



Ю. Д. СИБИКИН,  
М. Ю. СИБИКИН, В. А. ЯШКОВ

# Электроснабжение промышленных предприятий и установок

---

Учебник

Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин,  
В. А. Яшков

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ  
И УСТАНОВОК**

*Рекомендовано Экспертным советом  
по профессиональному образованию  
Министерства образования Российской Федерации  
в качестве учебника для учащихся  
начального профессионального образования*



Москва-Берлин  
2014

УДК 621.31  
ББК 31.29-5  
С34

**Сибикин, Ю. Д.**

С34      Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебник для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, В. А. Яшков. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 337 с.

ISBN 978-5-4475-2582-8

Рассмотрено электроснабжение промышленных предприятий и установок. Даны методические рекомендации по выбору параметров систем электроснабжения. Приведены сведения о системах электроснабжения, электрических станциях и структурных схемах электропередачи. Описаны основное электрооборудование, подстанции, распределительные устройства, элементы техники высоких напряжений, заземляющие устройства и релейная защита.

Для студентов профессиональных учебных заведений, техникумов и колледжей.

УДК 621.31  
ББК 31.29-5

ISBN 978-5-4475-2582-8

© Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю., Яшков В. А.,  
текст, 2014

© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство электроэнергии всеми электростанциями России в 2001 г. достигнет 924 млрд кВт·ч, а к 2005 г.— 990 млрд кВт·ч.

Основными потребителями электрической энергии являются промышленные предприятия. Они расходуют более половины всей энергии, вырабатываемой в нашей стране.

Ввод в действие новых предприятий, расширение существующих, рост энергооборуженности, широкое внедрение различных видов электротехнологии во всех отраслях производства выдвигают проблему их рационального электроснабжения.

Система распределения столь большого количества электроэнергии на промышленных предприятиях должна обладать высокими техническими и экономическими показателями и базироваться на новейших достижениях современной техники. Поэтому электроснабжение промышленных предприятий должно основываться на использовании современного конкурентоспособного электротехнического оборудования, надежных экономичных аппаратов, прогрессивных конструкциях схем питания, широком применении автоматизации.

Книга содержит основные сведения, позволяющие учащимся разобраться в сложном комплексе вопросов производства, распределения и потребления электрической энергии, начиная с источников электроснабжения до потребления электрической энергии в цехах и установках промышленных предприятий.

В результате изучения предмета учащиеся смогут самостоятельно выполнять расчеты цеховых электрических сетей до 1000 В распределительных воздушных и кабельных сетей высокого напряжения; производить расчеты токов короткого замыкания и проверять выбираемое электрооборудование и аппараты на устойчивость действию токов короткого замыкания составлять схемы распределения электрической энергии высокого напряжения; подсчитывать электрические нагрузки и выбирать силовые трансформаторы; производить расчет и выбор аппаратуры релейной защиты и автоматики подстанций и других электроустановок промышленных предприятий.

Особое внимание уделено вопросам расчета электрических нагрузок, работе электроприемников, резервированию электропитания, повышению коэффициента мощности, рациональной и эффективной системе питания электроустановок, экономике, требованиям охраны труда и технике безопасности.

При изложении материала авторы учитывали специфику важнейших отраслей промышленности, для которых готовятся специалисты. Это касается режимов работы и конструктивных особенностей электрических сетей и подстанций, резервирования электропитания, оптимизации коэффициента мощности и др.

В книге, предлагаемой читателю, изложен обобщенный опыт последних лет проектирования электропитания промышленных предприятий; приведены новые технические решения в этой области.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в развитии отечественной электротехнической промышленности и электроснабжения предприятий сыграли труды выдающихся русских ученых и изобретателей Б. С. Якоби, А. Н. Лодыгина, П. Н. Яблочкова, Ф. А. Пироцкого, Д. А. Лачинова, М. О. Доливо-Добровольского и др.

В 1834 г. член Петербургской Академии наук Б. С. Якоби первым в мире изобрел электродвигатель постоянного тока. Большое влияние на развитие электрических станций оказала изобретенная в 1873 г. А. Н. Лодыгиным электрическая лампа накаливания, которая в скором времени стала основным потребителем электроэнергии. Американский ученый и изобретатель Эдисон произвел свои первые опыты по электрическому освещению только в 1879 г., т. е. на шесть лет позднее русского изобретателя А. Н. Лодыгина. Талантливый русский инженер-изобретатель П. Н. Яблочков в 1876 г. получил патент на электрическую свечу, которая также способствовала быстрому развитию электрического освещения. Яблочков изобрел трансформатор и решил задачу питания группы дуговых ламп от одного генератора.

