

Р. Н. КАРЯКИН

УСТРОЙСТВО  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ЗДАНИЙ

СПРАВОЧНИК

ББК 29.5-08  
К 27  
УДК 621.313.004.24 (083.13)

Автор: доктор технических наук, профессор Карякин Рудольф Николаевич

Справочник содержит нормативные рекомендации по устройству электробезопасных электроустановок производственных зданий. Нормативные рекомендации соответствуют современной концепции электробезопасности. Использование этих рекомендаций позволяет создавать безопасные промышленные электроустановки, отвечающие требованиям ПУЭ-7 изд. и ГОСТ Р 50571 (МЭК 60364). Рекомендации дополнены характерными техническими решениями по использованию заземляющих, зануляющих, экранирующих, уравнивающих и молниезащитных свойств производственных зданий и сооружений для обеспечения электромагнитной совместимости электроустановок и информационно-технологического оборудования.

Кроме общих нормативных рекомендаций по устройству электроустановок производственных зданий, даны согласующиеся с требованиями гл. 1.7 ПУЭ-7 изд., ГОСТ Р 50571 и стандартов МЭК: 60364; 61024; 61312 — специальные нормативные рекомендации по устройству электротермических, электросварочных, электролизных установок, а также — электроустановок в пожароопасных и взрывоопасных зонах.

Справочник адресован инженерам-электроэнергетикам, связанным с проектированием, монтажом и эксплуатацией электроустановок основных отраслей промышленности, и может быть рекомендован преподавателям и студентам, которым предстоит создавать и эксплуатировать промышленные электроустановки в XXI веке.

ISBN 5-900835-70-7

Все предложения и замечания по настоящему изданию прошу 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».

ISBN 5-900835-70-7

© ЗАО «Энергосервис», 2004

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	12
Введение .....	24
<b>Глава 1. Область применения, терминология, классификация, системы заземления электроустановок, критерии электробезопасности, общие требования электробезопасности .....</b>	<b>30</b>
1.1. Область применения, терминология, классификация .....	30
1.2. Системы заземления электроустановок .....	50
1.3. Критерии электробезопасности .....	66
1.3.1. Первичные критерии электробезопасности .....	66
Определения .....	66
Электрическое сопротивление тела человека .....	67
Внутреннее сопротивление тела ( $Z$ ) .....	68
Сопротивление кожи ( $Z_p$ ) .....	68
Полное сопротивление тела человека ( $Z_T$ ) .....	71
Начальное сопротивление тела ( $R_0$ ) .....	71
Значения полного сопротивления тела ( $Z_T$ ) .....	71
Воздействие тока на кожу .....	77
Значение начального сопротивления тела ( $R_0$ ) .....	79
Зависимость сопротивления тела от площади контактной поверхности при переменном токе 50 Гц и при постоянном токе .....	79
Влияние переменного тока .....	82
Порог ощущения .....	82
Порог отпускания .....	82
Порог вентрикулярной фибрилляции .....	82
Коэффициент сердечного тока ( $F$ ) .....	85
Влияние выпрямленного тока .....	86
Список литературы к разделу 1.3.1 .....	87
1.3.2. Статистика смертельного электротравматизма в электроустановках .....	90
1.3.3. Предельно допустимые значения токов и напряжений прикосновения .....	93
Предельно допустимое значение потенциала при замыкании .....	96
Напряжение прикосновения .....	97
1.3.4. Нормативные требования .....	109
Неаварийный режим электроустановки .....	110
Аварийный режим электроустановки .....	111
Список литературы к разделам 1.3.2-1.3.4 .....	113

