

**Р.Н.КАРЯКИН**

доктор техн. наук, профессор

# **СПРАВОЧНИК ПО МОЛНИЕЗАЩИТЕ**

Москва  
Энергосервис  
2005

Автор: доктор технических наук, профессор Карякин Рудольф Николаевич

Справочник содержит сведения, необходимые и достаточные для устройства молниезащиты зданий и сооружений.

Справочник рассчитан на инженеров, связанных с проектированием, строительством, монтажом и эксплуатацией зданий и сооружений, находящихся в них электроустановок и информационно-технологического оборудования, а также — на лиц, отвечающих за электробезопасность и пожарную безопасность зданий и сооружений.

ISBN 5-900835-81-2

Все предложения и замечания по настоящему изданию направлять по адресу: 109147, Москва, а/я №3, ЗАО «Энергосервис».

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть напечатана или переведена на любой язык или воспроизведена в какой бы то ни было иной форме любыми средствами копирования или сохранения информации без письменного разрешения издательства ЗАО «Энергосервис».

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	14
Введение.....	16
В1. Категории молниезащиты.....	16
1. Характеристики интенсивности грозовой деятельности и грозопоражаемости зданий и сооружений.....	21
2. Требования к выполнению молниезащиты зданий и сооружений.....	23
Молниезащита I категории.....	23
Молниезащита II категории.....	29
Молниезащита III категории.....	30
3. Конструкции молниеотводов.....	31
В2. Атмосферное электричество.....	32
Градиент электрического потенциала в атмосфере.....	32
Электрические токи в атмосфере.....	32
Происхождение токов в атмосфере.....	37
Грозы.....	38
Механизм распределения зарядов.....	45
Молния.....	50
Краткие сведения о разрядах молнии и их параметрах.....	54
Характеристики грозовой деятельности.....	57
Количество поражений молнией наземных сооружений.....	59
Опасные воздействия молнии.....	61
В3. Отечественный опыт молниезащиты.....	63
Классификация защищаемых объектов.....	63
Средства и способы молниезащиты.....	65
Защитное действие и зоны защиты молниеотводов.....	67
Подход к нормированию заземлителей молниезащиты.....	71
Примеры исполнения молниезащиты различных объектов.....	73
В4. Зарубежный опыт.....	81
В5. Историческая справка.....	103
1. Культ молнии.....	103
2. Молния убивает.....	103
3. Молния разрушает и сжигает.....	104
4. Молния взрывает.....	105
5. Естественные молниеотводы.....	106
6. Изобретение молниеотвода.....	107

7. Физика молнии.....	111
8. Молниезащита.....	111
В6. Принятая концепция молниезащиты.....	112
<b>Глава 1. Область применения, общие требования к устройству МЗС, терминология, классификация, уровни защиты, параметры тока молнии.....</b>	<b>116</b>
1.1. Область применения, общие требования к устройству МЗС, терминология, классификация проводников.....	116
Общие требования к устройству МЗС.....	116
Терминология.....	125
Классификация проводников.....	138
1.2. Защитный уровень МЗС.....	144
Классификация взрывоопасных зон.....	148
Классификация пожароопасных зон.....	158
Эффективность МЗС.....	162
Связь между категорией молниезащиты и защитным уровнем.....	165
1.3. Параметры тока молнии.....	171
Наибольшие значения параметров тока молнии, используемые для устройства МЗС.....	171
Первый короткий разряд и длинный разряд.....	176
Последующий короткий разряд.....	177
Наименьшие значения параметров тока молний, используемые для оценки молниеприемной способности МЗС.....	178
Форма волны тока молнии.....	179
<b>Глава 2. Молниеприемники.....</b>	<b>183</b>
Электрогеометрический метод расчета МЗС.....	183
Объем расплавленного металла в точке атаки.....	217
<b>Глава 3. Токоотводы.....</b>	<b>219</b>
Расстояние между токоотводами.....	219
Специальные проводники.....	219
Использование проводящих частей в качестве токоотводов.....	221
Использование проводящих частей в качестве единственных токоотводов.....	221
Доступность для осмотра.....	222
Разъединяющие приспособления в цепи токоотводов.....	222
Требования к прокладке токоотводов.....	222
Требования к контактному соединению токоотвода и заземлителя.....	223
Соединение токоотводов.....	223
Обеспечение непрерывности электрической цепи при использовании сторонних проводящих частей в качестве токоотводов.....	224
Создание объединяющего контура с использованием сторонних проводящих частей.....	225