В 1874 г. Ф. А. Пироцкий произвел опыт по передаче электроэнергии на расстояние до 1 км. В 1880 г. он осуществил передачу электроэнергии по рельсам конной железной дороги в Петербурге.

Большое значение для развития электротехники имела научная работа Д. А. Лачинова (1880 г.) — «Электромеханическая работа», опубликованная в журнале «Электричество», где он изложил положения (тезисы), являющиеся основой современной теории передачи электроэнергии.

Гениальный русский ученый и инженер М. О. Доливо-Добровольский заложил научные и инженерные основы современных электрических систем, осуществив установку трехфазного переменного тока и показав все его преимущества по сравнению с постоянным током. Первый генератор и приводимый им в движение электродвигатель переменного тока был построен М. О. Доливо-Добровольским в 1888 г. В 1891 г. он, используя водяную

турбину мощностью в 300 л. с. и приводимый ею в движение генератор трехфазного тока мощностью в 200 кВт, передал по воздушной линии электроэнергию на расстояние 175 км. С помощью трехфазного трансформатора напряжение, создаваемое генератором в начале ЛЭП, повышалось до 8500 В, а на конце линии понижалось до 100 В и использовалось для освещения и приведения в движение электродвигателей на выставке во Франкфурте-на-Майне.

Огромной заслугой М. О. Доливо-Добровольского является создание не только генераторов трехфазного тока и трансформаторов, но и асинхронных трехфазных двигателей, являющихся и в настоящее время основными электродвигателями, применяемыми в промышленности. Они надежны в работе, просты по конструкции, дешевы в эксплуатации.

Электрификация играет важнейшую роль в развитии всех отраслей промышленности, является стержнем строительства экономики страны. Отсюда следует необходимость опережающих темпов роста производства электроэнергии.

В условиях разрухи, голода, гражданской войны в 1920 г. Всероссийский съезд Советов утвердил Государственный план электрификации России (ГОЭЛРО), который предусматривал в течение 10...15 лет строительство тридцати новых районных электростанций общей мощностью 1750 МВт, с доведением выработки электроэнергии до 8,8 млрд кВт·ч в год. Этот план был выполнен за 10 лет. С 1930 г. крупные городские районные тепловые электростанции (ТЭС) стали постепенно объединять в энергетические системы и энергообъединения, которые и в настоящее время остаются главными производителями электроэнергии для подавляющего большинства промышленных предприятий страны.

Принципом развития энергосистемы России является производство электроэнергии на крупных электростанциях, объединяемых в Единую энергосистему общей высоковольтной сетью 500...1150 кВ.

До 1960 г. самые крупные генераторы тепловых электростанций (ТЭС) имели мощность 100 МВт. На одной электростанции устанавливали 6...8 генераторов. Поэтому мощность крупных ТЭС составляла 600...800 МВт. После освоения блоков 150...200 МВт мощность крупнейших электростанций повысилась до 1200 МВт. Переход на блоки 300 МВт позволил увеличить мощность некоторых ТЭС до 2400 МВт.

В настоящее время вводят в эксплуатацию тепловые и атомные электростанции мощностью до 6000 МВт с блоками по 500...800 МВт. Эффективность объединения энергосистем обусловлена экономией суммарной установленной мощности генераторов за счет:

— совмещения максимумов нагрузки энергосистем, сдвинутых во времени в разных географических поясах;

— уменьшения необходимой мощности аварийного и ремонтного резерва в энергообъединении по сравнению с разрозненными системами;

— укрупнения электростанций и улучшения режимов их работы благодаря взаимопомощи объединенных общей сетью энергосистем при отклонениях от плановых балансов выработки и потребления электроэнергии.

Получаемый от объединения энергосистем эффект превышает все затраты на строительство и эксплуатацию межсистемных линий электропередачи.

В настоящее время электроэнергетика России является важнейшей жизнеобеспечивающей отраслью страны. В ее состав входит более 700 электростанций общей мощностью 215,6 млн кВт.

В современных условиях главными задачами специалистов, осуществляющих проектирование и эксплуатацию современных систем электроснабжения промышленных предприятий, являются правильное определение электрических нагрузок, рациональная передача и распределение электроэнергии, обеспечение необходимой степени надежности электроснабжения, качества электроэнергии на зажимах электроприемников, электромагнитной совместимости приемников электрической энергии с питающей сетью, экономия электроэнергии и других материальных ресурсов.



