

**Г.М. Петров**

**ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ  
ОБЪЕКТОВ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
ГОРОДСКИХ  
ПОДЗЕМНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области  
горного дела в качестве учебника для студентов горных  
вузов и факультетов, обучающихся по специальности  
«Электропривод и автоматика промышленных установок  
и технологических комплексов» (квалификация — горный  
инженер) направления подготовки «Электротехника,  
электромеханика и электротехнологии»*



**МОСКВА**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»**

**♦ ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
2011**

УДК 621.31:622(075.08)

ББК 31.33

П 30

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253–03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124–94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.10*

*Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области горного дела (письмо № 51-75/6 от 30.06.2009)*

#### **Рецензенты:**

- кафедра «Механизация и автоматизация горных и геологоразведочных работ» Российского государственного геологоразведочного университета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. В.В. Алексеев; д-р техн. наук, проф. Ю.В. Шевырев);
- д-р техн. наук, зав. отделом А.Т. Ерыгин (ИПКОН РАН)

#### **Петров Г.М.**

П 30 Электрификация объектов при строительстве городских подземных сооружений: Учебник. — М.: издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2011. — 522 с.: ил. (ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА)

ISBN 978-5-98672-234-4 (в пер.)

ISBN 978-5-7418-0668-5

Описаны принципы электроснабжения и построения схем распределения электроэнергии на предприятиях, строящих городские подземные сооружения. Приведены краткие характеристики основного электрооборудования, применяемого при электрификации строительных площадок поверхностного и подземного комплексов. Изложены основные данные по выбору, расчету и защите кабельных линий и оборудования. Рассмотрены основы электробезопасности, энергетические показатели и показана организация эксплуатации электрохозяйства городских подземных сооружений.

Г.М. Петров – канд. техн. наук, проф. (кафедра «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий» Московского государственного горного университета).

Для студентов горных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» (квалификация – горный инженер) направления подготовки «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

УДК 621.31:622(075.08)

ББК 31.33

ISBN 978-5-98672-234-4

ISBN 978-5-7418-0668-5



9 785986 722344

© Г.М. Петров, 2011

© Издательство «Горная книга», 2011

© Издательство МГГУ, 2011

© Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2011

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Электрификация в настоящее время играет существенную роль в развитии всех отраслей народного хозяйства, во всем современном научно-техническом прогрессе.

Электрификация предприятий строительства городских подземных сооружений имеет важное значение как основная энергетическая база комплексной механизации и автоматизации горных работ. Современные предприятия городского подземного строительства являются крупными потребителями электрической энергии, имеющими характерные особенности, связанные с условиями работы машин и механизмов в подземных условиях (в некоторых случаях газовая среда, большая водообильность и ряд других специфических горно-геологических факторов). Специфика условий подземных выработок строительства городских подземных сооружений обусловила ряд специальных требований к электроснабжению предприятий, к исполнению электрооборудования, применяемого в подземных горных выработках. Это в свою очередь потребовало решения многих проблем, связанных с безопасным применением электрической энергии в подземных выработках, с защитой персонала от поражения электрическим током и т.п. Разработаны, созданы и внедрены разнообразные виды электрооборудования и научные методы безопасного применения электроэнергии в подземных горных выработках предприятий городского подземного строительства.

Основными горными машинами в городском подземном строительстве являются проходческие щиты и комплексы как зарубежного, так и российского производства, установленная мощность которых достигает несколько тысяч кВт и более. Горные машины и комплексы, особенно большой единичной мощности, требуют применения совершенных систем электроснабжения, способствующих повышению производительности труда.

Существенное значение имеет повышение напряжения питания горных машин и комплексов. На ряде проходческих

комплексов зарубежного производства на технологических площадках устанавливаются сухие трехобмоточные трансформаторы, первичное напряжение которых питается напряжением 6 или 10 кВ. Приводные двигатели мощных роторных рабочих органов проходческого комплекса получают питание от вторичной обмотки трансформатора напряжением 600 В, а другие электропотребители — от другой вторичной обмотки трансформатора напряжением 380 В.