<b>Глава 4. Уравнивание потенциалов.....</b>	<b>226</b>
4.1. Безопасное расстояние.....	226
4.2. Общие требования.....	234
Объединение с основной системой уравнивания потенциалов.....	234
Применение сторонних проводящих частей для уравнивания потенциалов.....	241
Заземление и зануление открытых проводящих частей.....	241
4.3. Взрывоопасные зоны.....	244
4.4. Пожароопасные зоны.....	249
4.5. Распределительные устройства.....	252
4.6. Кабельные сети.....	255
4.7. Воздушные линии электропередачи.....	257
ВЛ напряжением до 1 кВ.....	257
ВЛ напряжением 3-35 кВ.....	258
4.8. Электрические машины.....	260
4.9. Отдельные аппараты, щитки, шкафы и ящики с электрооборудованием напряжением до 1 кВ.....	261
4.10. Краны.....	262
4.11. Лифты.....	263
4.12. Электролизные установки и установки гальванических покрытий.....	265
Область применения.....	265
Определения. Состав установок.....	266
Общие требования.....	267
Основная система уравнивания потенциалов и изолирующие помещения, зоны и площадки.....	268
Установки электролиза воды и водных растворов.....	270
Установки электролиза магния.....	271
Установки электролиза алюминия.....	271
Установки электролитического рафинирования алюминия.....	276
Электролизные установки ферросплавного производства.....	276
Установки гальванических покрытий.....	276
4.13. Стесненные помещения с проводящим полом, стенами и потолком.....	277
4.14. Переносные электроприемники.....	279
4.15. Электрическое освещение.....	280
Общие требования.....	280
Выполнение и защита осветительных сетей.....	282
Защитные меры безопасности.....	283
Внутреннее освещение. Общие требования.....	284
Выполнение и защита сетей наружного освещения.....	285
Осветительные приборы.....	285

Глава 5. Защита от электромагнитного влияния молнии.....	286
5.1. Электромагнитное влияние.....	286
Гальваническое влияние.....	286
Магнитное влияние.....	286
Электрическое влияние.....	287
5.2. Приближенный расчет волновых перенапряжений, вызванных п.у.м. в сооружение.....	287
5.3. Молниезащитные зоны.....	293
Молниезащитная зона $0_A$ (МЗЗ $0_A$ ).....	293
Молниезащитная зона $0_B$ (МЗЗ $0_B$ ).....	293
Молниезащитная зона 1 (МЗЗ 1).....	293
Последующие зоны (МЗЗ 2 и т.д.).....	293
5.4. Уравнивание потенциалов на границах МЗЗ.....	300
Уравнивание на границе между молниезащитными зонами $0_A$ , $0_B$ и 1.....	300
Уравнивание на границе между последующими молниезащитными зонами.....	305
5.5. Уравнивание потенциалов оборудования внутри защищаемого пространства.....	307
Уравнивание потенциалов внутренних проводящих частей.....	307
Уравнивание потенциалов информационных систем.....	307
5.6. Защита от влияния токов, индуцированных во внутренних установках при п.у.м. в здание.....	310
Глава 6. Экранирующие свойства зданий и сооружений.....	314
6.1. Термины и определения.....	314
6.2. Условные обозначения.....	315
6.3. Электромагнитная обстановка в здании при п.у.м.....	316
6.4. Сетчатые пространственные экраны.....	319
6.5. Оценка экранирующего действия пространственного каркаса.....	319
Случай близкого удара молнии.....	319
Случай прямого удара молнии в произвольную точку крыши здания.....	324
6.6. Сетчатые экраны, окружающие МЗЗ $\geq 2$ .....	325
6.7. Экспериментальная оценка магнитного поля внутри сетчатого пространственного экрана.....	325
6.8. Расчет индуцированных напряжений и токов в цепях, подверженных влиянию.....	325
Случай близкого удара молнии.....	326
Случай п.у.м. в здание.....	329
6.9. Электромагнитная обстановка внутри МЗЗ $\geq 2$ .....	330
6.10 Условия эффективного экранирования.....	331
6.11. Результаты расчетов магнитного поля внутри сетчатых магнитных экранов.....	337
6.12. Список литературы к главе 6.....	341