1.4. Общие требования электробезопасности электроустановок	116
Основное правило устройства электроустановок	116
Заземление электроустановок	119
Заземление электрооборудования, установленного на опорах ВЛ	121
Заземление опор ВЛ	121
Использование естественных заземляющих устройств	122
Объединение заземляющих устройств	123
Удельное сопротивление земли	123
Режим нейтрали электроустановок напряжением выше 1 кВ	123
Режим нейтрали электроустановок до 1 кВ	124
Зануление и устройства защиты	126
Применение электроустановок до 1 кВ с изолированной нейтралью	126
Заземление электроустановок выше 1 кВ с изолированной нейтралью	126
Виды защиты от поражения электрическим током	127
Основная защита	128
Защита при повреждении	128
Дополнительная защита	129
Оптимизация защиты в распределительных сетях	130
Характеристики присоединенного оборудования	135
Применение УЗО-Д в качестве дополнительной защиты в электроустановках до 1 кВ	136
Защита сети до 1 кВ с изолированной нейтралью	136
Применение оборудования класса II	136
Применение изолирующих оболочек	137
Электрическое разделение цепей	138
Системы БСНН и ЗСНН	141
Особенности выполнения системы БСНН	142
Особенности выполнения системы ЗСНН	143
Система ФСНН	144
Вилки и штепсельные розетки	145
Условия применения других мер защиты	145
Ограждения и оболочки	145
Барьеры	146
Размещение вне зоны досягаемости	146
Изолирующие площадки	147
Изолирующие помещения	148
Глава 2. Уравнивание потенциалов	150
2.1. Общие требования	154

Объединение с основной системой уравнивания потенциалов .....	154
Применение сторонних проводящих частей для уравнивания потенциалов .....	155
Заземление и зануление открытых проводящих частей .....	157
Молниезащита .....	159
Взрывоопасные зоны .....	168
Электромагнитная совместимость .....	172
Меры снижения электромагнитных влияний .....	172
Особенности защиты устройств передачи информации .....	174
2.2. Информационно-технологические установки .....	182
Классификация проводников .....	182
Информационно-технологическое оборудование .....	184
Главный заземляющий зажим .....	189
Электромагнитная несовместимость информационно-технологических установок и PEN-проводников зданий .....	192
Уравнивание потенциалов .....	193
Рабочие заземляющие проводники .....	193
Объединение рабочих заземляющих и защитных проводников .....	193
Сигнальные соединения .....	194
Способы заземления и уравнивания потенциалов для обеспечения электромагнитной совместимости .....	194
Дополнительные требования для оборудования с токами утечки, превышающими 3,5 мА .....	195
Дополнительные требования для электроустановок, питающих оборудование с токами утечки, превышающими 10 мА .....	196
Защитные проводники увеличенного сечения .....	196
Дополнительные требования для системы ТТ .....	198
Дополнительные требования для системы IT .....	198
Требования к системе уравнивания потенциалов с низкими помехами .....	199
2.3. Распределительные устройства .....	199
2.4. Кабельные сети .....	203
2.5. Воздушные линии электропередачи .....	204
ВЛ напряжением до 1 кВ .....	204
ВЛ напряжением 3-35 кВ .....	206
2.6. Электрические машины .....	207
2.7. Отдельные аппараты, щитки, шкафы и ящики с электрооборудованием напряжением до 1 кВ .....	208
2.8. Краны .....	209

2.9. Лифты .....	211
2.10. Электротермические установки .....	213
Область применения .....	213
Определения .....	214
Общие требования .....	215
Изолирующие площадки .....	221
Защита печных трансформаторов .....	222
Основная система уравнивания потенциалов .....	223
2.11. Электросварочные установки .....	223
Область применения .....	223
Определения .....	224
Общие требования .....	224
Обратный проводник .....	228
Питание от разделяющего трансформатора .....	229
Изолирующие площадки .....	229
Основная система уравнивания потенциалов .....	230
2.12. Электролизные установки и установки гальванических покрытий .....	230
Область применения .....	230
Определения. Состав установок .....	230
Общие требования .....	232
Основная система уравнивания потенциалов и изолирующие помещения, зоны и площадки .....	232
Установки электролиза воды и водных растворов .....	235
Установки электролиза магния .....	236
Установки электролиза алюминия .....	236
Установки электролитического рафинирования алюминия .....	241
Электролизные установки ферросплавного производства .....	241
Установки электролиза меди .....	241
Установки гальванических покрытий .....	241
<b>Глава 3. Электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью .....</b>	<b>242</b>
Принцип нормирования .....	242
Напряжение на заземляющем устройстве .....	242
Сопrotивление заземляющего устройства .....	242
Выравнивание потенциалов .....	243
Напряжение прикосновения .....	244
Размещение горизонтальных заземлителей .....	245
Дополнительные требования к конструктивному выполнению заземляющего устройства .....	245
Внешняя ограда .....	246