Успешное внедрение нового электрооборудования, его эксплуатация и техническое обслуживание, повышение экономической эффективности производства зависят от уровня подготовки производственного персонала, в частности инженерного состава предприятий городского подземного строительства.

Учебник написан в соответствии с программой курса «Электрификация строительства городских подземных сооружений». Изложение данного курса базируется на материале дисциплин «Электрические и электронные аппараты», «Элементы систем автоматики», «Основы электроснабжения горных предприятий», «Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства». Вопросы, трактуемые в указанных дисциплинах, излагаются в учебнике применительно к особенностям работы электрооборудования в условиях городского подземного строительства.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	7
<b>1. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ</b>	
<b>ПРИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРОДСКОГО</b>	
<b>ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА .....</b>	<b>12</b>
1.1. Условия эксплуатации электрооборудования	
в подземных горных выработках .....	12
1.2. Воздействие электричества на организм человека .....	14
1.3. Условия электробезопасности электрических сетей	
с разным режимом нейтрали .....	20
1.3.1. Электрические сети с изолированным	
режимом нейтрали .....	21
1.3.2. Электрические сети с глухозаземленной нейтралью ..	25
1.3.3. Сравнение условий электробезопасности	
в электрических сетях с изолированной	
и глухозаземленной нейтралью .....	27
1.4. Меры защиты от поражения электрическим током .....	29
1.5. Защитное заземление .....	31
1.5.1. Защитное заземление в подземных горных	
выработках .....	31
1.5.2. Типы систем заземления .....	36
1.5.3. Система уравнивания потенциалов .....	39
1.6. Защитное отключение .....	44
1.6.1. Защитное отключение в электрических	
сетях с изолированной нейтралью источника	
питания .....	44
1.6.2. Защитное отключение в электрических	
сетях с глухозаземленной нейтралью источника питания ...	55
<b>2. ВНЕШНЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ</b>	
<b>ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....</b>	<b>65</b>
2.1. Основные положения .....	65
2.2. Выбор напряжения питающих линий .....	68
2.3. Категории бесперебойности электроснабжения .....	69
2.4. Схемы внешнего электроснабжения .....	72
2.5. Схемы распределения электроэнергии .....	75
2.6. Подстанции на поверхности горных предприятий .....	79

3. ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ .....	84
3.1. Степень защиты электрооборудования .....	84
3.2. Взрывобезопасность рудничного электрооборудования ....	88
3.2.1. Принципы взрывобезопасности .....	88
3.2.2. Виды взрывозащиты .....	90
3.2.3. Виды исполнения рудничного электрооборудования .	99
3.3. Классификация и маркировка электрооборудования .....	102
3.3.1. Классификация электрооборудования .....	102
3.3.2. Маркировка взрывозащищенного электрооборудования .....	107
4. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И УСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ .....	112
4.1. Характеристика основных повреждений электроустановок .....	112
4.2. Защита электрических сетей и установок поверхностного комплекса предприятий горного профиля .....	115
4.2.1. Электрические сети и установки напряжением до 1 кВ .....	115
4.2.2. Электрические сети и установки напряжением выше 1 кВ .....	127
4.3. Защита электрических сетей и установок подземного комплекса предприятий горного профиля .....	134
5. РУДНИЧНАЯ АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ .....	142
5.1. Общие сведения .....	142
5.2. Виды защиты рудничной аппаратуры .....	145
5.3. Рудничная аппаратура управления и защиты взрывобезопасного исполнения .....	150
5.3.1. Пускатели ручного управления .....	150
5.3.2. Автоматические выключатели .....	150
5.3.3. Магнитные пускатели .....	155
5.3.4. Магнитные станции управления .....	163
5.4. Рудничная аппаратура управления и защиты для городских подземных сооружений .....	171
5.4.1. Общие положения .....	171
5.4.2. Рудничные автоматические выключатели .....	173
5.4.3. Рудничные пускатели .....	178
5.4.4. Станции управления .....	184