Глава 7. Заземляющие и защитные проводники.....	343
7.1. Расчет заземляющих проводников.....	343
7.2. Учет проводимости СПЧ и ОПЧ, шунтирующих PEN-проводник.....	348
7.3. Нормативные рекомендации.....	379
А. Защитные проводники.....	379
Специальные проводники.....	379
Использование проводящих частей в качестве РЕ- и PEN-проводников.....	379
Использование проводящих частей в качестве единственных РЕ-проводников.....	380
Электрическое сопротивление защитных проводников.....	380
Использование сторонних проводящих частей и открытых проводящих частей в качестве PEN-проводников.....	386
Доступность для осмотра.....	387
Наименьшие размеры заземляющих проводников.....	388
Площадь поперечного сечения защитных проводников.....	389
Сечение заземляющих проводников в электроустановках выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью.....	395
Сечение заземляющих проводников в электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью.....	395
Выбор защитных проводников по условию нагрева при коротком замыкании.....	395
Проводимость нулевого защитного проводника.....	396
Учет проводимости проводящих частей, шунтирующих четвертую жилу кабеля.....	396
Обеспечение непрерывности электрической цепи, образованной сторонними проводящими частями.....	397
Изоляция PEN-проводников.....	397
Разъединяющие приспособления и предохранители в цепи PEN-проводников.....	399
Требования к прокладке защитных проводников.....	399
Б. Соединение и присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников (РЕ- и PEN-проводников).....	400
Главный заземляющий зажим.....	400
Требования к контактному соединению заземляющего проводника и заземлителя.....	401
Соединение защитных проводников.....	401
Обеспечение непрерывности электрической цепи при использовании сторонних проводящих частей в качестве PEN-проводников.....	402
Создание объединяющего контура с использованием сторонних проводящих частей.....	402

Соединение открытых проводящих частей.....	403	Вынос потенциала. ....	437
Места и способы соединения заземляющих и защитных проводников.....	404	8.4. Электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью.....	438
Использование естественных контактов.....	404	Принцип нормирования.....	438
Штепсельные соединители для переносных электроприемников.....	405	Напряжение на заземляющем устройстве.....	438
Присоединение защитных проводников к сторонним проводящим частям.....	406	Сопротивление заземляющего устройства.....	438
7.4. Монтаж заземляющих и защитных проводников.....	406	Напряжение прикосновения.....	438
7.5. Список литературы к главе 7.....	417	Устройство для быстрого отыскания замыкания на землю.....	439
Глава 8. Заземляющие устройства зданий и сооружений.....	419	Время действия защиты.....	439
8.1. Общие сведения.....	419	Расчетный ток при повреждении.....	440
Заземление электрооборудования, установленного на опорах ВЛ.....	421	Выравнивание потенциала.....	440
Заземление опор ВЛ.....	421	8.5. Электроустановки напряжением до 1 кВ сети с заземленной нейтралью.....	441
Использование естественных заземляющих устройств.....	424	Повторное заземление PEN-проводника.....	442
Объединение заземляющих устройств.....	424	8.6. Электроустановки напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью (система IT).....	443
Удельное сопротивление земли.....	425	Заземление открытых проводящих частей.....	443
Режим нейтрали электроустановок напряжением выше 1 кВ.....	425	Сопротивление заземляющего устройства.....	444
Режим нейтрали электроустановок до 1 кВ.....	426	Условия отключения питания при втором замыкании.....	444
Зануление и устройства защиты.....	426	8.7. Расчет заземлителей.....	446
Применение электроустановок до 1 кВ с изолированной нейтралью.....	426	Удельное электрическое сопротивление земли.....	446
Заземление электроустановок выше 1 кВ с изолированной нейтралью.....	428	Расчетные модели заземлителей.....	452
8.2. Электроустановки в районах с удельным сопротивлением горных пород более 500 Ом·м.....	428	Сопротивление одиночных заземлителей.....	457
Использование естественных протяженных заземлителей.....	429	Сопротивление сложных заземлителей.....	458
Нормативные требования к совмещенным заземляющим устройствам.....	429	Приближенный расчет сопротивления контурного заземлителя.....	463
8.3. Электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью.....	431	Переходное сопротивление рельсы — земля.....	464
Принцип нормирования.....	431	Распределение потенциала земли в ближней зоне.....	469
Напряжение на заземляющем устройстве.....	431	Входное сопротивление заземляющего устройства.....	471
Сопротивление заземляющего устройства.....	431	Сопротивление растеканию заземлителей в неоднородных структурах.....	473
Выравнивание потенциалов.....	432	Распределение потенциала земли в зоне растекания тока с заземлителей.....	483
Напряжение прикосновения.....	433	Особенности расчета заземляющих свойств строительных конструкций.....	487
Размещение горизонтальных заземлителей.....	434	Особенности использования железобетонных фундаментов зданий в качестве заземлителей в агрессивных средах.....	504
Дополнительные требования к конструктивному выполнению заземляющего устройства.....	434	Особенности расчета протяженных заземлителей.....	512
Внешняя ограда.....	435	Входное сопротивление протяженного заземлителя в неоднородных структурах.....	512
Выравнивание потенциалов вокруг производственных зданий.....	436	Молниезащитные свойства обсадной трубы буровой скважины.....	526
		8.8. Нормативные рекомендации.....	537

