круглой формы.

Значения сопротивлений нулевых защитных проводников приводятся в табл. 5.8—5.11.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников используются медные и алюминиевые провода, жилы кабелей и нулевые шины шинпроводов. Активное сопротивление медных проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией при $t = 70^\circ\text{C}$ при изменении сечения жилы от 1 до 240 мм² изменяется от 22,2 до 0,092 Ом/км. Активное сопротивление алюминиевых проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией при изменении сечения жилы от 2,5 до 240 мм² изменяется от 15 до 0,156 Ом/км.

Внутреннее индуктивное сопротивление медных и алюминиевых проводов имеет незначительную величину — примерно 0,0156 Ом/км. Внешнее

Таблица 5.4. Условия использования нулевых рабочих проводников для зануления

Рекомендации по использованию	Условия использования	Дополнительные требования по применению
<p>Допускается использование нулевых рабочих проводников осветительных линий для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям</p>	<p>Если все линии питаются от одного трансформатора, проводимость их удовлетворяет требованиям разд. 5 и исключена возможность отсоединения нулевых рабочих проводников во время работы других линий. В таких случаях не должны применяться автоматические выключатели, отключающие нулевые рабочие проводники вместе с фазными</p>	<p>В цепи заземляющих и нулевых защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.</p> <p>В цепи нулевых рабочих проводников, если они одновременно служат для целей зануления, допускается применение выключателей, которые одновременно с отключением нулевых рабочих проводников отключают все провода, находящиеся под напряжением</p>
<p>Не допускается использовать в качестве нулевых защитных проводников нулевые рабочие проводники, идущие к переносным электроприемникам однофазного и постоянного тока</p>	<p>Для зануления таких электроприемников должен быть применен отдельный третий проводник, присоединяемый во втычном соединителе ответвительной коробки, в щите, щитке, сборке к нулевому рабочему или нулевому защитному проводнику</p>	<p>Нулевые защитные проводники линий не допускается использовать для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям</p>

Примечания: 1. Однополюсные выключатели следует устанавливать в фазных проводниках, а не в нулевом рабочем проводнике.

2. В помещениях сухих без агрессивной среды заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать непосредственно по стенам.

Во влажных, сырых и особо сырых помещениях с агрессивной средой заземляющие и нулевые защитные проводники следует прокладывать на расстоянии от стен не менее 10 мм.

3. Заземляющие и нулевые защитные проводники должны предохраняться от химических воздействий. В местах перекрещивания этих проводников с кабелями, трубопроводами, железнодорожными путями, в местах их ввода в здания и в других местах, где возможны механические повреждения заземляющих и нулевых защитных проводников, эти проводники должны быть защищены.

4. Прокладка заземляющих и нулевых проводников в местах прохода через стены и перекрытия должна выполняться, как правило, с их непосредственной заделкой. В этих местах проводники не должны иметь соединений и ответвлений.

5. У мест ввода заземляющих проводников в здания должны быть предусмотрены опознавательные знаки.

6. Использование специально проложенных заземляющих или нулевых защитных проводников для иных целей не допускается.

Таблица 5.5. Требования к изоляции нулевых рабочих и нулевых защитных проводников

Требования к изоляции	Условия применения проводников
Изоляция, равноценная изоляции фазных проводников ¹	Такая изоляция обязательна для нулевых рабочих и нулевых защитных проводников в тех местах, где применение неизолированных проводников может привести к образованию электрических пар или к повреждению изоляции фазных проводников в результате искрения между неизолированным нулевым проводником и оболочкой или конструкцией (например, при прокладке проводов в трубах, коробах, лотках)
Изоляция не требуется	<p>В качестве нулевых рабочих и нулевых защитных проводников применяются кожухи и опорные конструкции комплектных шинопроводов и шины комплектных РУ (щитов, распределительных пунктов, сборок и т. п.), а также алюминиевые или свинцовые оболочки кабелей.</p> <p>В производственных помещениях с нормальной средой допускается использовать в качестве нулевых рабочих проводников указанные металлические конструкции, трубы, кожухи и опорные конструкции для питания однофазных одиночных электроприемников малой мощности, например, в сетях до 42 В, при включении на фазное напряжение одиночных магнитных пускателей или контакторов, при включении на фазное напряжение электрического освещения и цепей управления и сигнализации на кранах</p>

¹ Нулевые рабочие проводники должны быть рассчитаны на длительное протекание тока.

Таблица 5.6. Заземляющие и нулевые защитные проводники, рекомендуемые для производственных помещений

Вид заземляющего и нулевого защитного проводников	Характеристика среды	Рекомендуемые стальные проводники	Допустимые к применению стальные проводники
Магистрали заземления и зануления	Нормальная или влажная	Стальная полоса 40×3, 30×4 мм	Стальная полоса 40×4 мм, сталь круглая Ø 14 мм
	Сырая или химически активная ¹	Сталь круглая Ø 14 мм	Стальная полоса 30×4, 30×5, 40×4 мм
Ответвления от магистралей заземления и зануления	Нормальная или влажная	Стальная полоса 20×3, 25×3 мм	Сталь круглая Ø 5—10 мм
	Сырая или химически активная ¹	Сталь круглая Ø 6—10 мм	Стальная полоса 20×4, 25×4 мм

¹ Рекомендуются соответствующие среде защитные покрытия.

Таблица 5.7. Проводники равной активной проводимости при плотности тока до 2 А/мм²

Алюминиевые проводники сечением, мм ²	Стальные проводники			
	круглые диаметром, мм	полоса размером, мм	труба внутренним диаметром, мм (дюйм)	уголок размером, мм
2,5	6	—	—	—
4	10	20×3	6,3 (1/4)	—
6	14	25×3	9,4 (3/8)	—
10	22	40×3	19 (3/4)	25×25×3
16	32	70×4 60×4	32 (5/4)	30×30×4

индуктивное сопротивление медных и алюминиевых проводов зависит от сечения и взаимного расположения. При изменении расстояния между фазовым и нулевым проводами от 0,4 до 20 м сопротивление изменяется от 0,7 до 1,25 Ом/км.

Активное сопротивление медных шин при $t = 70^\circ\text{C}$ и переменном токе с изменением сечения от 25×3 до 120×10 мм² изменяется от 0,305 до 0,025 Ом/км. Активное сопротивление алюминиевых шин на переменном токе и при $t = 70^\circ\text{C}$ с изменением сечения от 25×3 до 120×10 мм² изменяется от 0,485 до 0,038 Ом/км.

Внутреннее индуктивное сопротивление шин из алюминия и меди мало и составляет примерно 0,015 Ом/км.

Металлоконструкции зданий. В качестве нулевых защитных проводников используются фермы, колонны и т. п. Стальные проводники имеют высокое удельное сопротивление при постоянном токе (0,14 Ом · мм²/м), а при переменном токе — значительное индуктивное сопротивление. Их активное и индуктивное сопротивления изменяются нелинейно в зависимости от плотности тока и соотношения периметра к сечению.

Большое значение имеет то, что стальные проводники прокладываются на некотором (в большинстве случаев значительном) расстоянии от фазных; вследствие этого значительно увеличивается внешнее индуктивное сопротивление цепи фаза — нуль. Электрическое сопротивление стальной полосы при изменении размеров от 20×4 до 100×8 и при плотности тока $J = 0,5 \text{ А/мм}^2$ изменяется от 6,1 до 1,05 Ом/км. Активное и внутреннее реактивное сопротивления круглых стальных проводников при изменении диаметра от 5 до 20 мм и при плотности тока $J = 0,5 \text{ А/мм}^2$ изменяются от 19,8 до 3,12 Ом/км. Сопротивление угловой стали при изменении размеров от 40×40 до 63×5 и при плотности токов $J = 0,5 \text{ А/мм}^2$ изменяется от 1,76 до 1,07 Ом/км. Двутавровая балка 12 при такой же плотности тока имеет сопротивление 0,43 Ом/км. Двутавровая балка 18 при плотности тока $J = 0,3 \text{ А/мм}^2$ имеет сопротивление 0,37 Ом/км. Сведений по проводимости каркасов распределительных щитов, протяжных ящиков, протяжных и ответвительных коробок нет.

Таблица 5.8. Активное и внутреннее индуктивное сопротивления стальных круглых шин, Ом/км

Плотность тока, А/мм ²	Номинальный диаметр, мм						
	5	6	8	10	12	14	16
0,1	8,35/33,58	7,7/5,53	—	—	—	8,8/3,85	5,8/3,3
0,2	10,8/8,1	10,6/9	12,79/7,15	9,60/5,4	7,5/4,25	6,08/3,45	5,1/2,9
0,3	13,8/11,2	11,3/9,8	11,75/6,65	8,8/5	6,8/3,85	5,55/3,15	4,6/2,6
0,4	15,4/13,3	11,5/10,3	11,1/6,25	8,25/4,65	6,3/3,55	5,2/2,95	4,25/2,4
0,5	14,6/12,4	11,4/10,3	10,4/5,9	7,8/4,4	6/3,4	4,95/2,8	4,05/2,3
0,6	14,2/12,1	11,2/10	10/5,65	7,5/4,25	5,75/3,25	4,75/2,7	3,9/2,2
0,8	13,2/11,2	10,8/9,3	9,5/5,4	7,15/4,05	5,6/3,15	4,5/2,55	—
1	12,7/10,5	10,7/9,2	9,2/5,2	7/3,95	—	—	—
1,2	12,7/10,5	10,7/9,2	9/5,4	—	—	—	—

Примечание. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — внутренних индуктивных.

Таблица 5.9. Активное и внутреннее индуктивное сопротивления угловой стали, Ом/км

Плотность тока, А/мм ²	Размер угловой стали, мм					
	25×25×3	30×30×4	40×40×4	50×50×5	60×60×6	75×75×10
0,2	—	2,67/1,51	2/1,13	1,5/0,83	1,17/0,65	0,78/0,44
0,3	3,28/1,86	2,5/1,41	1,85/1,05	1,36/0,75	1,06/0,59	0,68/0,38
0,4	3,15/1,78	2,35/1,33	1,74/0,97	1,26/0,7	0,97/0,55	0,6/0,34
0,5	3,00/1,7	2,2/1,24	1,64/0,91	1,17/0,65	0,9/0,51	0,56/0,32
0,6	2,88/1,03	2,08/1,18	1,55/0,86	1,11/0,62	0,85/0,48	0,53/0,3
0,8	2,65/1,5	1,9/1,07	1,43/0,79	1/0,57	0,76/0,43	0,48/0,27
1	2,48/1,4	1,77/1	1,32/0,73	0,92/0,52	0,7/0,4	0,45/0,255
1,2	2,35/1,33	1,66/0,92	1,24/0,69	0,86/0,49	0,66/0,37	—
1,4	2,25/1,27	1,58/0,88	1,19/0,66	0,84/0,47	—	—
1,6	2,15/1,22	1,53/0,85	1,15/0,64	—	—	—
1,8	2,08/1,18	1,50/0,83	—	—	—	—
2	2/1,13	—	—	—	—	—

Примечание. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — внутренних индуктивных.

