

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Е. А. Конюхова

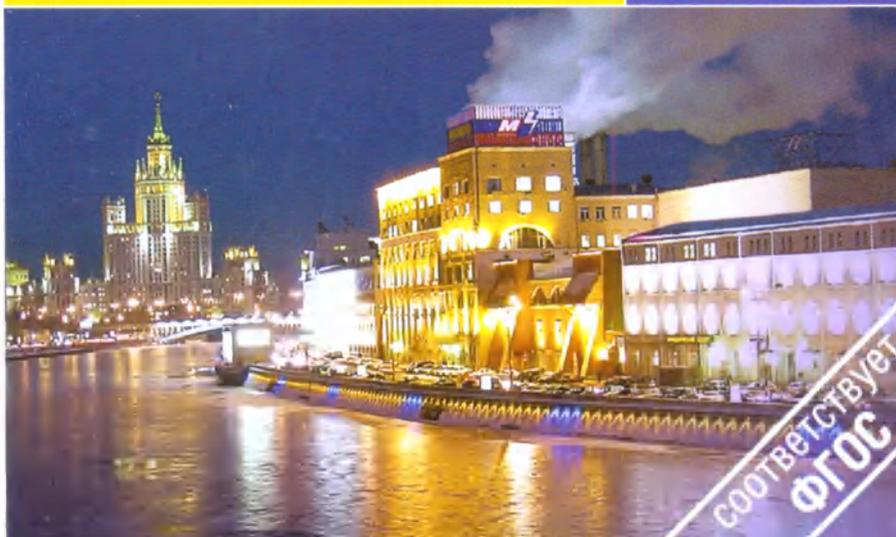
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

10-е издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



соответствует
ФГОС

Е. А. КОНЮХОВА

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

Рекомендовано

*Федеральным государственным автономным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебного пособия для использования
в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих ФГОС СПО по специальности 140409
«Электроснабжение (по отраслям)»*

*Регистрационный номер рецензии 497
от 14 декабря 2012 г. ФГАУ «ФИРО»*

10-е издание, стереотипное



Москва

Издательский центр «Академия»

2013

УДК 621.3
ББК 31.27
К64

Рецензенты:

зав. кафедрой «Электроснабжение сельского хозяйства» Московского
агроинженерного университета им. В. П. Горячкина
д-р техн. наук проф. *Т. Б. Лещинская*;
преподаватель Республиканского заочного политехникума *В. И. Арсентьев*

Конюхова Е. А.

К64 Электроснабжение объектов : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Е. А. Конюхова. — 10-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 320 с.

ISBN 978-5-4468-0274-6

Рассмотрено электроснабжение промышленных и коммунально-бытовых объектов. Приведены начальные сведения об электроэнергетических системах и организации взаимоотношений между питающей энергосистемой и потребителями. Описаны конструктивное выполнение электрических сетей и подстанций различных номинальных напряжений; основное оборудование электрических сетей и подстанций; принципы расчетов режимов электрических сетей; автоматизация и релейная защита, определение расчетных нагрузок; расчет токов коротких замыканий; выбор оборудования; компенсация реактивной мощности и качество электроэнергии.

Учебное пособие может быть использовано при освоении профессионального модуля ПМ.01. «Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей» (МДК.01.02) по специальности 140409 «Электроснабжение (по отраслям)».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования. Может быть полезно инженерно-техническим работникам.

УДК 621.3
ББК 31.27

Учебное издание

Конюхова Елена Александровна
Электроснабжение объектов
Учебное пособие

10-е издание, стереотипное

Редактор *Е. В. Рослякова*. Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*.
Компьютерная верстка: *Г. А. Берковский*. Корректоры *А. П. Сизова, А. Б. Глазкова*

Изд. № 110102107. Подписано в печать 05.07.2013. Формат 60×90/16. Бумага офс. № 1.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,0. Тираж 1000 экз. Заказ 1414

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16476 от 05.04.2013.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) — sales@tverpk.ru

© Конюхова Е.А., 2001

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2001

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2001

ISBN 978-5-4468-0274-6

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ	4
1.1. Общие сведения	4
1.2. Электрические параметры электроэнергетических систем	7
1.3. Напряжения электрических сетей	8
1.4. Управление электроэнергетическими системами	10
1.5. Структура потребителей и понятие о графиках их электрических нагрузок	11
1.6. Преимущества объединения электроэнергетических систем	13
1.7. Организация взаимоотношений между энергосистемой и потребителями	16
Глава 2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	17
2.1. Режим работы нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ	17
2.2. Режим работы нейтрали в установках напряжением до 1 кВ	19
Глава 3. КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	20
3.1. Общие сведения	20
3.2. Воздушные линии	22
3.2.1. Общие сведения	22
3.2.2. Провода воздушных линий	23
3.2.3. Изоляторы воздушных линий	24
3.2.4. Опоры воздушных линий	25
3.3. Кабельные линии	27
3.3.1. Конструкции кабелей	27
3.3.2. Способы прокладки кабелей напряжением 6... 10 кВ	29
3.4. Токопроводы напряжением 6... 35 кВ	35
3.5. Конструктивное выполнение цеховых сетей напряжением до 1 кВ	37
3.5.1. Общие сведения	37
3.5.2. Электропроводки	38
3.5.3. Шинопроводы	41
Глава 4. ОСНОВНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ	46
4.1. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и преобразовательные агрегаты	46
4.1.1. Общие сведения о силовых трансформаторах	46