Выравнивание потенциалов вокруг производственных зданий ..	247
Вынос потенциала .....	248
<b>Глава 4. Электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью .....</b>	<b>249</b>
Принцип нормирования .....	249
Напряжение на заземляющем устройстве .....	249
Сопrotивление заземляющего устройства .....	249
Напряжение прикосновения .....	250
Устройство для быстрого отыскания замыкания на землю .....	250
Время действия защиты .....	251
Расчетный ток при повреждении .....	251
Выравнивание потенциала .....	252
<b>Глава 5. Электроустановки напряжением до 1 кВ сети с заземленной нейтралью .....</b>	<b>253</b>
5.1. Особенности систем TN-C, TN-C-S, TN-S .....	253
Система TN (защитное заземление нейтрали) .....	253
Система TN-C .....	253
Система TN-S .....	255
Система TN-C-S .....	257
Напряжение в системе TN при повреждении изоляции .....	260
5.2. Система TT .....	263
Защитное заземление с устройствами защиты от сверхтоков .....	263
Защитное заземление с УЗО-Д .....	265
Напряжение в системе TT при замыкании .....	267
5.3. Общие требования .....	269
Заземление нейтрали .....	269
PEN-проводник .....	270
Устройства защиты .....	271
Применение защиты, реагирующей на дифференциальный ток .....	271
Характеристики устройств защиты .....	272
Использование проводящих частей в качестве PEN-проводника .....	273
Дополнительная защита от сверхтока .....	274
Сопrotивление заземлителя нейтрали .....	274
Повторное заземление PEN-проводника .....	278
Предельно допустимые перенапряжения .....	279
5.4. Электроустановки в пожароопасных зонах .....	282
Область применения .....	282

Определения. Общие требования .....	282
Электрические машины .....	283
Электрические аппараты и приборы .....	283
Электрические грузоподъемные механизмы .....	285
Распределительные устройства, трансформаторные и преобразовательные подстанции .....	285
Электрические светильники .....	285
Электропроводки, токопроводы, кабельные линии .....	286
Защитные меры безопасности .....	289
Системы, обеспечивающие безопасность .....	292
Особые требования к системам, обеспечивающим безопасность, имеющим источники питания, не допускающие параллельной работы .....	295
Особые требования к системам, обеспечивающим безопасность, имеющим источники питания, допускающие параллельную работу .....	296
5.5. Стесненные помещения с проводящим полом, стенами и потолком .....	296
5.6. Переносные электроприемники .....	298
5.7. Электрическое освещение .....	299
Общие требования .....	299
Выполнение и защита осветительных сетей .....	301
Защитные меры безопасности .....	302
Внутреннее освещение. Общие требования .....	304
Выполнение и защита сетей наружного освещения .....	304
Осветительные приборы .....	304
5.8. Передвижные электроустановки .....	305
<b>Глава 6. Электроустановки напряжением до 1 кВ сети с изолированной нейтралью (система IT) .....</b>	<b>314</b>
Особенности применения УЗО-Д в системе IT .....	314
Напряжение по отношению к земле .....	314
Единственное повреждение изоляции .....	320
Защитное отделение .....	322
Использование УЗО-Д в системе IT .....	328
Заземление открытых проводящих частей .....	333
Сопротивление заземляющего устройства .....	333
Условия отключения питания при втором замыкании .....	334
<b>Глава 7. Заземляющие и нулевые защитные проводники (PE- и PEN-проводники) .....</b>	<b>336</b>
Расчет заземляющих и зануляющих проводников .....	336



