

В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова

# **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего  
образования по специальности «Электроснабжение»*

Второе издание, исправленное



Минск  
«ИВЦ Минфина»  
2017

**Радкевич, В. Н.** Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. — 2-е изд., испр. — Минск : ИВЦ Минфина, 2017. — 588 с. : ил., табл. — Библиография : с. 542—544.  
УДК 621.311.031:658.26(075.8)

ББК 31.19я73

**Аб. №1 — 7 экз.**

**Ч/З №1 — 3 экз.**

Рассмотрены принципы построения и структуры систем электроснабжения, приемники и потребители электроэнергии, графики и методы определения электрических нагрузок, вопросы качества электроэнергии, компенсации реактивной мощности и режимы нейтрали электроустановок. Приведены типовые схемы и конструктивное исполнение электрических сетей на напряжении до 1 и 6—10 кВ, выбор трансформаторов, сечений проводов и жил кабелей. Рассмотрены вопросы учета и экономии электроэнергии на промышленных предприятиях.

Для студентов учреждений образования, обучающихся по специальности «Электроснабжение». Может быть полезно студентам других специальностей энергетических факультетов и учащимся средних специальных учреждений образования, а также специалистам, занятым проектированием и эксплуатацией электроустановок промышленных предприятий.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава 1. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ</b> .....	8
1.1. Понятие об электроснабжении и системах электроснабжения .....	8
1.2. Требования, предъявляемые к системам электроснабжения .....	11
1.3. Особенности электроснабжения промышленных предприятий .....	13
1.4. Электрическое хозяйство промышленного предприятия .....	16
<b>Глава 2. ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ГРАФИКИ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b> .....	23
2.1. Приемники и потребители электроэнергии и их классификация .....	23
2.2. Основные показатели, характеризующие потребителей электроэнергии .....	28
2.3. Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников .....	33
2.4. Максимальная активная мощность .....	39
2.5. Графики электрических нагрузок .....	43
2.5.1. Определение и классификация графиков .....	43
2.5.2. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок .....	47
2.5.3. Индивидуальные графики нагрузок .....	52
2.5.4. Групповые графики нагрузок .....	54
2.5.5. Способы регулирования графиков .....	59
<b>Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК</b> .....	63
3.1. Уровни определения расчетных электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий .....	64
3.2. Классификация методов расчета электрических нагрузок .....	67

3.3. Определение силовых нагрузок по коэффициенту расчетной мощности .....	68
3.4. Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса .....	85
3.5. Определение расчетной нагрузки по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции.....	89
3.6. Определение расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади .....	91
3.7. Определение расчетной нагрузки статистическим методом .....	93
3.8. Определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников.....	94
3.10. Определение пиковых нагрузок .....	99
<b>Глава 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ .....</b>	<b>102</b>
4.1. Расчет расхода электроэнергии для производственного объекта .....	102
4.2. Определение расхода электроэнергии силовыми электроприемниками .....	104
4.3. Определение расхода электроэнергии световыми приборами.....	107
4.4. Определение потерь мощности и электроэнергии в линиях электропередачи .....	109
4.5. Расчет потерь мощности и электроэнергии в силовых трансформаторах.....	120
4.6. Определение потерь мощности и электроэнергии в токоограничивающих реакторах .....	126
<b>Глава 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ.....</b>	<b>128</b>
5.1. Конструктивное исполнение цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.....	128
5.2. Распределительные пункты в электрических сетях напряжением до 1 кВ .....	146
5.3. Области применения напряжений 400/230 и 690 /400 В.....	149
5.4. Схемы электрических сетей цеховых потребителей электроэнергии.....	150
5.5. Электрические сети для многоамперных установок переменного тока.....	165
5.6. Электрические сети для многоамперных установок постоянного тока.....	177
5.7. Электрические сети для установок повышенной частоты.....	179

5.8. Сети для электросварочных установок .....	186
5.9. Электрические сети для передвижных электроприемников .....	190
5.10. Электрические сети в пожаро- и взрывоопасных зонах .....	195

## **Глава 6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ**

<b>ДО 1 кВ</b> .....	199
6.1. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ .....	199
6.1.1. Определение сопротивлений элементов цепи короткого замыкания .....	200
6.1.2. Расчет тока трехфазного короткого замыкания .....	204
6.1.3. Расчет тока однофазного короткого замыкания .....	205
6.2. Выбор электрооборудования внутрицеховых электрических сетей .....	212
6.3. Выбор защитных аппаратов .....	214
6.3.1. Основные принципы построения защиты .....	214
6.3.2. Выбор плавких предохранителей .....	215
6.3.3. Выбор автоматических выключателей .....	220
6.3.4. Обеспечение избирательности защиты в электрических сетях напряжением до 1 кВ .....	227
6.4. Выбор проводников электрических сетей .....	232
6.4.1. Нагревание и тепловой износ изоляции проводников электрических сетей .....	232
6.4.2. Допустимые длительные токи проводников электрических сетей .....	237
6.4.3. Выбор сечений проводников электрических сетей напряжением до 1 кВ по допустимому нагреву .....	241
6.4.4. Определение сечения нулевых проводников .....	245
6.4.5. Выбор кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией на напряжение до 1 кВ по термической стойкости .....	249
6.5. Расчет электрических сетей по потере напряжения .....	251
6.6. Выбор и расчет шинпроводов .....	255
6.7. Расчет троллейных линий .....	261