Таблица 5.10. Активное и внутреннее индуктивное сопротивления стальных труб, Ом/км

Плотность тока, А/мм ²	Размер трубы, мм (дюйм)				
	19 (3/4)	25,4 (1)	32 (1 1/4)	38 (1 1/2)	51 (2)
0,1	—	2,95/1,67	2,32/1,31	2,02/1,14	1,62/0,91
0,2	3,63/2,05	2,72/1,54	2,12/1,20	1,83/1,04	1,47/0,83
0,3	3,33/1,88	2,5/1,41	1,97/1,11	1,67/0,94	1,33/0,75
0,4	3,08/1,74	2,32/1,31	1,84/1,04	1,56/0,88	1,24/0,70
0,5	2,95/1,67	2,20/1,24	1,75/0,99	1,48/0,84	1,18/0,67
0,6	2,82/1,59	2,11/1,19	1,68/0,95	1,43/0,81	1,14/0,64
0,7	2,73/1,54	2,05/1,16	1,64/0,92	1,39/0,79	1,11/0,63
0,8	2,68/1,51	2,01/1,14	1,60/0,90	1,36/0,77	1,09/0,62
0,9	2,63/1,48	1,98/1,12	1,56/0,88	—	—
1,1	2,58/1,46	—	—	—	—

Примечания: 1. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — индуктивных.
2. Размеры труб даны по внутреннему диаметру.

Таблица 5.11. Удельные активные и внутренние индуктивные сопротивления стальных полос, Ом/км

Плотность тока, А/мм ²	Толщина шины, мм						
	3		4		6		
	Ширина шины, мм						
	20	100	20	40	100	50	100
0,2	7,6/4,25	1,65/0,93	6,8/3,84	3,5/2,13	1,56/0,89	2,62/1,48	1,36/0,77
0,4	7,33/4,18	1,53/0,89	6,38/3,6	3,42/1,94	1,4/0,79	2,32/1,28	1,17/0,66
0,6	6,84/3,88	1,47/0,83	5,9/3,31	3,0/1,64	1,29/0,73	2,0/1,17	1,06/0,61
0,8	6,5/3,67	1,4/0,79	5,58/3,15	2,88/1,50	1,23/0,7	2,0/1,14	1,02/0,59
1	6,26/3,54	1,34/0,76	5,4/3,06	2,82/1,31	1,19/0,67	2,0/1,13	1,0/0,59
1,3	6,0/3,39	1,29/0,73	5,3/3,0	2,8/1,29	1,18/0,66	—	—

Примечание. В числителе приведены значения активных сопротивлений, в знаменателе — индуктивных.

Стальные трубы электропроводок. Стальные трубы всех диаметров могут быть использованы в качестве нулевых защитных проводников при относительно небольших расстояниях от подстанций до электроприемников и алюминиевых проводников. При медных проводниках, проложенных в трубах, водогазопроводные трубы диаметром менее 2" и электросварные диаметром до 47 мм могут быть использованы в качестве зануляющих. При больших диаметрах труб и при медных проводниках не соблюдается условие 50%-ной проводимости. При изменении диаметра водогазопроводных труб по ГОСТ 3262—75* от 1/2" до 2 1/2" сопротивление уменьшается с 2,2 до 0,7 Ом/км. При изменении диаметра электросварных труб по ГОСТ 10704—76* от 20 до 59 мм сопротивление уменьшается с 2,8 до 0,9 Ом/км.

Алюминиевые оболочки кабелей. В качестве нулевого защитного проводника часто используют алюминиевые оболочки кабелей. Активное сопротивление алюминиевой оболочки кабелей при изменении сечений жилы трехжильного кабеля от 6 до 240 мм² уменьшается от 1,045 до 0,215 Ом/км в кабелях с алюминиевыми жилами и от 0,985 до 0,212 Ом/км в кабелях с медными жилами. При использовании четырехжильного кабеля активное сопротивление нулевой жилы и оболочки при изменении сечения жил кабеля от 6 до 185 мм² уменьшается от 0,867 до 0,18 Ом/км в алюминиевых кабелях и от 0,762 до 0,155 Ом/км в медных кабелях.

Лотки. Лотки типов К420 и К422 исследованы на возможность использования их в качестве нулевых защитных проводников. Было экспериментально установлено, что сопротивление 1 м секции $Z = 0,77 \cdot 10^{-3}$ Ом ($I_{\text{исп}} = 200$ А) с учетом сопротивления контакта. Электрическое сопротивление контактного соединения оцинкованной пластины $Z = 0,39 \cdot 10^{-3}$ Ом ($I_{\text{исп}} = 200$ А), окрашенной пластины $Z = 0,65 \cdot 10^{-3}$ Ом ($I_{\text{исп}} = 200$ А), целой конструкции лотка на той же длине $Z = 0,32 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Исходя из проводимости лотка, равной 50%-ной проводимости фазного проводника, лотки К420 и К422 могут применяться в качестве нулевого защитного проводника, если на лотках проложены в сети с глухозаземленной нейтралью алюминиевые провода сечением не более 70 мм², а в сети с изолированной нейтралью — для всех сечений кабелей. При этом окрашенные лотки не могут быть использованы в качестве нулевых защитных проводников.

Возможность использования лотков в качестве нулевых защитных проводников зависит от длины лотковой линии (числа соединяемых секций) и должна решаться путем расчета цепи фаза — нуль. Однако соединение лотков К420 и К422 не удовлетворяет требованиям ГОСТ 10434—82*, так как электрическое сопротивление контактного соединения в 2,9 раза больше сопротивления целого участка. Поэтому соединение таких лотков должно выполняться двумя болтами вместо одного или одна сторона соединителя должна привариваться в заводских условиях.

Соединения лотков НЛ20-П2 и НЛ40-П2 (рис. 5.1) полностью удовлетворяют ГОСТ 10434—82* и могут быть рекомендованы в качестве нулевого защитного проводника в цепи фаза — нуль.

Короба прямые (рис. 5.2). Экспериментально было установлено, что активное сопротивление 1 м короба с учетом сопротивления электрического контакта равно:

$$Z_{\text{кл}} = 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad Z_{\text{У1050}} = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

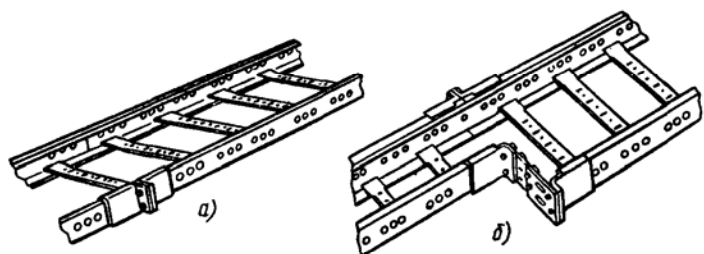


Рис. 5.1. Соединение лотков типа НЛ (а) и типов НЛ20-П2 и НЛ40-П2 (б)

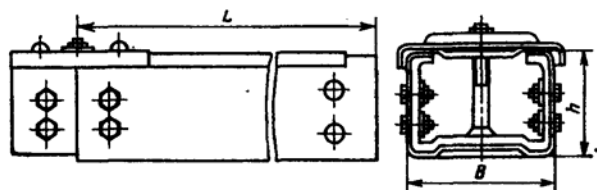


Рис. 5.2. Прямые короба

При использовании коробов в качестве нулевых защитных проводников по условиям 50%-ной проводимости могут быть проложены алюминиевые провода следующих сечений: до 95 мм² — в коробах типа КЛ, до 240 мм² — типа У1050; в сети с изолированной нейтралью — при сечениях до 240 мм². Контактное соединение оцинкованных коробов типа У1050 удовлетворяет ГОСТ 10434—82* и ГОСТ 17441—84 для контактов, отнесенных ко второму классу, и имеет электрическое сопротивление $Z = 44 \cdot 10^{-6}$ Ом. Контактное соединение окрашенных коробов типа У1080 имеет электрическое сопротивление $Z = 82,8 \cdot 10^{-6}$ Ом, что больше сопротивления целого участка, поэтому эти соединения могут быть рекомендованы в том случае, если они защищены и смазаны.

5.2. Использование сторонних проводящих частей (СПЧ) и открытых проводящих частей (ОПЧ) в качестве PEN-проводников

В проблеме использования сторонних проводящих частей (СПЧ) и открытых проводящих частей (ОПЧ), в том числе алюминиевых оболочек кабелей (бронированных и небронированных), в качестве PEN-проводников [1] имеется ряд неясных вопросов. К числу неясных вопросов относятся и нормативные основы. В связи с намотившейся тенденцией согласования Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [2] со стандартами Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) представляется необходимым рассмотреть нормативные основы использования СПЧ и ОПЧ в качестве PEN-проводников на базе сравнительного анализа требований ПУЭ и стандартов МЭК [3], [4], [5], [6]. Результатом такого рассмотрения должна явиться разработка непротиворечивой системы нормативных основ использования СПЧ и ОПЧ в качестве PEN-проводников на базе требований ПУЭ и стандартов МЭК.

Важнейшей задачей электротехники становится создание безопасных электроустановок. Современная философия электробезопасности основывается на принципе эквипотенциальности всех токопроводящих частей (ПЧ), включая открытые проводящие части электроустановок (ОПЧ), а также сторонние проводящие части (СПЧ), в том числе, металлические и железобетонные строительные конструкции зданий и сооружений.

В свете этих двух тезисов рассмотрим условия электробезопасности в электроустановках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью — система питания TN-C (четырёхпроводная система, в которой функции нулевого рабочего проводника — N и нулевого защитного проводника — PE объединены в одном проводнике — PEN) — см. рис. 5.3.

Натурные испытания проводящих свойств стального каркаса производственного здания ограничиваются тремя известными работами В. П. Тихонова [7], Р. Кауфмана [8] и Т. Гингера, О. Давидсона и Р. Брандела [9]. К сожалению недостаточный объем экспериментальных исследований и отсутствие необходимых теоретических обобщений не позволили авторам этих работ обосновать возможность и целесообразность использования стального каркаса производственного здания в качестве PEN-проводника. В силу этого обстоятельства в настоящее время отечественные и международные нормативные документы запрещают использовать сторонние проводящие части (СПЧ) в качестве PEN-проводников, что, как было установлено в работе, не позволит обеспечить электробезопасность при повреждении изоляции электроустановки.

В частности, в стандарте МЭК 364-5-54-80 + А1(82) в п. 543.2.5 сказано: «Сторонние проводящие части не должны использоваться в качестве PEN-проводника».