Естественные заземлители.....	537	Начальное сопротивление тела ( $R_p$ ).....	676
Предельно допустимые токи заземлителя.....	544	Значения полного сопротивления тела ( $Z_p$ ).....	676
Обходные защитные проводники.....	544	Воздействие тока на кожу.....	682
Предельно допустимая плотность тока, стекающего с арматуры железобетонного фундамента.....	545	Значение начального сопротивления тела ( $R_p$ ).....	684
Использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей в агрессивных средах.....	547	Зависимость сопротивления тела от площади контактной поверхности при переменном токе 50 Гц и при постоянном токе.....	684
Искусственные заземлители.....	547	Влияние переменного тока.....	687
Заземлители для особых условий.....	561	Порог ощущения.....	687
8.9. Конструктивное исполнение заземляющих устройств.....	562	Порог отпускания.....	687
Конструкции искусственных заземляющих устройств.....	562	Порог вентрикулярной фибрилляции.....	687
Конструктивное исполнение естественных заземляющих устройств.....	571	Коэффициент сердечного тока ( $F$ ).....	690
8.10. Монтаж заземляющих устройств.....	601	Влияние выпрямленного тока.....	691
Монтаж естественных заземляющих устройств.....	601	Список литературы к разделу 9.3.1.....	692
Монтаж искусственных заземляющих устройств.....	602	9.3.2. Статистика смертельного электротравматизма в электроустановках.....	695
Механизация работ по монтажу заземлителей.....	606	9.3.3. Предельно допустимые значения токов и напряжений прикосновения.....	699
8.11. Измерение электрических параметров заземляющих устройств.....	612	Предельно допустимое значение потенциала при замыкании.....	702
Измерение электрического сопротивления земли.....	612	Напряжение прикосновения.....	703
Аппаратура для проведения ВЭЗ.....	615	9.3.4. Нормативные требования.....	716
Программное обеспечение для обработки и интерпретации ВЭЗ.....	618	Неаварийный режим электроустановки.....	717
Измерение сопротивления растеканию заземляющих устройств.....	622	Аварийный режим электроустановки.....	718
Измерение напряжения прикосновения.....	627	Список литературы к разделам 9.3.2-9.3.4.....	720
Приборы для измерения электрических параметров заземляющих устройств.....	636	9.4. Общие требования электробезопасности электроустановок.....	722
Требования безопасности при производстве измерений.....	637	Основное правило устройства электроустановок.....	722
8.12. Список литературы к главе 8.....	638	Заземление электроустановок.....	725
Глава 9. Электромагнитная совместимость электроустановок и ИТО зданий при п.ум.....	642	Виды защиты от поражения электрическим током.....	727
9.1. Термины и определения. Классификация электроустановок и помещений.....	642	Основная защита.....	728
9.2. Система заземления электроустановок.....	655	Защита при повреждении.....	729
9.3. Критерии электробезопасности.....	670	Дополнительная защита.....	729
9.3.1. Первичные критерии электробезопасности.....	670	Оптимизация защиты в распределительных сетях.....	732
Определения.....	670	Характеристики присоединенного оборудования.....	735
Электрическое сопротивление тела человека.....	671	Применение УЗО-Д в качестве дополнительной защиты в электроустановках до 1 кВ.....	737
Внутреннее сопротивление тела ( $Z$ ).....	672	Защита сети до 1 кВ с изолированной нейтралью.....	737
Сопротивление кожи ( $Z_p$ ).....	675	Применение оборудования класса II.....	737
Полное сопротивление тела человека ( $Z_r$ ).....	675	Применение изолирующих оболочек.....	738
		Электрическое разделение цепей.....	740
		Системы БСНН и ЗСНН.....	742
		Особенности выполнения системы БСНН.....	743
		Особенности выполнения системы ЗСНН.....	744
		Система ФСНН.....	745
		Вилки и штепсельные розетки.....	746