6. ПОДЗЕМНЫЕ ПОДСТАНЦИИ .....	191
6.1. Электрооборудование подземных подстанций .....	191
6.1.1. Комплектные распределительные устройства .....	192
6.1.2. Шахтные трансформаторы .....	198
6.2. Центральные подземные подстанции .....	200
6.3. Передвижные трансформаторные подстанции .....	204
6.3.1. КТП в подземных горных выработках предприятий, опасных по газу и пыли .....	204
6.3.2. КТП в подземных горных выработках предприятий, не опасных по газу и пыли .....	207
6.4. Преобразовательные подстанции .....	210
7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ .....	216
7.1. Общие сведения .....	216
7.2. Бронированные кабели .....	220
7.3. Гибкие и особо гибкие кабели .....	224
7.4. Маркировка и обозначение кабелей .....	231
7.5. Прокладка кабелей .....	235
7.5.1. Общие сведения .....	235
7.5.2. Кабельные туннели .....	237
7.5.3. Кабельные каналы .....	240
7.5.4. Кабельные блоки .....	241
7.5.5. Кабельные эстакады и галереи .....	242
7.5.6. Коллекторы .....	245
7.5.7. Кабельные траншеи .....	246
7.5.8. Прокладка кабелей в подземных горных выработках .....	248
7.6. Кабельные муфты .....	254
7.6.1. Общие сведения .....	254
7.6.2. Классификация кабельных муфт и заделок .....	255
7.6.3. Монтаж соединительных и концевых муфт .....	257
8. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ .....	264
8.1. Основные понятия и единицы светотехники .....	264
8.1.1. Общие сведения .....	264
8.1.2. Параметры источников света .....	267
8.1.3. Выбор системы освещения и нормированной освещенности .....	273
8.2. Источники света .....	280

8.2.1. Общие сведения	280
8.2.2. Лампы накаливания	281
8.2.3. Газоразрядные лампы низкого давления	287
8.2.4. Газоразрядные лампы высокого давления	294
8.2.5. Светодиоды	304
8.3. Световые приборы	312
8.3.1. Основные характеристики световых приборов	312
8.3.2. Светильники для помещений производственных и общественных зданий.	316
8.3.3. Наружное освещение территории поверхностного комплекса	318
8.4. Методы расчета электрического освещения	322
8.4.1. Общие положения	322
8.4.2. Метод коэффициента использования светового потока	323
8.4.3. Точечный метод расчета освещенности	326
<b>9. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ</b>	329
9.1. Особенности электроснабжения	329
9.2. Электроснабжение подземных горных работ через ствол	331
9.3. Электроснабжение подземных горных работ через шурфы или энергетические скважины	335
9.4. Сравнение способов электроснабжения подземных горных работ	337
<b>10. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ (СГПС)</b>	339
10.1. Схемы электроснабжения	339
10.1.1. Общие сведения	339
10.1.2. Схемы электрических сетей внутри объекта напряжением 6...10 кВ	340
10.1.3. Схемы распределительных сетей объектов СГПС напряжением до 1 кВ	345
10.2. Электрооборудование поверхностных объектов СГПС	350
10.2.1. Трансформаторные подстанции	350
10.2.2. Комплектные распределительные устройства напряжением выше 1 кВ	355
10.3. Схемы электроснабжения предприятий СГПС	359



11. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ СГПС .....	365
11.1. Электрооборудование подъемно- транспортных устройств .....	365
11.2. Электрооборудование для прогрева бетона .....	370
11.2.1. Методы прогрева бетона .....	370
11.2.2. Трансформаторная подстанция для обогрева бетона .....	377
11.3. Электрооборудование для электропрогрева грунта .....	379
11.4. Электрооборудование для электрической сварки .....	383
11.4.1. Общие положения .....	383
11.4.2. Требования к источникам питания сварочной дуги ..	384
11.4.3. Сварочные преобразователи постоянного тока .....	385
11.4.4. Сварочные аппараты переменного тока .....	387
12. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ СГПС .....	391
12.1. Общие сведения .....	391
12.2. Классификация систем электроснабжения объектов СГПС .....	393
12.3. Схемы электроснабжения объектов СГПС при питании от электрических сетей напряжением до 1 кВ .....	395
12.3.1. Схемы с разделительными трансформаторами .....	395
12.3.2. Схемы без разделительных трансформаторов .....	398
12.4. Схемы электроснабжения объектов СГПС при питании от электрических сетей напряжением выше 1 кВ .....	400
12.5. Схемы электроснабжения объектов СГПС при питании от электрических сетей по комбинированной схеме .....	405
12.6. Электроснабжение проходческих комплексов .....	408
13. ОБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБЪЕКТОВ СГПС .....	416
13.1. Общие сведения .....	416
13.2. Оборудование бестраншейного способа строительства объектов СГПС .....	418
13.2.1. Оборудование микрощитов .....	418

13.2.2. Оборудование объекта строительства при методе продавливанием . . . . .	420
13.2.3. Оборудование объекта при методе строительства проколом и направленным бурением . . . . .	421
13.3. Оборудование при горном способе строительства . . . . .	423
13.4. Оборудование при комбайновом способе строительства . . . . .	427
13.5. Оборудование щитового способа строительства объектов СГПС . . . . .	429
<b>14. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СГПС . . . . .</b>	<b>439</b>
14.1. Общие сведения . . . . .	439
14.2. Коэффициент мощности . . . . .	440
14.3. Компенсация реактивной мощности . . . . .	444
14.3.1. Мероприятия по уменьшению потребления реактивной мощности . . . . .	444
14.3.2. Компенсирующие устройства . . . . .	448
14.3.3. Схемы присоединения конденсаторных установок . . . . .	454
14.3.4. Автоматическое регулирование мощности КУ . . . . .	456
14.4. Учет и тарификация электроэнергии . . . . .	459
14.4.1. Учет электроэнергии . . . . .	459
14.4.2. Тарификация электроэнергии . . . . .	463
14.4.3. Порядок определения объема и расчета стоимости поставленной электрической энергии и мощности . . . . .	465
14.5. Удельные нормы электропотребления . . . . .	473
<b>15. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ГПС . . . . .</b>	<b>476</b>
15.1. Расчет электрического освещения . . . . .	476
15.1.1. Выбор светильника . . . . .	476
15.1.2. Выбор мощности трансформатора для питания осветительной сети . . . . .	478
15.1.3. Выбор кабеля для питания осветительной сети . . . . .	479
15.1.4. Расчет уставки МТЗ осветительного агрегата . . . . .	480
15.2. Расчет нагрузок и выбор мощности участковой трансформаторной подстанции . . . . .	481
15.3. Расчет кабельной сети участка . . . . .	484
15.3.1. Выбор кабелей по допустимому нагреву . . . . .	484

15.3.2. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока . . . . .	485
15.3.3. Расчет кабельной сети участка по допустимой потере напряжения . . . . .	486
15.3.4. Проверка параметров участковой сети по условию пуска наиболее мощного и удаленного электродвигателя . . . . .	489
15.4. Расчет токов короткого замыкания в подземных участковых электрических сетях напряжением до 1 кВ . . .	492
15.5. Выбор аппаратуры управления и защиты при напряжении до 1200 В . . . . .	494
15.6. Выбор плавких вставок предохранителей и уставок автоматов общепромышленного исполнения . . . . .	496
15.7. Выбор плавких вставок предохранителей и уставок автоматов рудничного исполнения . . . . .	499
15.8. Расчет электрической сети напряжением выше 1200 В . . .	501
15.8.1. Расчет кабельной сети . . . . .	501
15.8.2. Выбор комплектных распределительных устройств (КРУ) . . . . .	504
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	510
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ . . . . .	513