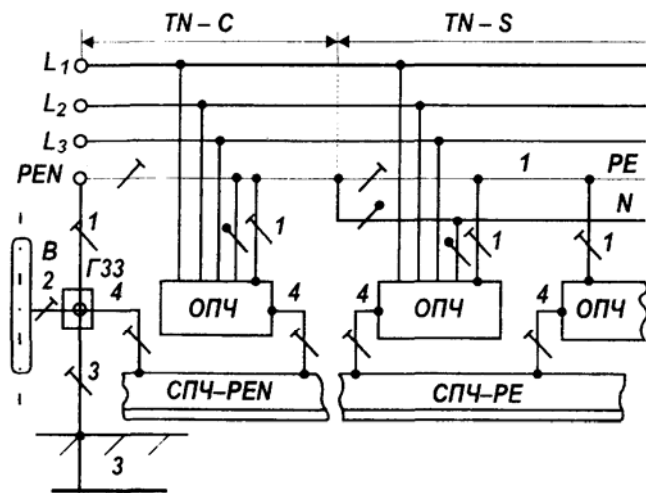


Рис. 5.3. Схема цепи обратного тока в системе TN:

PEN — нулевой защитный проводник; 1 — защитный проводник (PE-проводник); 3 — заземляющий проводник (PE-проводник); 4 — вспомогательный проводник системы уравнивания потенциалов (PE-проводник); ГЗЗ — главный зажим заземления; ОПЧ — открытая проводящая часть (электрооборудования); СПЧ — сторонняя проводящая часть; В — металлический стоек водопровода; 3 — заземлитель; N — нулевой рабочий проводник; L_1, L_2, L_3 — фазные проводники

В правилах устройства электроустановок (ПУЭ-87, 6-е изд.) содержится формулировка (п. 1.7.81, абз. 3): «В производственных помещениях с нормальной средой допускается использовать в качестве нулевых рабочих проводников указанные в п. 1.7.73. металлические конструкции (СПЧ-Р.К.), трубы, кожухи и опорные конструкции шинопроводов (ОПЧ-Р.К.) для питания одиночных однофазных электроприемников малой мощности...». Другими словами, в ПУЭ — 6-е изд. разрешается использовать сторонние проводящие части (СПЧ) и открытые проводящие части (ОПЧ) в качестве N-проводника для питания однофазных электроприемников малой мощности. Эта формулировка разрешает устройство электроустановок, не обеспечивающих дополнительную защиту от косвенного прикосновения при повреждении изоляции. В то же время ПУЭ — 6-е изд. не содержит каких бы то ни было рекомендаций, разрешающих или запрещающих использование сторонних проводящих частей (СПЧ) в качестве PEN-проводников.

В ГОСТ Р 50571.10—96 [10] (Дата введения 1997-01-01) запрет на использование (СПЧ) в качестве PEN-проводника сформулирован жестко: «543.2.5. Использование СПЧ в качестве PEN-проводника запрещается». Это обстоятельство приводит к тому, что открытые проводящие части защищаемой электроустановки при однофазном к.з. (ОКЗ) на корпус электроустановки

приобретают опасный потенциал, достигающий $2/3$ фазного напряжения электроустановки (153 В при фазном напряжении 230 В).

Для уравнивания потенциалов защищаемые PEN-проводником открытые проводящие части электроустановки (ОПЧ) должны быть соединены эквипотенциальными связями с доступными одновременно прикосновению всеми сторонними проводящими частями, в том числе металлическими и железобетонными конструкциями зданий и сооружений [2], [6]. В этом случае 4-я жила кабеля системы TN-C, выполняющая функцию PEN-проводника, оказывается зашунтированной сторонними проводящими частями, в том числе металлическими и железобетонными строительными конструкциями, которые, таким образом, оказываются одной из параллельных цепей PEN-проводника. Такое явление имеет место во всех современных электроустановках вопреки требованию п. 543.2.5. стандарта МЭК 364-5-54 [3]. При этом, как показали специальные экспериментальные исследования, проведенные ВНИИПроектэлектромонтажом совместно с трестом Татэлектромонтаж, при однофазном к.з. (ОКЗ) потенциал защищаемого оборудования не превышает предельно допустимого безопасного значения 6 В (См. стандарт МЭК 364-4-41. 1992. п. 411,1.5.2. [6], [11], и одновременно существенно возрастает значение тока ОКЗ, что повышает надежность защиты от к.з.

Таким образом, решение проблемы создания безопасных промышленных электроустановок зданий и сооружений связано не только с разработкой концепции безопасности, проведением теоретических и экспериментальных исследований системы TN-C, но также и с принципиальным изменением основных требований ПУЭ и ГОСТ Р 50 571.10—96 к PEN-проводнику.

Исходя из вышеизложенного, проанализируем требования и рекомендации ПУЭ [2] и стандартов МЭК, относящихся к использованию СПЧ в системе TN (см. соответственно табл. 5.12; 5.13.).

В ПУЭ не допускается использование СПЧ в качестве N-проводника; в порядке исключения допускается использовать их «...для питания одиночных однофазных электроприемников малой мощности, например, в сетях до 42 В...»

На использование СПЧ в качестве PEN-проводника в системе TN-C прямого запрета нет. Однако между п. 1.7.81, не допускающим использования СПЧ в качестве N-проводника, а следовательно, и PEN-проводника, и п. 1.7.18, 1.7.47, 1.7.73, рекомендующими применение системы TN-C, в которой четвертая жила кабеля (PEN-проводник) шунтирована СПЧ (PEN-проводник), имеется существенное противоречие.

Стандарт МЭК 364-4-54 запрещает использовать СПЧ в качестве N- и PEN-проводников и в отличие от ПУЭ исключений не допускает. Однако требование п. 543.2.5 стандарта противоречит требованию п. 546.2.1, регламентирующего сечение четвертой жилы кабеля (используется в качестве PEN-проводника), шунтированной в соответствии с требованиями МЭК СПЧ, выполняющими функцию PEN-проводника.

Таблица 5.12.

Проводник	Требования, относящиеся к использованию СПЧ	Пункт ПУЭ	Примечание
N (система TN-S)	Не допускается использовать в качестве N-проводника; как исключение допускается в сетях до 42 В (для питания электроприемников малой мощности)	1.7.61, 1.7.81	
PE (система TN-S)	Могут быть использованы в качестве единственных PE-проводников, если в части проводимости они удовлетворяют требованиям ПУЭ и, кроме того, обеспечивается непрерывность цепи на всем протяжении их использования	1.7.73	Рекомендуется использовать в качестве PE-проводника при выполнении требований п. 1.7.79 ПУЭ
PEN (система TN-C)	Прямого запрета на использование в качестве PEN-проводника нет, между п. 1.7.81 и п. 1.7.18, 1.7.73 имеется существенное противоречие	1.7.18, 1.7.47, 1.7.61, 1.7.73, 1.7.81	Рекомендуется использовать в качестве PEN-проводника, шунтирующего четвертую жилу кабеля

Для устранения внутренних противоречий в ПУЭ и в стандартах МЭК следует систематизировать содержащиеся в них требования, при этом необходимо исходить из следующих рекомендаций и положений.

1. При использовании четырехжильных кабелей в системе TN четвертая жила, выполняющая роль PEN-проводника, неизбежно (по условию обеспе-

Таблица 5.13.

Проводник	Требования, относящиеся к использованию СПЧ	Пункт стандарта МЭК 364-5-54	Примечание
N (система TN-C)	Запрещается использовать в качестве N-проводника	543.2.5	
PE (система TN-S)	Допускается использовать в качестве единственного PE-проводника, если удовлетворяются требованиям п. 543.2.4	543.2.1, 543.2.4	Рекомендуется использовать в качестве PE-проводника при выполнении требований п. 1.7.79 ПУЭ
PEN (система TN-C)	Запрещается использовать в качестве PEN-проводника	543.2.5	В системах TN-C использование СПЧ в качестве одного из PEN-проводников неизбежно (см. п. 547.1.2).

чения эквипотенциальности) шунтирована сторонними проводящими частями (СПЧ), которые являются одной из параллельных цепей, образующих PEN-проводник.

2. Требования, предъявляемые к PEN-проводнику для обеспечения им функций N-проводника, должны обеспечиваться за счет собственных параметров (в первую очередь, проводимости) 4-й жилы кабеля, без учета проводимости СПЧ.

3. Требования, предъявляемые к PEN-проводнику для обеспечения им функций PE-проводника, должны обеспечиваться за счет полной проводимости эквивалентного PEN-проводника, образованного параллельно соединенными 4-й жилой кабеля, сторонними проводящими частями (СПЧ) и землей.

4. При определении наименьшего допустимого (по условию нагрева) сечения 4-й жилы кабеля необходимо установить действительное токораспределение при о.к.з. между 4-й жилой, СПЧ и землей. Причем термическая стойкость кабеля при о.к.з. не должна ограничиваться условиями нагревания 4-й жилы кабелей, выполняющей функции PEN-проводника

Исходя из сформулированных положений, перейдем к сравнительному анализу нормативов (см. табл. 14), определяющих наименьшее сечение 4-й жилы кабелей, используемых в системах TN.

Таблица 5.14.

Проводник	Наименьшее сечение четвертой жилы кабелей, используемых в системе TN, мм ²						Стандарт
	ПУЭ			МЭК			
	Материал		Пункт ПУЭ	Материал		Пункт стандарта МЭК	
медь	алюминий	медь		алюминий			
N	1	2,5	1.7.76 (табл. 1.7.1)	$S_N = S_L$ $S_L \leq 16$	$S_N = S_L$ $S_L \leq 25$	524.2	[5]
	$\Sigma S_N \geq 50\% S_L$	$\Sigma S_N \geq 50\% S_L$	1.3.8 1.7.61	$S_N = 16$ $S_L \geq 16$	$S_N = 25$ $S_L \geq 25$	524.3	
PE	1	2,5	1.7.76 (табл. 1.7.1)	$\Sigma S_{PE} = S_L$ $S_L \leq 16$	$\Sigma S_{PE} = S_L$ $S_L \leq 25$	543.1.2 (Table 54F)	[3]
			1.7.79	$\Sigma S_{PE} = 16$ $16 \leq S_L \leq 35$	$\Sigma S_{PE} = 5$ $25 \leq S_L \leq 50$		
	$\Sigma S_{PE} \geq 50\% S_L$	$\Sigma S_{PE} \geq 50\% S_L$		$\Sigma S_{PE} = 1/2 S_L$ $S_L > 35$	$\Sigma S_{PE} = 1/2 S_L$ $S_L > 50$	$S_{PE} \geq I^{1/2}/k$	

Продолжение табл. 5.14

Проводник	Наименьшее сечение четвертой жилы кабелей, используемых в системе TN, мм ²						
	ПУЭ			МЭК			
	Материал		Пункт ПУЭ	Материал		Пункт стандарта МЭК	Стандарт
	медь	алюминий		медь	алюминий		
PEN	1	2,5	1.7.76 (табл. 1.7.1)	$S_{PEN} \geq 10$	$S_{PEN} \geq 16$	546.2.1	[3, 4]
	$\Sigma S_{PEN} \geq 50\%S_L$	$\Sigma S_{PEN} \geq 50\%S_L$		$S_{PEN} = S_L$ $10 \leq S_L \leq 16$	$S_{PEN} = S_L$ $16 \leq S_L \leq 25$	524.2	[5]
			1.7.18	$S_{PEN} = 16$ $\Sigma S_{PE} = 1/2S_L$ $S_L > 16$ $16 \leq S_L \leq 95$	$S_{PEN} = 25$ $\Sigma S_{PE} = 1/2S_L$ $S_L > 25$ $25 \leq S_L \leq 120$	524.3	
			1.7.61				
			1.7.79	см. табл. 4 для $S_L > 95$	см. табл. для $S_L > 120$	---	