4.1.2. Общие сведения об автотрансформаторах	49
4.1.3. Преобразовательные агрегаты	49
4.2. Коммутационная аппаратура напряжением выше 1 кВ	50
4.2.1. Выключатели напряжением выше 1 кВ	50
4.2.2. Выключатели нагрузки напряжением выше 1 кВ	52
4.2.3. Плавкие предохранители напряжением выше 1 кВ	52
4.3. Разъединители, отделители и короткозамыкатели напряжением выше 1 кВ	53
4.4. Изоляторы и шины распределительных устройств напряжением выше 1 кВ	54
4.5. Коммутационные аппараты напряжением до 1 кВ	55
4.5.1. Предохранители напряжением до 1 кВ	55
4.5.2. Автоматические выключатели	56
4.5.3. Контактры и магнитные пускатели	57
Глава 5. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	58
5.1. Общие сведения	58
5.2. Выбор номинальных напряжений	59
5.3. Источники питания и пункты приема электроэнергии объектов на напряжении выше 1 кВ	59
5.3.1. Источники питания и требования к надежности электрообеспечения	59
5.3.2. Схемы подключения источников питания	61
5.3.3. Типы электроподстанций	62
5.4. Принципы выбора схемы распределения электроэнергии	63
5.5. Схемы электрических сетей внутри объекта на напряжении 6... 10 кВ	64
5.6. Схемы городских распределительных сетей напряжением до 1 кВ	70
5.7. Схемы цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ	72
5.8. Схемы осветительных сетей	76
Глава 6. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИЙ	79
6.1. Принципы выбора схем электроподстанций	79
6.2. Схемы главных понижающих подстанций и подстанций глубокого ввода	81
6.2.1. Присоединение главных понижающих подстанций и подстанций глубокого ввода к линиям напряжением 35...220 кВ	81
6.2.2. Присоединение распределительных устройств напряжением 6...10 кВ к понижающим трансформаторам	83
6.2.3. Схемы с двумя системами шин	84
6.3. Схемы распределительных подстанций напряжением выше 1 кВ	86
6.4. Схемы трансформаторных подстанций напряжением 6... 10/0,4... 0,66 кВ	89
6.4.1. Присоединение цеховых трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6...10 кВ	89
6.4.2. Присоединение трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6...10 кВ для питания городских потребителей	90
6.5. Схемы распределительных подстанций на напряжении до 1 кВ	91

Глава 7. КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ	93
7.1. Принципы компоновки и размещения трансформаторных и распределительных подстанций	93
7.1.1. Общие сведения	93
7.1.2. Размещение подстанций	94
7.2. Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ	96
7.3. Комплектные распределительные устройства напряжением выше 1 кВ	100
7.4. Внутренние распределительные устройства	103
7.5. Открытые распределительные устройства напряжением до 220 кВ	105
7.6. Комплектные трансформаторные подстанции	106
7.6.1. Назначение и классификация	106
7.6.2. Конструктивное исполнение комплектных трансформаторных подстанций	109
7.7. Конструктивное исполнение распределительных подстанций напряжением 6... 10 кВ	114
7.8. Примеры выполнения подстанций напряжением 6... 10/0,4... 0,66 кВ	116
Глава 8. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	118
8.1. Графики электрических нагрузок	118
8.1.1. Индивидуальные графики нагрузок	118
8.2. Групповые графики электрических нагрузок	120
8.3. Математическое описание электрических нагрузок	121
8.3.1. Представление нагрузки случайным процессом	121
8.3.2. Представление нагрузок случайными величинами	123
8.4. Показатели графиков электрических нагрузок	125
8.4.1. Коэффициент использования	126
8.4.2. Коэффициент включения	126
8.4.3. Коэффициент загрузки	127
8.4.4. Коэффициент формы графика нагрузки	127
8.4.5. Коэффициент заполнения графика	128
8.4.6. Коэффициент энергоиспользования	129
8.4.7. Коэффициент одновременности максимумов нагрузки	129
Глава 9. РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	130
9.1. Нагрузочная способность электрооборудования	130
9.1.1. Общие сведения	130
9.1.2. Нагревание проводов и кабелей	132
9.2. Понятие расчетной электрической нагрузки	134
9.3. Расчет электрических нагрузок по коэффициенту расчетной активной мощности	136
9.4. Расчет нагрузки электрического освещения	140
9.5. Порядок определения расчетной нагрузки элемента сети, питающей группу электроприемников напряжением до 1 кВ	140