## **Глава 7. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

7.1. Установившееся отклонение напряжения .....	270
---	-----

7.2. Колебания напряжения.....	272
7.3. Несинусоидальность напряжения.....	274
7.4. Несимметрия напряжений.....	278
7.5. Провалы и импульсы напряжения. Временные перенапряжения.....	280
7.6. Отклонение частоты.....	284
<b>Глава 8. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....</b>	<b>286</b>
8.1. Реактивная мощность в электрических сетях.....	286
8.2. Снижение потерь мощности при установке компенсирующих устройств.....	291
8.3. Источники реактивной мощности.....	295
8.3.1. Батареи статических конденсаторов.....	295
8.3.2. Синхронные электродвигатели.....	298
8.3.3. Синхронные компенсаторы.....	302
8.3.4. Синхронные генераторы.....	302
8.3.5. Статические источники реактивной мощности.....	304
8.3.6. Компенсационные преобразователи.....	305
8.4. Расчет компенсации реактивной мощности.....	306
8.4.1. Общие положения по расчету компенсации реактивной мощности.....	306
8.4.2. Определение мощности батарей конденсаторов напряжением до 1 кВ по критерию выбора минимального числа цеховых трансформаторов.....	308
8.4.3. Определение реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.....	311
8.4.4. Расчет экономического значения реактивной мощности, потребляемой из сети энергосистемы.....	318
8.4.5. Анализ баланса реактивной мощности на границе раздела сетей потребителя и энергосистемы.....	321
8.4.6. Определение целесообразности более полного использования реактивной мощности синхронных двигателей.....	322
8.4.7. Определение целесообразности дополнительной установки батарей конденсаторов.....	327
8.5. Схемы конденсаторных установок и управление ими.....	334

<b>Глава 9. РЕЖИМЫ НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК</b> .....	343
9.1. Электроустановки с глухозаземленной и эффективно заземленной нейтралью.....	344
9.2. Электроустановки с изолированной нейтралью.....	347
9.3. Электроустановки с компенсированной нейтралью.....	355
9.4. Электроустановки с резистивным заземлением нейтрали.....	360
9.5. Режимы нейтрали электроустановок напряжением до 1 кВ.....	363
<b>Глава 10. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 кВ</b> .....	374
10.1. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжении выше 1 кВ.....	374
10.2. Конструктивное исполнение электрических сетей напряжением выше 1 кВ.....	376
10.2.1. Кабельные линии.....	376
10.2.2. Токопроводы напряжением 6–35 кВ.....	390
10.3. Выбор номинального напряжения.....	396
10.4. Характерные схемы электроснабжения промышленных предприятий.....	401
10.4.1. Внешнее электроснабжение предприятий, не имеющих собственных электростанций.....	401
10.4.2. Электроснабжение предприятий с собственными электростанциями.....	410
10.4.3. Типовые схемы внутреннего электроснабжения.....	413
10.5. Схемы присоединения электродвигателей напряжением выше 1 кВ к шинам источника питания.....	420
10.6. Защита подземных металлических сооружений от коррозии.....	422
<b>Глава 11. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</b> .....	430
11.1. Выбор экономически целесообразного сечения проводников.....	430
11.2. Определение сечений проводников по допустимому нагреву.....	437
11.3. Выбор сечений жил кабелей по нагреву током короткого замыкания.....	446
11.4. Выбор и расчет токопроводов напряжением 6–35 кВ.....	452

<b>Глава 12. ПИТАЮЩИЕ ПОДСТАНЦИИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ</b> .....	456
12.1. Силовые трансформаторы, применяемые в системах электро-снабжения промышленных предприятий .....	456
12.2. Основные положения по выбору схем электрических соединений понизительных подстанций и распределительных пунктов .....	459
12.3. Электрические схемы подстанций с низким напряжением 6–10 кВ .....	463
12.4. Схемы и компоновки распределительных пунктов напряжением 6–10 кВ .....	471
12.5. Схемы трансформаторных подстанций напряжением 10(6)/0,4 кВ .....	475
12.6. Выбор количества и мощности силовых трансформаторов .....	481
12.7. Картограммы электрических нагрузок и расходов электро-энергии .....	485
12.8. Определение условного центра электрических нагрузок .....	490
12.9. Выбор места расположения трансформаторных подстанций и распределительных пунктов .....	492
<b>Глава 13. РЕЖИМЫ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b> .....	498
13.1. Способы и средства регулирования напряжения в системах электроснабжения производственных объектов .....	498
13.2. Расчет добавок напряжения цеховых трансформаторов .....	501
13.3. Использование компенсирующих устройств для регулирования напряжения .....	505
13.4. Регулирование напряжения при резкопеременных нагрузках .....	513
<b>Глава 14. УЧЕТ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШ-ЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ</b> .....	521
14.1. Тарифы на электроэнергию и плата за электропотребление .....	521
14.2. Учет и контроль потребляемой активной мощности и электро-энергии на промышленных предприятиях .....	523
14.3. Автоматизация учета электропотребления .....	526
14.4. Мероприятия по экономии электроэнергии на промышленных предприятиях .....	528



14.5. Снижение потерь мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения.....	532
14.6. Рациональный режим работы силовых трансформаторов.....	536
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	542
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	545
<b>ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	579