В таблице приняты следующие обозначения:

S_L — сечение фазной жилы кабеля, мм²;

S_N — сечение 4-й жилы кабеля, выполняющей функцию нулевого рабочего проводника; (N — проводник в системе TN-S, мм²);

ΣS_N — суммарное сечение N -проводника, мм², образованного четвертой жилой кабеля, шунтированной СПЧ, в системе TN-C; S_{PE} — сечение четвертой жилы кабеля, мм², выполняющей функцию нулевого защитного проводника (PE-проводник в системе TN-S); ΣS_{PE} — суммарное сечение PE-проводника, мм², образованного четвертой жилой кабеля, шунтированной СПЧ, в системе TN-C; S_{PEN} — сечение четвертой жилы кабеля, мм², выполняющей функцию PEN-проводника в системе TN-C; ΣS_{PEN} — суммарное сечение PEN-проводника, мм², образованного четвертой жилой кабеля, шунтированной СПЧ, в системе TN-C, I — действующее значение тока к.з., протекающего по PE-проводнику, А; t — время протекания тока к.з., с; k — коэффициент, значение которого зависит от материала PE-проводника, его изоляции и начальной и конечной температур (значения k для PE-проводников в различных условиях даны в табл. 54B, 54C, 54D, 54E [3]).

Из сравнения норм ПУЭ и стандартов МЭК следует, что в последних предъявляются более жесткие требования к проводимости четвертой жилы кабелей, используемых в системах TN (см. табл. 14). В ПУЭ регламентируются общее сечение N -, PE- и PEN-проводников, при этом не предъявляются обязательные требования к сечению четвертой жилы кабеля независимо от выполняемых ею функций (N -, PE- или PEN-проводник). В стандартах МЭК предъявляются обязательные требования к сечению четвертой жилы кабеля, выполняющей функции N -, PE- или PEN-проводника в зависимости от сече-

ния фазной жилы, при этом проводимость СПЧ во внимание не принимается. В частности, согласно стандартам МЭК четвертую жилу кабеля можно использовать в качестве PEN-проводника, если ее сечение не менее 16 мм² (алюминий) или 10 мм² (медь).

При сечениях фазной жилы до 25 мм² (алюминий) или 16 мм² (медь) сечение четвертой жилы кабеля при использовании ее в качестве N -проводника, а следовательно, и PEN-проводника должно быть не менее сечения фазной жилы независимо от проводящих свойств СПЧ. Как показали выполненные ВНИИПроектэлектромонтажом и трестом «Татэлектромонтаж» теоретические и экспериментальные исследования токораспределения между четвертой жилой кабеля, СПЧ и землей при о.к.з., этого сечения достаточно при использовании четвертой жилы кабеля в качестве PEN-проводника для кабелей сечением до 120 мм² (алюминий) и 95 мм² (медь). При большем сечении фазной жилы наименьшее допустимое по термической стойкости при о.к.з. сечение четвертой жилы четырехжильных кабелей, используемых в системе TN, должно быть увеличено.

Результаты исследования зависимости относительных токов четвертой жилы кабеля μ_{PEN} от относительной площади ее поперечного сечения σ_{PEN} для различных сечений фазной жилы кабеля S_L , представлены на рис. 5.4. Здесь же показана зависимость μ (σ) для гипотетического проводника, характеризующегося равенством плотности тока этого проводника при любом значении σ плотности тока фазного проводника:

Таблица 5.15.

Материал	Наименьшее сечение четвертой жилы четырехжильных кабелей в системе TN-C, мм ² , при номинальном сечении фазной жилы S_L , мм ²												
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Алюминий	—	16	25	25	25	25	25	25	35	70	120	185	240
Медь	10	16	16	16	16	16	16	25	35	70	120	185	240

$$\mu / \sigma = 1. \quad (5.1)$$

Для адиабатического процесса нагрева, каким является процесс нагрева при отключаемом к.з. в цепях TN (длительность о.к.з. менее 5 с), условие (1) означает равенство температур перегрева четвертой и фазной жил.

Превышение ординат пограничной прямой

$$\mu_{PEN} > \sigma \quad (5.2)$$

означает, что четвертая жила при рассматриваемом сечении будет перегрета выше допустимого предела.

В качестве критерия допустимости снижения сечения четвертой жилы кабеля принято условие (1). В этом случае, как следует из рис. 4, наименьшие относительные сечения для кабелей с сечением фазных жил (алюминий) 150, 185, 240, 300, 400 мм² должны быть 0,275, 0,39, 0,50, 0,60, 0,675. Исходя из этих значений, в табл. 15 представлены рекомендуемые наименьшие сечения четвертой жилы четырехжильных кабелей для использования в системе TN-C.

Результаты исследования представлены на рис. 5. Здесь можно выделить три зоны сечений S_L : в первой зоне ($S_L = 16 \div 25 \text{ мм}^2$) $S_{PEN} = S_L$; во второй ($25 \text{ мм}^2 \leq S_L \leq 120 \text{ мм}^2$) — $S_{PEN} = 25 \text{ мм}^2$; в третьей ($150 \text{ мм}^2 \leq S_L \leq 400 \text{ мм}^2$) S_{PEN} принимает значения от 35 до 240 мм² для обеспечения условия термической стойкости четвертой жилы кабеля $\sigma_{PEN} \geq \mu_{PEN}$.

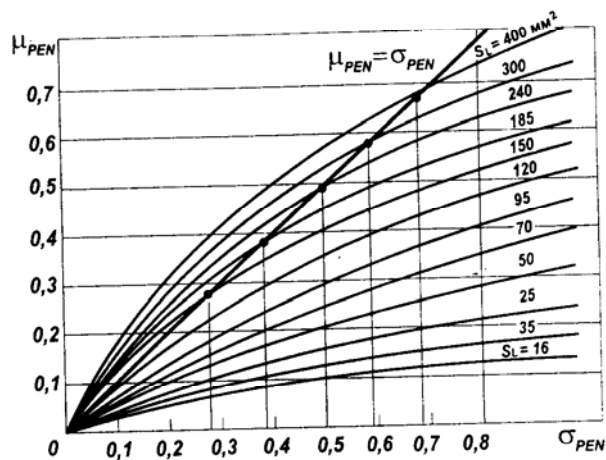


Рис. 5.4. Зависимость μ_{PEN} (σ_{PEN} ; S_L) для кабеля с алюминиевыми жилами:

μ_{PEN} — отношение токов I_{PEN} и I_L соответственно четвертой и фазной жил при о.к.з.; σ_{PEN} — отношение сечений S_{PEN} и S_L соответственно четвертой и фазной жил

На рис. 5 тонкой линией проведена огибающая минимальных сечений четвертой жилы четырехжильных кабелей (PEN-проводник), соответствующих требованиям стандартов МЭК. Из сравнения этой зависимости и рекомендуемой (жирная линия) следует, что отказ от запрета на использование СПЧ в качестве PEN-проводников позволяет существенно снизить наименьшее сечение четвертой жилы четырехжильных кабелей, используемых в системе TN-C.

Для кабелей, сечение фазной жилы которых составляет 70—185 мм², наименьшее сечение четвертой жилы снижается в 2—2,8 раза. В частности,

для кабеля с сечением фазной жилы 120 мм² наименьшее сечение четвертой жилы может быть снижено с 70 до 25 мм².

1. В ПУЭ следует ввести формулировку о недопустимости использования СПЧ в качестве единственных PEN-проводников электроустановок в системе TN-C.

2. Наименьшие сечения четвертой жилы четырехжильных кабелей, используемых в системе TN-C, должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 15.

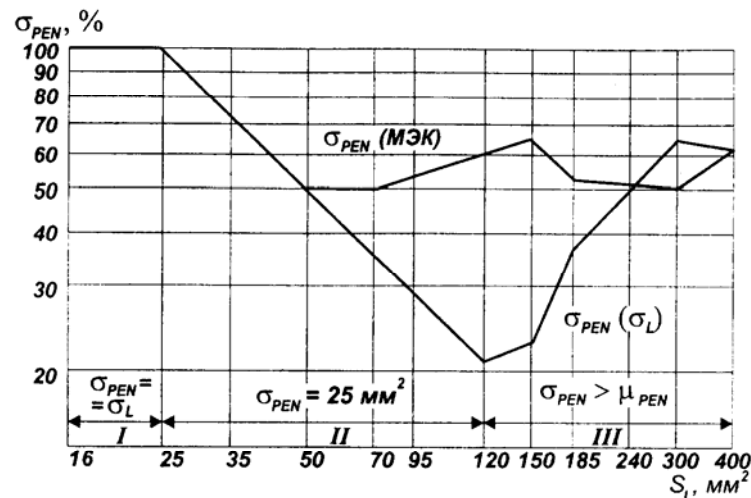


Рис. 5.5. Рекомендуемая зависимость предельно допустимого наименьшего относительного значения сечения четвертой жилы четырехжильных кабелей, используемых в системе TN-C (σ_{PEN}) от сечения фазной жилы S_L .

Как показали результаты теоретического исследования [20], для кабеля без металлических защитных покровов (МЗП) сечением более 240 мм² четвертая жила, шунтированная СПЧ, оказывается перегруженной в режиме однофазного к.з. (ОКЗ), если ее сечение равно или меньше 50% сечения фазной жилы. Расчеты, выполненные по той же методике для 4-жильных кабелей с алюминиевой оболочкой (бронированных и небронированных) [20], показали, что при использовании такой оболочки в качестве PEN-проводника не требуется увеличивать уменьшенное сечение четвертой жилы кабеля при любом сечении фазных жил. Более того, расчеты показали, что для кабелей с алюминиевой оболочкой (бронированных и небронированных) при сечении фазной жилы до 240 мм² сечение четвертой жилы при ее использовании

в качестве PEN-проводника, шунтированного алюминиевой оболочкой кабеля, может быть уменьшено до 25 мм^2 (по алюминию) [20].

Важность и нетривиальность полученного теоретического результата обусловили необходимость его экспериментального подтверждения [20], [21].

Данные в главе 5.3. нормативные рекомендации для РЕ- и PEN-проводников соответствуют следующим положениям:

1. Значение эквивалентного погонного сопротивления сторонних проводящих частей (СПЧ), в качестве которых используются строительные конструкции, изменяется в пределах:

0,42 Ом/км — для легких стальных и железобетонных каркасов производственных зданий;

0,32 Ом/км — для массивных стальных каркасов производственных зданий.

2. Натурные измерения тока ОКЗ в цепях использующих естественные проводящие свойства стальных и железобетонных каркасов производственных зданий, подтвердили возможность использования последних в качестве PEN-проводников.