9.6. Определение пиковых нагрузок	141
9.7. Расчет нагрузки электроприемников напряжением выше 1 кВ	142
9.8. Расчет электрической нагрузки предприятия	143
Глава 10. РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	144
10.1. Расчетные электрические нагрузки жилых зданий	144
10.2. Расчетные электрические нагрузки общественных зданий	146
10.3. Электрические нагрузки распределительных сетей напряжением до 1 кВ	147
10.4. Расчетные электрические нагрузки городских электрических сетей напряжением 6...10 кВ и центров питания	148
Глава 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	149
11.1. Определение расхода активной электроэнергии объекта электропитания	149
11.2. Потери активной электроэнергии на передачу в электрических сетях	150
11.3. Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в линиях	151
11.3.1. Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в линиях по средней нагрузке	151
11.3.2. Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в линиях по времени потерь	151
11.4. Потери активной электроэнергии в трансформаторах	151
Глава 12. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ НОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ	152
12.1. Электрические параметры сети	152
12.2. Характеристика симметричных синусоидальных рабочих режимов	154
12.3. Схема замещения сети	155
12.4. Погонные параметры линий	155
12.5. Схема замещения линии	159
12.6. Сопротивления и проводимости трансформаторов	159
12.7. Нагрузки в схемах замещения	161
12.8. Параметры элементов электрических сетей системы электропитания промышленных предприятий	164
12.8.1. Общие сведения	164
12.9. Общие понятия о расчете разомкнутой распределительной сети	166
12.10. Зависимости между электрическими величинами для элемента сети	167
12.11. Упрощенный метод расчета параметров режима	168
12.12. Потери мощности и напряжения в элементах электрических сетей промышленных предприятий с учетом статических характеристик приемников электроэнергии и батарей конденсаторов	170
12.12.1. Влияние статических характеристик потребителей на нагрузочные потери мощности в элементе сети	171
12.12.2. Потери напряжения в элементах электрической сети предприятия с учетом статических характеристик нагрузки	173

Глава 13. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	174
13.1. Параметры режимов электрических систем	174
13.2. Баланс активных мощностей	175
13.3. Баланс реактивных мощностей	176
13.4. Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий	178
13.5. Основные потребители реактивной мощности на промышленных предприятиях	179
13.6. Потребление реактивной мощности асинхронными двигателями	180
13.7. Источники реактивной мощности (компенсирующие устройства)	182
13.7.1. Синхронные двигатели как источник реактивной мощности	182
13.7.2. Силовые конденсаторы	183
13.8. Размещение компенсирующих устройств в системах электроснабжения промышленных предприятий	184
13.9. Регулирование мощности компенсирующих устройств	187
13.10. Влияние компенсирующих устройств на параметры режимов электрических сетей	187
13.11. Батареи конденсаторов в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой	190
Глава 14. КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	192
14.1. Общие сведения	192
14.2. Причины возникновения и последствия коротких замыканий	193
14.3. Назначение расчетов токов КЗ	194
14.4. Переходный процесс при коротком замыкании в простейшей трехфазной цепи при питании от источника неограниченной мощности	195
14.5. Переходный процесс при трехфазном коротком замыкании на зажимах генератора	197
14.6. Основные соотношения между токами при трехфазном КЗ	199
14.7. Система относительных единиц	200
14.8. Расчетные схемы и определение результирующих сопротивлений цепи короткого замыкания	202
14.9. Расчет токов КЗ от системы неограниченной мощности	205
14.10. Определение токов КЗ в произвольный момент времени по расчетным кривым	206
14.11. Расчет токов КЗ на понижających подстанциях с вторичным напряжением 6...10 кВ	208
14.12. Расчет токов КЗ в сетях и установках напряжением 6...10 кВ с учетом электродвигателей	210
14.12.1. Общие сведения	210
14.12.2. Расчет токов КЗ от синхронных двигателей на напряжении выше 1 кВ	212
14.12.3. Расчет токов КЗ от асинхронных двигателей на напряжении выше 1 кВ	213
14.12.4. Расчет ударного тока КЗ, генерируемого синхронными и асинхронными двигателями напряжением выше 1 кВ	213
14.13. Расчет токов трехфазного КЗ в сетях и установках напряжением до 1 кВ	214