Условия применения других мер защиты.....	746	Объединение рабочих заземляющих и защитных проводников....	815
Ограждения и оболочки.....	746	Сигнальные соединения.....	815
Барьеры.....	747	Способы заземления и уравнивания потенциалов для	
Размещение вне зоны досягаемости.....	747	обеспечения электротрагматной совместимости.....	816
Изолирующие площадки.....	749	Дополнительные требования для оборудования с токами	
Изолирующие помещения.....	749	утечки, превышающими 3,5 мА.....	818
9.5. Особенности систем TN-C, TN-C-S, TN-S.....	751	Дополнительные требования для электроустановок, питающих	
9.5.1. Системы TN (зануление).....	751	оборудование с токами утечки, превышающими 10 мА.....	819
Система TN-C.....	751	Защитные проводники увеличенного сечения.....	819
Система TN-S.....	753	Дополнительные требования для системы TT.....	820
Система TN-C-S.....	755	Дополнительные требования для системы IT.....	821
Напряжение в системе TN при повреждении изоляции.....	758	Требования к системе уравнивания потенциалов с низкими	
9.5.2. Система TT.....	761	помехами.....	821
Защитное заземление с устройствами защиты от сверхтоков.....	762		
Защитное заземление с УЗО-Д.....	764	Глава 10. Оценка эффективности молниезащиты.....	822
Напряжения в системе TT при замыкании.....	764	10.1. Термины и определения.....	823
9.5.3. Общие требования.....	768	10.2. Оценка ожидаемого ущерба.....	824
Заземление нейтрали.....	768	Общее выражение.....	824
PEN-проводник.....	769	Частота п.у.м.....	824
Устройства защиты.....	770	Частота не прямых ударов молнии.....	827
Применение защиты, реагирующей на дифференциальный		Вероятность повреждения.....	831
ток.....	770	Типы и причины ущерба.....	831
Характеристики устройств защиты.....	771	Частота ущерба, обусловленного ударами молнии.....	838
Использование проводящих частей в качестве		10.3. Принятая частота поражения молнией сооружения.....	841
PEN-проводника.....	772	10.4. Порядок выбора защитных мер.....	842
Дополнительная защита от сверхтока.....	773	10.5. Оценка вероятности поражения человека при п.у.м. в здание....	847
Сопrotивление заземлителя нейтрали.....	773	Распределение плотности энергии в опасной зоне.....	847
Предельно допустимые перенапряжения.....	776	Энергия импульса, вызывающего вентрикулярную	
9.6. Особенности системы IT.....	779	фибрилляцию.....	850
Особенности применения УЗО-Д в системе IT.....	779	Меры снижения риска поражения.....	852
Напряжение по отношению к земле.....	779	10.6. Пример оценки риска ущерба, вызванного молнией.....	861
Единственное повреждение изоляции.....	785	10.7 Список литературы к главе 10.....	866
Защитное отделение.....	787		
Использование УЗО-Д в системе IT.....	793	Послесловие.....	869
9.7. Требования электромагнитной совместимости.....	798	Список действующих нормативных документов.....	870
9.7.1. Защита от электромагнитных влияний.....	798	Стандарты Международной Электротехнической Комиссии,	
Меры снижения электромагнитных влияний.....	798	относящиеся к молниезащите зданий.....	872
Особенности защиты устройств передачи информации.....	800	Стандарты Международной Электротехнической Комиссии,	
9.7.2. Информационно-технологические установки.....	808	относящиеся к устройству электроустановок зданий.....	872
Информационно-технологическое оборудование.....	808	Стандарты Международной Электротехнической Комиссии,	
Главный заземляющий зажим.....	812	относящиеся к устройству специальных электроустановок.....	874
Электромагнитная несовместимость информационно-			
технологических установок и PEN-проводников зданий.....	814	Дополнительная литература.....	875
Уравнивание потенциалов.....	814		
Рабочие заземляющие проводники.....	815		