3. Наименьшие сечения четвертой жилы используемых в системе TN-C кабелей без металлических защитных покрытий (МЗП) должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 15.

4. При сечении фазной жилы кабеля без МЗП, не превышающим 120 мм^2 (по алюминию), сечение четвертой жилы при использовании ее в качестве PEN-проводника, шунтированного СПЧ, может быть уменьшено до значения, определяемого стандартом МЭК для N-проводника [5].

5. Для кабелей с алюминиевой оболочкой (бронированных и небронированных) при сечении фазной жилы до 240 мм^2 сечение четвертой жилы, используемой в качестве PEN-проводника, шунтированного алюминиевой оболочкой кабеля, может быть уменьшено до значения, определяемого стандартом МЭК для N-проводника (25 мм^2 для алюминия) [5].

6. Сторонние проводящие части (СПЧ) не могут быть использованы в качестве *единственного* PEN-проводника электроустановки в системе TN-C.

7. В четырехпроводных кабельных сетях при системах TN-C или TN-S должны применяться четырехжильные кабели, четвертая жила которых выполняет функцию PEN-проводника или РЕ-проводника, соответственно. При этом проводимости сторонних проводящих частей (СПЧ), а также открытых проводящих частей (ОПЧ), в том числе алюминиевые оболочки кабелей (бронированных и небронированных), шунтирующих PEN-проводник, не должны учитываться при выборе минимально необходимого сечения PEN-проводника, определяемого требованием к сечению соответствующего N-проводника. Проводимости СПЧ, а также ОПЧ, в том числе алюминиевые оболочки кабелей (бронированных и небронированных), шунтирующих PEN-проводник и РЕ-проводник, могут быть учтены при выборе минимально необходимого сечения PEN-проводника или РЕ-проводника, определяемого требованиями к сечению РЕ-проводника.

5.3. Нормативные рекомендации для РЕ- и PEN-проводников

Защитные проводники

5.3.1. В качестве защитных проводников (РЕ-проводников и PEN-проводников) должны быть в первую очередь использованы специально предусмотренные для этой цели проводники, в том числе жилы и алюминиевая оболочка кабелей; изолированные провода в общей оболочке с фазными проводами; стационарно проложенные неизолированные или изолированные проводники.

В качестве РЕ-проводников и PEN-проводников могут быть использованы сторонние проводящие части (СПЧ) и открытые проводящие части (ОПЧ), например:

1) металлические конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т. п.);

2) арматура железобетонных строительных конструкций и фундаментов зданий;

3) металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, каркасы распределительных устройств, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т. п.);

4) стальные трубы электропроводок;

5) алюминиевые оболочки кабелей;

6) металлические кожухи и опорные конструкции шинопроводов, металлические корпуса и лотки электропроводок;

7) металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, *кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей*, канализаций и центрального отопления.

5.3.2. Приведенные в пп. 1—7 проводники, конструкции и другие элементы могут служить единственными РЕ-проводниками, если они по проводимости удовлетворяют требованиям настоящей главы и если обеспечена непрерывность электрической цепи на всем протяжении использования.

5.3.3. Защитные проводники должны быть защищены от коррозии.

5.3.4. Сторонние проводящие части (СПЧ) могут использоваться в качестве защитных проводников (РЕ- и PEN-проводников), если они одновременно отвечают следующим требованиям:

а) электрическая непрерывность цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищающими ее от механических, химических и электрохимических повреждений;

б) их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости;

в) они сконструированы или, при необходимости, приспособлены для этой цели.

5.3.5. Допускается использование металлических труб водопровода при

наличия разрешения организации, ответственной за эксплуатацию водопровода. Использование труб системы газоснабжения в качестве защитных проводников запрещается.

5.3.6. Использование СПЧ в качестве единственного PEN-проводника запрещается.

5.3.7. Использование металлических оболочек трубчатых проводов, несущих тросов при тросовой электропроводке, металлических оболочек изоляционных трубок, металлорукавов, а также брони и свинцовых оболочек проводов и кабелей, в качестве защитных проводников запрещается.

В помещениях и в наружных установках, в которых требуется применение заземления или зануления, эти элементы должны быть заземлены или занулены и иметь надежные соединения на всем протяжении. Металлические соединительные муфты и коробки должны быть присоединены к броне и к металлическим оболочкам пайкой или болтовыми соединениями.

5.3.8. Магистраль заземления или зануления и отвлечения от них в закрытых помещениях и в наружных установках должны быть доступны для осмотра и иметь сечения не менее приведенных в табл. 5.3.1.

Таблица 5.3.1. Наименьшие размеры заземляющих проводников, проложенных в земле

Защищенные от коррозии	Имеющие механическую защиту	Согласно требованиям настоящей главы
	Не имеющие механической защиты	
Не защищенные от коррозии и не имеющие механической защиты	Круглое сечение	25 мм ² по меди 78,5 мм ² по стали (диаметр 10 мм)
	Угловая сталь: толщина полки, мм	4
	Полосовая сталь: сечение, мм ² толщина, мм	48 4
	Ведогазопроводные трубы (стальные): толщина стенки, мм	3,5

5.3.9. Требование о доступности для осмотра не распространяется на нулевые жилы и оболочки кабелей, на арматуру железобетонных конструкций, а также на защитные проводники, проложенные в трубах и коробах, а также непосредственно в теле строительных конструкций (замоноличенные).

Ответвления от магистралей к электроприемникам до 1 кВ допускается прокладывать скрыто непосредственно в стене, под чистым полом и т. п. с защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.

В наружных установках защитные проводники допускается прокладывать в земле, в полу или по краю площадок, фундаментов технологических установок и т. п.

Использование неизолированных алюминиевых проводников для прокладки в земле в качестве защитных проводников не допускается.

5.3.10. Заземляющие проводники должны удовлетворять всем требованиям настоящей главы, предъявляемым к защитным проводникам, и, если они проложены в земле, их наименьшие размеры должны соответствовать значениям, указанным в табл. 5.3.1.

5.3.11. Площадь поперечного сечения защитного проводника S , мм², должна быть не меньше значения, определяемого следующей формулой (применяется только для времени отключения не более 5 с)

$$S \geq \frac{I\sqrt{t}}{k}, \quad (5.3.1)$$

где I — действующее значение тока короткого замыкания, протекающего через устройство защиты при пренебрежимо малом переходном сопротивлении, А;

t — выдержка времени отключающего устройства, с.

Примечание. Следует учитывать ограничение тока сопротивлением цепи и ограничивающую способность (интеграл Джоуля) устройства защиты;

k — коэффициент, значение которого зависит от материала защитного проводника, его изоляции и начальной и конечной температур, $A \cdot c^{\frac{1}{2}} / \text{мм}^2$. Коэффициент k определяется выражением:

$$k = \sqrt{\frac{(B + 20) Q_c}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\vartheta_f - \vartheta_i}{B + \vartheta_i} \right)},$$

где Q_c — объемная теплоемкость материала проводника, Дж/°С · мм³;

B — величина, обратная коэффициенту температурного сопротивления при 0°С для проводника; °С;

ρ_{20} — удельное электрическое сопротивление материала проводника при 20°С, Ом · мм;

ϑ_i — начальная температура проводника, °С;

ϑ_f — конечная температура проводника, °С.

Значение k для защитных проводников в различных условиях указаны в таблицах 5.3.2.—5.3.5.

Материал	$V, ^\circ\text{C}$	$Q_c, \text{Дж}/^\circ\text{C} \cdot \text{мм}^3$	$R_{20}, \text{Ом} \cdot \text{мм}$	$\sqrt{\frac{(B + 20) Q_c}{R_{20}}}$
Медь	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Алюминий	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$	148
Свинец	230	$1,45 \times 10^{-3}$	214×10^{-6}	42
Сталь	202	$3,8 \times 10^{-3}$	132×10^{-6}	78

Если в результате применения формулы (5.3.1.) получается нестандартное сечение, следует использовать проводники ближайшего большего стандартного сечения.

Примечания:

1. Необходимо, чтобы сечение, рассчитанное таким образом, соответствовало условиям, определяемым сопротивлением цепи «фаза — нуль».
2. Значение максимальной температуры для электроустановок во взрывоопасных зонах устанавливают по ГОСТ 22782.0.
3. Следует учитывать максимально допустимые температуры зажимов.

Таблица 5.3.2. Значения коэффициента k для изолированных защитных проводников, не входящих в кабель, и для неизолированных проводников, касающихся оболочки кабелей

Параметр	Тип изоляции защитных проводников и кабелей		
	Поливинилхлорид (ПВХ)	Шитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	Бутиловая резина
Конечная температура, $^\circ\text{C}$	160	250	220
Коэффициент k для проводника:			
— медного	143	176	166
— алюминиевого	95	116	110
— стального	52	64	60

Примечание. Начальная температура проводника принята равной 30°C

Таблица 5.3.3. Значение коэффициента k для защитного проводника, входящего в многожильный кабель

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид (ПВХ)	Шитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	Бутиловая резина
Начальная температура, $^\circ\text{C}$	70	90	85
Конечная температура, $^\circ\text{C}$	160	250	220
Коэффициент k для проводника:			
— медного	115	143	134
— алюминиевого	76	94	89

Таблица 5.3.4. Значение коэффициента k при использовании в качестве защитного проводника оболочки или брони кабеля

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид	Шитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	Бутиловая резина
Начальная температура, $^\circ\text{C}$	60	80	75
Конечная температура, $^\circ\text{C}$	160	250	220
Коэффициент k^* для проводника:			
— алюминиевого	81	98	93
— свинцового	22	27	26
— стального	44	54	51

* Значения коэффициента k для проводников, изготовленных из алюминия, свинца или стали, которые в МЭК 364-5-54-80 не указаны.

Таблица 5.3.5. Значение коэффициента k для неизолированных проводников для условий, когда указанные температуры не создают опасности повреждения близлежащих материалов

Материал проводника	Условия	Проводники		
		проложенные открыто и в специально отведенных местах	эксплуатируемые в	
			нормальной среде	пожароопасной среде
Медь	Максимальная температура, $^\circ\text{C}$	500 *	200	150
	k	228	159	138
Алюминий	Максимальная температура, $^\circ\text{C}$	300 *	200	150
	k	125	105	91
Сталь	Максимальная температура, $^\circ\text{C}$	500 *	200	150
	k	82	58	50

* Указанные температуры допускаются только при условии, что они не ухудшают качество соединений.

Примечание. Начальная температура проводника принята равной 30°C .

5.3.12. Сечение защитных проводников должно быть не менее значений, приведенных в таблице 5.3.6. (см. также 1.5.28 и 1.5.33). В этом случае не требуется проверять сечение на соответствие неравенству (5.3.1).

Если при расчете получают значение сечения, отличное от приведенного в таблице, следует выбирать из таблицы ближайшее большее значение.

Таблица 5.3.6.

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

5.3.13. Значения таблицы 5.3.6. действительны только в случае, если защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. В противном случае сечения защитных проводников выбирают таким образом, чтобы их проводимость была равной проводимости, получаемой в результате применения таблицы.