14.13.1. Общие сведения	214
14.13.2. Сопротивления элементов цепи трехфазного КЗ в установках напряжением до 1 кВ	215
14.13.3. Расчет токов трехфазного КЗ в сетях и установках напряжением до 1 кВ	216
14.14. Расчет токов несимметричных КЗ в сетях и установках напряжением 110 и 220 кВ	218
14.14.1. Общие сведения	218
14.14.2. Сопротивления обратной и нулевой последовательностей	218
14.15. Порядок расчета токов однофазного КЗ в конечной точке шинопровода напряжением 0,38 кВ	219
14.16. Электродинамическое и термическое действие токов КЗ	221
14.16.1. Электродинамическое действие токов КЗ	221
14.16.2. Термическое действие токов КЗ	222
14.17. Способы ограничения токов КЗ	223
Глава 15. ВЫБОР АППАРАТОВ И ПРОВОДНИКОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ	225
15.1. Общие сведения	225
15.2. Выбор и проверка выключателей напряжением 1...220 кВ	226
15.3. Выбор и проверка предохранителей напряжением выше 1 кВ	228
15.4. Выбор и проверка разъединителей, отделителей, короткозамыкателей	229
15.5. Выбор и проверка реакторов	230
15.6. Выбор шин и изоляторов	234
15.7. Выбор и проверка трансформаторов тока	234
15.8. Выбор трансформаторов напряжения	236
Глава 16. ВЫБОР ПРОВОДНИКОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ	237
16.1. Общие сведения	237
16.2. Допустимые нагрузки кабелей напряжением 6...35 кВ	238
16.3. Выбор сечений жил кабелей напряжением выше 1 кВ	240
16.4. Допустимые нагрузки на неизолированные провода	242
16.5. Выбор сечений жил неизолированных проводов воздушных линий напряжением выше 1 кВ	243
Глава 17. ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	244
17.1. Общие сведения	244
17.2. Допустимые перегрузки трансформаторов по предельной температуре	246
17.3. Выбор трансформаторов главной понижающей подстанции	249
17.4. Принципы выбора единичной мощности трансформаторов цеховых подстанций	249
17.5. Выбор числа цеховых трансформаторов на предприятии с учетом степени компенсации реактивной мощности	250
17.5.1. Предварительный выбор числа цеховых трансформаторов на предприятии	250
17.5.2. Определение мощности конденсаторов напряжением до и выше 1 кВ	250
17.5.3. Выбор варианта числа цеховых трансформаторов	251

17.6. Определение числа трансформаторов в каждом цехе	252
17.7. Подбор совокупностей электроприемников, питаемых от трансформаторной подстанции цеха	253
Глава 18. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ	254
18.1. Выбор автоматических выключателей	254
18.2. Выбор шинпроводов	255
18.3. Выбор предохранителей напряжением до 1 кВ	255
18.4. Выбор сечений проводов и кабелей напряжением до 1 кВ с учетом выбора защиты	256
Глава 19. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ	257
19.1. Общие сведения	257
19.2. Показатели качества электроэнергии	258
19.2.1. Основные и дополнительные показатели качества электроэнергии	258
19.2.2. Отклонение частоты и причины его возникновения	259
19.2.3. Отклонение напряжения	260
19.2.4. Колебания напряжения	260
19.2.5. Несинусоидальность напряжения	263
19.2.6. Несимметрия напряжения	265
19.2.7. Провал напряжения	266
19.2.8. Импульсное напряжение	267
19.2.9. Временное перенапряжение	267
19.3. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников	268
19.3.1. Влияние отклонения частоты в энергосистеме на работу электроприемников	268
19.3.2. Влияние отклонения напряжения на работу электроприемников	269
19.3.3. Статические характеристики асинхронных двигателей	272
19.3.4. Влияние колебаний напряжения на работу электроприемников	274
19.3.5. Влияние несимметрии напряжения на работу электроприемников	275
19.3.6. Влияние несинусоидальности напряжения на работу электроприемников	277
19.4. Регулирование показателей качества напряжения в системах электроснабжения объектов	277
19.4.1. Задачи регулирования напряжения при симметричных режимах	277
19.4.2. Выбор схем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии	283
Глава 20. АВТОМАТИЗАЦИЯ И РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ	285
20.1. Назначение релейной защиты и автоматики	285
20.2. Основные требования, предъявляемые к релейной защите и автоматике	286
20.3. Основные принципы действия релейной защиты	288

20.4. Автоматические и телемеханические системы регулирования, контроля и управления	291
20.5. Параметры релейной защиты	292
20.6. Защита плавкими предохранителями	293
20.7. Защита автоматическими выключателями	296
20.8. Реле и их разновидности	296
20.9. Типы реле	298
20.10. Защита кабельных линий	300
20.11. Защита трансформаторов напряжением 6...10/0,4 кВ	304
20.12. Защита асинхронных электродвигателей напряжением до 1 кВ	308
Список литературы	311