Учет проводимости СПЧ и ОПЧ, шунтирующих PEN-проводник .....	341
Нормативные рекомендации .....	371
<b>А. Защитные проводники .....</b>	<b>371</b>
Специальные проводники .....	371
Использование проводящих частей в качестве PE- и PEN-проводников .....	371
Использование проводящих частей в качестве единственных PE-проводников .....	372
Электрическое сопротивление защитных проводников .....	372
Использование сторонних проводящих частей и открытых проводящих частей в качестве PEN-проводников .....	378
Доступность для осмотра .....	379
Наименьшие размеры заземляющих проводников .....	379
Площадь поперечного сечения защитных проводников .....	380
Сечение заземляющих проводников в электроустановках выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью .....	386
Сечение заземляющих проводников в электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью .....	387
Выбор защитных проводников при условии нагрева при коротком замыкании .....	387
Проводимость нулевого защитного проводника .....	388
Учет проводимости проводящих частей, шунтирующих четвертую жилу кабеля .....	388
Обеспечение непрерывности электрической цепи, образованной сторонними проводящими частями .....	389
Изоляция PEN-проводников .....	389
Разъединяющие приспособления и предохранители в цепи PEN-проводников .....	391
Требования к прокладке защитных проводников .....	391
<b>Б. Соединение и присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников (PE- и PEN-проводников) .....</b>	<b>392</b>
Главный заземляющий зажим .....	392
Требования к контактному соединению заземляющего проводника и заземлителя .....	393
Соединение защитных проводников .....	393
Обеспечение непрерывности электрической цепи при использовании сторонних проводящих частей в качестве PEN-проводников .....	394
Создание объединяющего контура с использованием сторонних проводящих частей .....	394

Соединение открытых проводящих частей .....	395
Места и способы соединения заземляющих и защитных проводников .....	396
Использование естественных контактов .....	396
Штепсельные соединители для переносных электроприемников .....	397
Присоединение защитных проводников к сторонним проводящим частям .....	398
Монтаж заземляющих и нулевых защитных проводников ....	398
<b>Глава 8. Устройство заземлителей и заземляющие устройства .....</b>	<b>411</b>
Удельное электрическое сопротивление земли .....	411
Расчетные модели заземлителей .....	417
Сопротивление одиночных заземлителей .....	422
Сопротивление сложных заземлителей .....	423
Расчет сопротивления контурного заземлителя .....	428
Переходное сопротивление рельсы — земля .....	429
Распределение потенциала земли в ближней зоне .....	434
Входное сопротивление заземляющего устройства .....	435
Сопротивление растеканию заземлителей в неоднородных структурах .....	437
Распределение потенциала земли в зоне растекания тока с заземлителей .....	447
Особенности расчета заземляющих свойств строительных конструкций .....	451
Особенности использования железобетонных фундаментов зданий в качестве заземлителей в агрессивных средах .....	467
Особенности расчета протяженных заземлителей .....	474
Входное сопротивление протяженного заземлителя в неоднородных структурах .....	474
Молниезащитные свойства обсадной трубы буровой скважины .....	487
Естественные заземлители .....	498
Предельно допустимые токи заземлителя .....	504
Обходные защитные проводники .....	505
Предельно допустимая плотность тока, стекающего с арматуры железобетонного фундамента .....	505
Использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей в агрессивных средах .....	508
Искусственные заземлители .....	508
Заземлители для особых условий .....	519

Конструкции искусственных заземляющих устройств .....	523
Конструктивное исполнение естественных заземляющих устройств .....	532
Монтаж естественных заземляющих устройств .....	562
Монтаж искусственных заземляющих устройств .....	563
Механизация работ по монтажу заземлителей .....	577
Измерение электрического сопротивления земли .....	583
Измерение сопротивления растеканию заземляющих устройств .....	586
Измерение напряжения прикосновения .....	591
Приборы для измерения электрических параметров заземляющих устройств .....	600
Требования безопасности при производстве измерений .....	601
Список литературы к главе 8 .....	602
<b>Глава 9. Электроустановки в районах с удельным сопротивлением горных пород более 500 Ом·м .....</b>	<b>606</b>
Использование естественных протяженных заземлителей .....	606
Аппаратура для проведения ВЭЗ .....	607
Программное обеспечение для обработки и интерпретации ВЭЗ .....	610
<i>Приложение 1. Предельно допустимые расстояния между опорными конструкциями при открытой прокладке кабелей до 10 кВ с алюминиевой оболочкой .....</i>	<i>613</i>
<i>Приложение 2. Причины повреждений и меры защиты свинцовых оболочек открыто проложенных кабелей напряжением до 10 кВ .....</i>	<i>622</i>
Послесловие .....	632
Список действующих нормативных документов .....	633
Стандарты Международной Электротехнической Комиссии (IEC), относящиеся к устройству электроустановок зданий ..	635
Стандарты Международной Электротехнической Комиссии (IEC), относящиеся к устройству специальных электроустановок .....	637
Дополнительная литература .....	638