Во всех случаях сечение защитных проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее:

- 2,5 мм² — при наличии механической защиты;
- 4 мм² — при отсутствии механической защиты.

П р и м е ч а н и е. При выборе и прокладке защитных проводников следует учитывать внешние воздействующие факторы по ГОСТ Р 50571.2.

Сечения (диаметры) нулевых защитных и нулевых рабочих проводников ВЛ должны выбираться в соответствии с требованиями гл. 2.4. ПУЭ.

5.3.14. В электроустановках выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтрально сечения заземляющих проводников должны быть выбраны такими, чтобы при протекании по ним наибольшего тока однофазного КЗ температура заземляющих проводников не превысила 400°С (кратковременный нагрев, соответствующий времени действия основной защиты и полного времени отключения выключателя).

5.3.15. В электроустановках до 1 кВ и выше с изолированной нейтрально проводимость заземляющих проводников должна составлять не менее 1/3 проводимости фазных проводников, а сечение — не менее приведенных в табл. 5.3.1 (см. также 1.5.28 и 1.5.33). Не требуется применения медных проводников сечением более 25 мм², алюминиевых — 35 мм², стальных — 120 мм². В производственных помещениях с такими электрическими магистралями заземления из стальной полосы должны иметь сечение не менее 100 мм². Допускается применение круглой стали того же сечения.

5.3.16. Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50% проводимости фазного проводника.

5.3.17. В тех случаях, когда каркас производственного здания или эстакады промышленного предприятия предусматривается использовать в качестве PEN-проводника, проводимость СПЧ, шунтирующих четвертую жилу четырехжильного кабеля, не должна учитываться при выборе ее минимально

необходимого сечения, определяемого требованием к сечению соответствующего N-проводника. Проводимость СПЧ, шунтирующих PEN-проводник, может быть учтена при выборе минимально необходимого сечения жилы, определяемого требованием к сечению PE-проводника.

5.3.18. Для обеспечения непрерывности электрической цепи, образованной стальными и железобетонными каркасами производственных зданий на всем протяжении ее использования в качестве PE- или PEN-проводника, шунтирующего четвертую жилу кабеля, при создании промышленных электроустановок в производственных зданиях рекомендуется руководствоваться требованиями 5.3.37 и ГОСТ 12.1.030—81.

5.3.19. Нулевые рабочие проводники должны быть рассчитаны на длительное протекание рабочего тока.

5.3.20. Рекомендуется в качестве нулевых рабочих проводников применять проводники с изоляцией, равноценной изоляции фазных проводников. Такая изоляция обязательна как для нулевых рабочих, так и для нулевых защитных проводников в тех местах, где применение неизолированных проводников может привести к образованию электрических пар или к повреждению изоляции фазных проводников в результате искрения между неизолированными нулевым проводником и оболочкой или конструкцией (например, при прокладке проводов в трубах, коробах, лотках). Такая изоляция не требуется, если в качестве PEN-проводника, шунтирующего четвертую жилу кабеля, используются алюминиевые или свинцовые оболочки кабелей (см. 5.3.7), стальные и железобетонные каркасы производственных зданий и сооружений, а также, если в качестве PEN-проводников применяются кожухи и опорные конструкции комплектных шинопроводов и шин комплектных распределительных устройств (щитов, распределительных пунктов, сборок и т. п.).

5.3.21. В производственных помещениях с нормальной средой допускается использовать в качестве единственного PEN-проводника указанные в п. 5.3.1. металлические конструкции, трубы, кожухи и опорные конструкции шинопроводов для питания одиночных однофазных электроприемников малой мощности в сетях до 25 В переменного тока.

5.3.22. Не допускается использовать в качестве нулевых защитных проводников нулевые рабочие проводники, идущие к электроприемникам однофазного и постоянного тока. Для зануления таких электроприемников должен быть применен отдельный третий проводник, присоединяемый во втычном соединителе отдельной коробки, в щите, щитке, сборке и т. п. к нулевому рабочему или нулевому защитному проводнику (см. также 6.1.20 ПУЭ).

5.3.23. В цепи заземляющих и нулевых защитных проводников не должны быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.

В цепи нулевых рабочих проводников, если они одновременно служат для целей зануления (PEN-проводники), допускается применение выключа-

телей, которые одновременно с отключением PEN-проводников отключают все провода, находящиеся под напряжением (см. также 5.3.24).

Однополюсные выключатели следует устанавливать в фазных проводниках, а не в нулевом рабочем проводнике.

5.3.24. Нулевые защитные проводники линии не допускается использовать для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям.

Допускается использовать PEN-проводники осветительных линий для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям, если все указанные линии питаются от одного трансформатора, проводимость их удовлетворяет требованиям настоящей главы и исключена возможность отсоединения PEN-проводников во время работы других линий. В таких случаях не должны применяться выключатели, отключающие PEN-проводники вместе с фазными.

5.3.25. Защитные проводники следует прокладывать на расстоянии от стен не менее чем 10 мм.

В помещениях сухих, без агрессивной среды, защитные проводники допускается прокладывать непосредственно по стенам.

5.3.26. Заземляющие и нулевые защитные проводники должны быть предохранены от химических воздействий. В местах перекрещивания этих проводников с кабелями, трубопроводами, железнодорожными путями, в местах их ввода в здания и в других местах, где возможны механические повреждения заземляющих и нулевых защитных проводников, эти проводники должны быть защищены.

5.3.27. Прокладка заземляющих и нулевых защитных проводников в местах прохода через стены и перекрытия должна выполняться, как правило, с их непосредственной заделкой. В этих местах проводники не должны иметь соединений и ответвлений.

5.3.28. У мест ввода заземляющих проводников в здания должны быть предусмотрены опознавательные знаки.

5.3.29. Использование специально проложенных заземляющих или нулевых защитных проводников для иных целей не допускается.

Соединение и присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников (PE- и PEN-проводников)

5.3.30. В каждой электроустановке должен быть предусмотрен главный заземляющий зажим или шина и к нему (или к ней) должны быть присоединены:

- заземляющие проводники;
- защитные проводники;
- проводники главной системы уравнивания потенциалов (ГОСТ Р 50571.10—96);
- PEN-проводники.

5.3.31. В доступном месте следует предусматривать возможность разъема (отсоединения) заземляющих проводников для измерения сопротивления растеканию заземляющего устройства. Эта возможность может быть обеспечена при помощи главного заземляющего зажима или шины. Конструкция зажима должна позволять его отсоединение только при помощи инструмента, быть механически прочной и обеспечивать непрерывность электрической цепи.

5.3.32. Заземляющий проводник должен быть надежно присоединен к заземлителю и иметь с ним контакт, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10434—82. «Соединения контактные электрические. Общие технические требования». При использовании зажимов они не должны повреждать ни заземлитель, ни заземляющие проводники.

5.3.33. Соединения защитных проводников должны быть доступны для осмотра и испытания, за исключением соединений, заполненных компаундом или герметизированных.

5.3.34. Запрещается включать коммутационные аппараты в цепи PE- и PEN-проводников, однако могут иметь место соединения, которые могут быть разобраны при помощи инструмента для целей испытания.

5.3.35. Не допускается использовать открытые проводящие части электрооборудования (ОПЧ) в качестве PE- и PEN-проводников для другого электрооборудования.

5.3.36. Соединения заземляющих и нулевых защитных проводников (PE- и PEN-проводников) между собой должны обеспечивать надежный контакт и выполняться посредством сварки.

Допускается в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред выполнять соединения PE- и PEN-проводников другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434—82 «Соединения контактные электрические. Общие технические требования» ко 2-му классу соединений. При этом должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактных соединений. Соединения PE- и PEN-проводников электропроводок и ВЛ допускается выполнять теми же методами, что и фазных проводников.

5.3.37. Для обеспечения непрерывности электрической цепи, образованной стальными и железобетонными каркасами производственных зданий на всем протяжении ее использования в качестве PE- и PEN-проводника, шунтирующего четвертую жилу кабеля, при создании промышленных электроустановок в производственных зданиях рекомендуется руководствоваться ГОСТ 12.1.030—81. «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

Кроме того, непрерывность электрической цепи, образованной каркасами производственных зданий, обеспечивается соединением стальных элементов:

- в зданиях с монолитным железобетонным каркасом — сваркой рабочей арматуры элементов;

— в зданиях из сборных железобетонных элементов — сваркой закладных изделий, примыкающих друг к другу конструкций, либо при помощи стальных перемычек сечением не менее 100 мм², которые привариваются к закладным изделиям соединяемых железобетонных элементов;

— в зданиях со стальным каркасом — болтовыми, заклепочными и сварными соединениями, обеспечивающими совместную работу элементов каркаса.

Для обеспечения непрерывности электрической цепи длина сварных швов соединяемых элементов должна быть не менее 60 мм, а высота швов — не менее 5 мм.

5.3.38. При наличии в кровле здания молниеприемной сетки объединяющий контур создается молниеприемной сеткой и арматурой колонн, соединенных перемычками с арматурой фундаментов — заземлителей.

5.3.39. В зданиях с железобетонным каркасом при отсутствии молниеприемной сетки объединяющий контур может быть создан соединением арматуры колонн с арматурой фундаментных балок. В местах отсутствия фундаментных балок должен быть предусмотрен специальный проводник из стали сечением не менее 100 мм². В многоэтажных зданиях непрерывный внутренний контур, объединяющий в единую цепь колонны и ригели каркаса, выполняется на одном или нескольких этажах.

5.3.40. Для присоединения защитного заземления оборудования в колоннах предусматриваются закладные изделия.

Закладные изделия в колоннах для опирания заземляемого технологического оборудования (металлических площадок) или для крепления сантехнических и технологических коммуникаций должны быть соединены с продольной арматурой колонн.

Все остальные конструкции (площадки, вентиляционные устройства, трубы, лестницы, металлические корпуса технологического и электрического оборудования и пр.) должны быть присоединены при помощи сварки к цепи заземления, использующей заземляющие свойства строительных конструкций.

5.3.41. Стальные трубы электропроводок, короба, лотки и другие конструкции, используемые в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников (РЕ- и PEN-проводников), должны иметь соединения, соответствующие требованиям ГОСТ 10434—82, предъявляемым ко 2-му классу соединений. Должен быть также обеспечен надежный контакт стальных труб с корпусами электрооборудования, в которые вводятся трубы, и с соединительными (осветительными) металлическими коробками.

Этим же требованиям должны соответствовать соединения брони и свинцовых оболочек кабелей, металлорукавов, металлических оболочек трубчатых проводов и изоляционных трубок.

5.3.42. Места и способы соединения заземляющих проводников с протяженными естественными заземлителями (например, с трубопроводами) дол-

жны быть выбраны такими, чтобы при разъединении заземлителей для ремонтных работ было обеспечено расчетное значение сопротивления заземляющего устройства.

5.3.43. В случае использования труб водопровода в качестве РЕ- или PEN-проводников, водомеры, задвижки и т. п. должны иметь обходные проводники, обеспечивающие непрерывность цепи заземления.

5.3.44. Присоединение РЕ- и PEN-проводников к частям оборудования, подлежащим заземлению или занулению, должно быть выполнено сваркой или болтовым соединением. Присоединение должно быть доступно для осмотра. Для болтового присоединения должны быть предусмотрены меры против ослабления и коррозии контактного соединения.

5.3.45. Заземление или зануление оборудования, подвергающемуся частому демонтажу, или установленного на движущихся частях или частях, подверженных сотрясениям или вибрации, должно выполняться гибкими РЕ- и PEN-проводниками.

5.3.46. При наличии надежного электрического контакта между электрооборудованием, аппаратами, электромонтажными конструкциями и другими частями и металлическими основаниями, на которых они установлены (рамы, каркасы комплектных устройств, станины станков, машин и механизмов), дополнительная установка перемычек между указанными частями и основаниями не требуется: во всех помещениях, кроме особо сырых и с химически активной средой, не требуется установка металлической перемычки между корпусом электродвигателя и заземленным (зануленным) металлическим основанием при креплении электродвигателя к этому основанию с помощью болтов, вне зависимости от наличия металлических прокладок (исключение — см. гл. 7.3 ПУЭ).

5.3.47. В цепях заземления и зануления ОПЧ и СПЧ считаются достаточными естественные контакты: между заземленной (зануленной) металлической оболочкой, броней или оплеткой кабеля, с одной стороны, и тросом, струной или полосой, по которым проложен кабель, с другой стороны, для заземления или зануления этого троса, струны или полосы;

между арматурой изолятора и металлической конструкцией, на которой он закреплен;

между стальными рельсами и стальными колесами передвижных механизмов для заземления (зануления) ОПЧ и СПЧ передвижных механизмов, перемещающихся по этим рельсам;

между металлическими строительными производственными конструкциями ферм, балок, колонн, трубопроводов и т. п.

5.3.48. Для соединения в целях уравнивания потенциалов ОПЧ и СПЧ наряду с указанными естественными контактами являются достаточными также шарнирные и петлевые шарнирные и петлевые соединения поворотных и съемных конструкций, если на них не установлено электрооборудование.

5.3.49. Для присоединения защитных проводников переносных электроприемников следует применять только такие соединители штепсельные, которые имеют специальные контакты. Соединение между этими контактами при включении должно устанавливаться до того, как войдут в соприкосновение контакты фазных (полюсных) проводников. Порядок разъединения контактов при отключении должен быть обратным. Соединители должны исключать возможность соединения контактов фазных (полюсных) проводников с контактами защитного проводника.

5.3.50. Защитный проводник со стороны электроприемника должен быть подключен к вилке, а со стороны питания — к розетке. Заземление или зануление корпуса соединителя следует выполнять путем соединения его с контактом защитного проводника.

5.3.51. К защитным контактам соединителей штепсельных, предназначенных для переносных электроприемников, должен быть проложен самостоятельный защитный проводник от ближайшего щитка, сборки или ответвительной коробки.

5.3.52. Присоединение защитных проводников к трубопроводам с горючими или взрывоопасными веществами, обсадным трубам нефтяных и газовых скважин, арматуре железобетонных конструкций зданий и сооружений должно выполняться сваркой.

5.3.53. Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в РЕ- или PEN-проводник заземляемых или зануляемых частей электроустановки не допускается.

Список литературы к главам 5.2—5.3.

1. ГОСТ Р-50571.1—93 (МЭК 364-1; МЭК 364-2) Электроустановки зданий. Основные положения.
2. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. перераб. и доп. М. Энергоатомиздат. 1987.
3. IEC Standard. Publication 364-5-54. 1980. Earthing arrangements and protective conductors.
4. Amendment No. 1 (July 1982) to Publication 364-5-54.
5. IEC Standard 364-5-52. First edition. 1993-10. Selection and erection of electrical equipment. Wiring systems.
6. IEC Standard 364-4-41. Third edition. 1992-10. Protection for safety. Protection against electric shock.
7. Тихонов В. И. Использование металлических конструкций зданий как заземления рабочего нулевого провода. «Электричество», № 8, 1940.
8. Kaufmann R. H. Some Fundamentals of Equipment — Grounding Circuit Design. AIEE Trans., Vol. 73. pt. II. Appl. and Ind., Nov., 1954.

9. Ginger T. A., Davidson O. C., Brendel R. W. Determination of Ground — Fault, Current on Common A-C Grounded — Neutral Systems in Standard Steel or Aluminium Conduit. AIEE Trans., Vol. 79, pt. II, Appl. and Ind., May, 1960.

10. ГОСТ Р 50571.10—96 (МЭК 364-5-54-80). Заземляющие устройства и защитные проводники.

11. ГОСТ Р 50571.3—94 (МЭК 364-4-41-92). Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.

12. Karyakin R. N., Yagudaev B. M., Vlasov S. P. Safety Criteria — a Basis for Choosing the Parameters of Grounding Arrangements of 50Hz Industrial Electrical Installations. Electrical Shock Safety Criteria. Proceedings of the First International Symposium on Electrical Shock Safety Criteria. Pergamon Press. New York, Oxford, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt, 1985.

13. ГОСТ 12.1.038—82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

14. Карякин Р. Н. Тяговые сети переменного тока. 2-е изд. М. Транспорт. 1987.

15. IEC Technical Report 479-1. Effects of current on human beings and livestock. Part 1: General aspects. Third edition. 1994—09.

16. Карякин Р. Н., Солнцев В. И. Использование железобетонных фундаментов производственных зданий в качестве заземлителей. М. Энергоатомиздат. 1988.

17. Карякин Р. Н., Солнцев В. И. Заземляющие устройства промышленных электроустановок. Справочник. М. Энергоатомиздат. 1989.

18. Pollack F. Über das Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung. Nachrichtentechnik. Bd. 3, H. 9, 1926.

19. Carson J. R. Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return. The Bell System Technical Journal. Vol. V, № 4, Oct. 1926.

20. Карякин Р. Н., Билько Б. А., Солюянов Ю. И. Выявление возможности уменьшения сечения 4-й жилы кабеля, используемой в качестве PEN-проводника. Промышленная энергетика, № 4, 1996.

21. Карякин Р. Н., Билько Б. А., Солнцев В. И., Солюянов Ю. И. Экспериментальное исследование токораспределения между элементами PEN-проводника. Промышленная энергетика, № 6, 1996.

5.4. Конструкции заземлителей

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать сооружения, указанные в табл. 5.16.

Железобетонные фундаменты производственных зданий являются одними из наиболее распространенных сооружений, используемых для указанных целей. Типы фундаментов под колонны производственных зданий

представлены в табл. 5.17. Указанные фундаменты охватывают основные типы встречающихся в промышленном строительстве фундаментов: свайные, пирамидальные, ленточные сборные, ленточные монолитные, монолитные сборные. Все типы фундаментов делятся на два вида: один из них предназначен под установку железобетонных колонн, другой — стальных. Оба типа фундаментов имеют стальные каркасы, погруженные в массу бетона. Стальные арматурные стержни отделены от земли защитным слоем бетона, толщина которого устанавливается от 10 до 70 мм. Удельное электрическое сопротивление увлажненного бетона (бетона в незамерзшей земле) $\rho = 150 \div 300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, т. е. на уровне расчетного удельного электрического сопротивления земли.

Таблица 5.16. Естественные заземлители

Естественные заземлители	Расчетные формулы	Рекомендации по проектированию и монтажу
1. Железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений	(3.75) — (3.91)	§ 6.1
2. Технологические, кабельные и совмещенные эстакады промышленных предприятий	(3.92) — (3.95)	§ 6.1
3. Кабельные тоннели промышленных предприятий	(3.92) — (3.95)	§ 6.1
4. Рельсы электрифицированных железных дорог на станциях и перегонах, а также рельсы подъездных путей тяговых подстанций переменного тока	(3.19) — (3.42)	§ 6.1
5. Рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами	(3.19) — (3.32)	§ 6.1
6. Рельсы кранового пути при установке крана на открытом воздухе	(3.92) — (3.95)	§ 6.1
7. Обсадные трубы скважин	(3.64) — (3.74)	—
8. Проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и центрального отопления	(3.64) — (3.74)	—


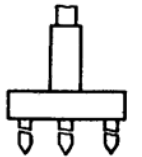
Продолжение табл. 5.16



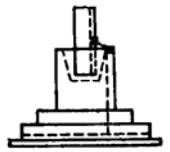
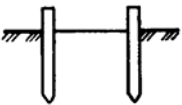

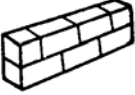
Естественные заземлители	Расчетные формулы	Рекомендации по проектированию и монтажу
9. Заземлители опор ВЛ, соединенные с заземляющим устройством электроустановки при помощи грозозащитного троса ВЛ (если трос не изолирован от опор ВЛ)	(3.3)	—
10. Нулевые провода ВЛ напряжением до 1 кВ с повторными заземлителями при числе ВЛ не менее двух	(3.92) — (3.95)	—
11. Свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле	(3.64) — (3.74)	—
12. Металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, затворы и т. п.	(3.3), (3.4) (3.59) — (3.63)	—

Примечания: 1. Заземлители должны быть связаны с магистралями заземлений не менее чем двумя проводниками, присоединенными к заземлителю в разных местах. Это требование не распространяется на опоры ВЛ, повторное заземление нулевого проводника и металлические оболочки кабелей.

2. Алюминиевые оболочки кабелей не допускается использовать в качестве естественных заземлителей. Если оболочки кабелей служат единственными заземлителями, то в расчете заземляющих устройств они должны учитываться при числе кабелей не менее двух.

Таблица 5.17. Типы фундаментов

Тип фундамента	Конструкция
Ступенчатый на основании естественном	
свайном	

Тип фундамента	Конструкция
Пирамидальный с колонной	
Сборный	
Сборный с колонной	
Свайный	
Ленточный: монолитный	
сборный	

Железнодорожные рельсы. Заземлению на тяговую рельсовую сеть подлежат все конструкции, на которых крепятся провода контактной сети или провода воздушных линий электропередачи, расположенные на опорах контактной сети, независимо от расстояния до проводов и элементов, находя-

щихся под напряжением, а также все другие металлические сооружения, конструкции и устройства, расположенные в опасной зоне, определяемой по рис. 5.6 (зона А).

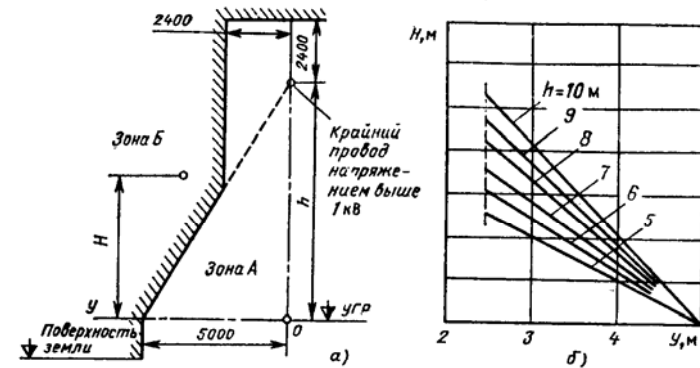


Рис. 5.6. Зоны заземления одиночных объектов, не связанных тяговым электроснабжением (а), и график определения высоты расположения незаземляемых металлических объектов (б):

зона А — заземляются все металлические элементы конструкций; зона Б — металлические элементы конструкций не заземляются. h — высота подвески провода напряжением выше 1 кВ; H — высота расположения незаземляемых металлических элементов конструкций; O — вертикальная проекция крайнего провода контактной сети ВЛ 6 (10) кВ

Тяговая рельсовая сеть должна быть электрически непрерывной от любого участка пути до пунктов присоединения отсасывающих линий тяговых подстанций. От каждого участка тяговой рельсовой сети должен быть обеспечен двухсторонний отвод токов путем соединения его со смежными участками пути, с рельсами параллельных путей через междупутные электрические соединители (перемычки).

Каждая конструкция, электрически представляющая одно целое, должна иметь только одно заземление на тяговую рельсовую сеть. При выполнении этого заземления двумя проводниками расстояние между узлами крепления их к рельсу должно быть не более 200 мм. Не допускается металлически соединять разные конструкции или устройства, если каждое из них имеет заземление на рельсы в разных точках тяговой рельсовой сети.

Заземляющие проводники должны присоединяться к рельсам только механическим способом без применения сварки (рис. 5.7).

Рабочие заземления присоединяются к рельсам с установкой специального зажима и знака-указателя «Опасно. Высокое напряжение» красного цвета с изображенной на нем стрелой, предупреждающего персонал против ошибочных отключений рабочего заземления.

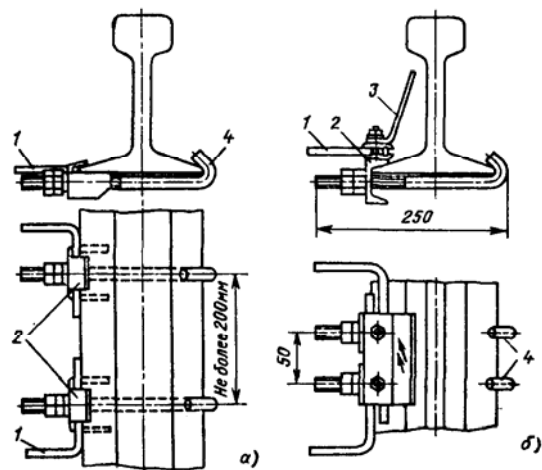


Рис. 5.7. Присоединение к тяговому рельсу проводников защитного (а) и рабочего (б) заземления:

1 — проводник заземления; 2 — зажим заземления; 3 — знак-указатель опасного места; 4 — крючковый болт

Искусственные заземлители состоят из погруженных в землю вертикальных электродов, соединенных стальными полосами или круглой сталью. Установка вертикальных заземлителей показана на рис. 5.8 и 5.9. Длина заземлителей и их число устанавливаются проектом.

Наименьшие размеры стальных заземлителей приведены ниже.

Прямоугольный заземлитель:	
сечение, мм	48
толщина, мм	4
Толщина полки угловой стали, мм	4
Диаметр круглого заземлителя, мм:	
оцинкованного	6
неоцинкованного	10

Для искусственных заземлителей следует применять сталь. Искусственные заземлители не должны окрашиваться. Сечение горизонтальных заземлителей для электроустановок напряжением выше 1 кВ выбирается по термической стойкости, исходя из допустимой температуры нагрева 400°C. Не следует располагать (использовать) заземлители в местах, где земля подсушивается под действием тепла трубопроводов и т. п. Траншеи для горизонтальных заземлителей должны заполняться однородным грунтом, не содержащим щебня и строительного мусора.

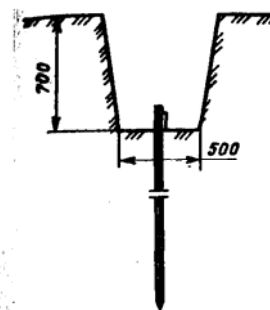


Рис. 5.8. Установка вертикальных заземлителей

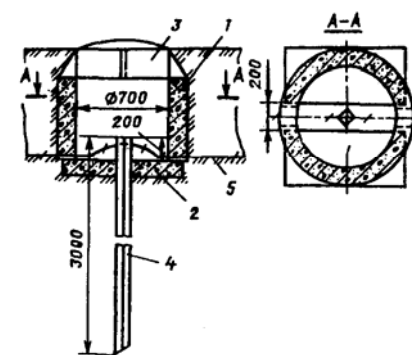


Рис. 5.9. Установка вертикальных заземлителей в бетонном колодце:

1 — бетонный колодец; 2 — бетонное основание; 3 — крышка; 4 — электрод заземления; 5 — проводник заземления

В случае опасности коррозии заземлителей должно выполняться одно из следующих мероприятий: увеличение сечения заземлителей с учетом расчетного срока их службы, применение оцинкованных заземлителей, применение электрической защиты.

Виды соединений заземляющего проводника с заземлителем показаны на рис. 5.10, заземляющих проводников между собой — на рис. 5.11.

Горизонтальные заземлители. Глубина прокладки горизонтальных заземлителей должна быть не менее 700—800 мм. Она определяется зоной промерзания земли. Прокладка горизонтальных заземлителей в грунте показана на рис. 5.12. При наличии на строительной площадке значительного количества строительного мусора и камней засыпка горизонтального заземлителя сначала производится мягкой однородной землей с утрамбовкой на глубину 200 мм,

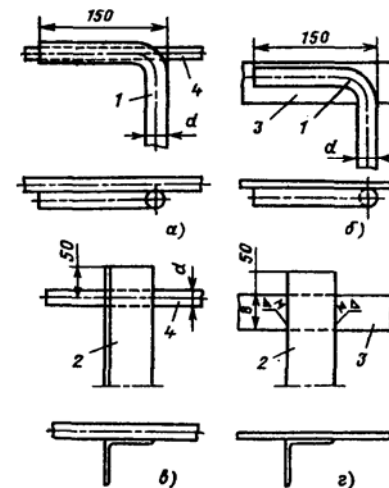


Рис. 5.10. Виды соединений заземляющих проводников с заземлителями:

1 — стержневой заземлитель; 2 — заземлитель из угловой стали; 3 — заземляющий проводник из полосовой стали; 4 — заземляющий проводник из круглой стали

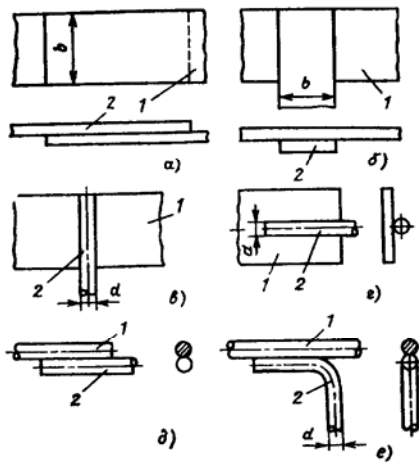


Рис. 5.11. Соединение заземляющих проводников и горизонтальных заземлителей:
a – продольное соединение проводников из полосовой стали; *b* – ответвление проводника из полосовой стали; *c* – ответвление проводника из круглой стали; *d* – продольное соединение проводников из полосовой и круглой стали; *e* – продольное соединение проводников из круглой стали; *e* – ответвление проводника из круглой стали; 1 – стальная полоса; 2 – сталь круглая

теплофицированных и кабельных каналов, кабельных блоков — расположены на глубине менее 500 мм от поверхности земли, то горизонтальный заземлитель должен быть расположен под каналом или блоком. Заземлители, прокладываемые параллельно кабелям или трубопроводам, следует укладывать на расстоянии в свету не менее 0,3—0,35 м, а при пересечениях — не менее 0,1 м.

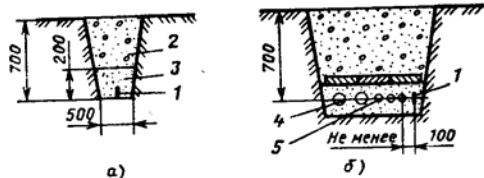


Рис. 5.12. Прокладка горизонтальных заземлителей в земле:
a – в траншее; *b* – то же совместно с кабелем (в настоящее время используется редко); 1 – полоса; 2 – грунт; 3 – мягкий грунт; 4 – силовые кабели; к – контрольные кабели

а затем местным грунтом. Это требование обусловлено усилением локальных коррозионных разрушений, возникающих при обратной засыпке перемешанным грунтом. Горизонтальный заземлитель из полосовой стали укладывается на дно траншеи на ребро. Меньшая глубина прокладки проводника допускается в местах присоединений к оборудованию, при вводе в здание, при пересечениях с подземными сооружениями и в зонах многолетнемерзлых и скальных грунтов. При пересечении горизонтальными заземлителями трасс с подземными сооружениями, автомобильных железных дорог, а также других мест, в которых возможны механические повреждения заземлителей, их защищают металлическими водогазопроводными трубами диаметром 2", а также асбоцементными трубами. Если верхние отметки подземных сооружений —

Вертикальные одиночные заземлители. Преимущественное применение нашли заземлители из круглой стали (стержневые заземлители) и из угловой стали (рис. 5.13). Вертикальные заземлители из угловой стали, как правило, изготавливаются из стали угловой размерами 50 × 50 × 5 и 63 × 63 × 6.

Конструкция и способы погружения вертикальных заземлителей влияют на сопротивление растеканию отдельных электродов и заземляющих устройств в целом. На рис. 5.14 даны графики изменения сопротивления растеканию электродов с различной конструкцией наконечников (табл. 5.18) в зависимости от способа погружения и конструкции заземлителя в глинистых грунтах.

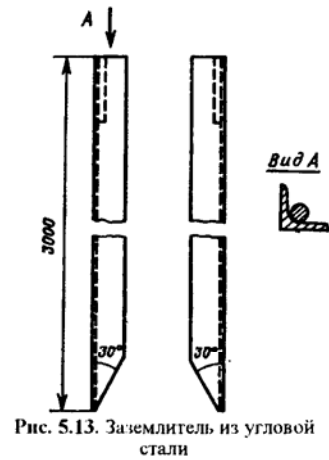


Рис. 5.13. Заземлитель из угловой стали

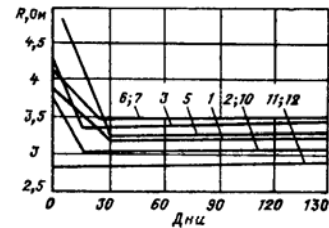


Рис. 5.14. Сопротивление растеканию электродов заземления в зависимости от времени, способа погружения и конструкции наконечника по табл. 5 в глинистых грунтах

Таблица 5.18. Виды наконечников стержневых заземлителей

№ п/п	Конструкция наконечника
1	
2	