## Глава 1

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

#### § 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Электрическую часть всех вновь сооружаемых, реконструируемых, технически перевооружаемых промышленных предприятий выполняют в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

К промышленным предприятиям относят заводы (в том числе опытные заводы научно-исследовательских институтов), комбинаты, фабрики, шахты, карьеры, производственные и ремонтные базы, типографии, предприятия железнодорожного, водного, воздушного, трубопроводного и городского транспорта, ремонтно-механические заводы «Сельхозтехника» и др.

*Действующими* считают электроустановки, которые имеют источники электроэнергии (в том числе химические, гальванические и др.), находящиеся под напряжением полностью или частично, или такие, на которые в любой момент времени может быть подано напряжение включением коммутационной аппаратуры.

Электроснабжение предприятий разделяют на *внешнее* и *внутреннее*. При этом под *внешним электроснабжением* понимают комплекс сооружений, обеспечивающих передачу электроэнергии от выбранной точки присоединения к энергосистеме до приемных подстанций предприятия (рис. 1.1).

*Внутреннее электроснабжение* — это комплекс сетей и подстанций, расположенных, как правило, на территории предприятия и в его цехах.

Проектированию внешнего электроснабжения отдельного предприятия предшествует разработка перспективного плана развития производительных сил данного промышленного района на ближайшие 10...15 лет. На основе этого плана разрабатывается проект развития энергетической системы, включая развитие сетевых устройств. В проекте развития энергосистемы намечаются источники электроэнергии для данного района, их мощность и очередность строительства, определяются места расположения и схемы основных подстанций энергосистемы, от которых намечается осуществлять питание промышленных предприятий, городов и поселков.

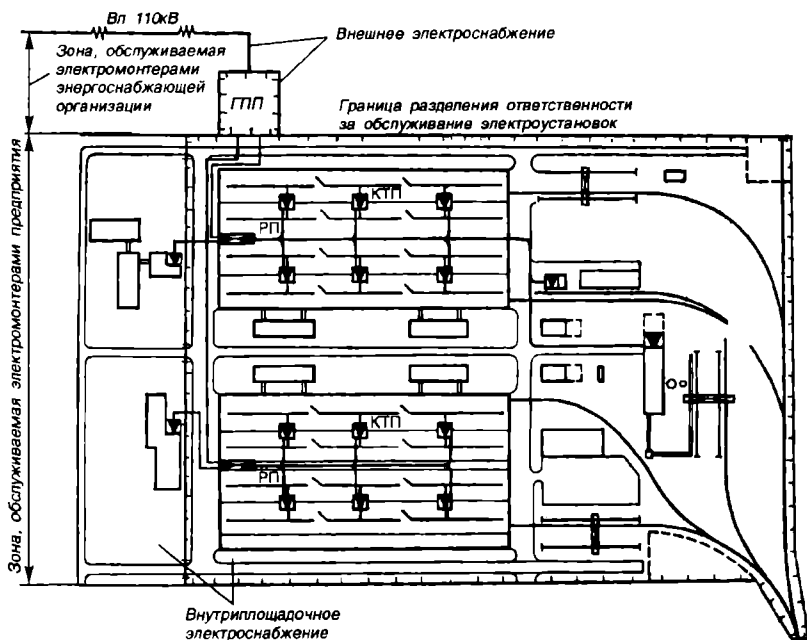


Рис. 1.1. План разводки электрических сетей и размещения ТП на машиностроительном предприятии и границы зон обслуживания электромонтерами

Разработка проекта электроснабжения промышленного предприятия начинается с изучения технологического процесса и его особенностей. На первой стадии производится изучение взаимной связи отдельных технологических процессов и агрегатов, возможных последствий перерывов в электроснабжении всего предприятия, а также отдельных агрегатов или цехов. Рассчитываются ожидаемые электрические нагрузки цехов и отдельных крупных технологических агрегатов, определяется ожидаемая расчетная нагрузка предприятия в целом. Для крупных предприятий, строящихся очередями, определяется рост нагрузок по годам.

Электроэнергия на пути от источника питания до электроприемника на современных промышленных предприятиях (независимо от их энергоемкости и характера производства), как правило, трансформируется один или несколько раз: по напряжению и току, а потоки ее, по мере приближения к потребителям, дробятся на более мелкие и разветвленные каналы.

Преобразования энергии по напряжению производят на трансформаторных подстанциях, которые (в зависимости от места расположения в схеме электроснабжения) называют глав-

ными понизительными подстанциями (ГПП) и цеховыми трансформаторными подстанциями (ТП).

Коммутационные устройства, в которых разделяют потоки энергии без их трансформации по напряжению или другим электрическим параметрам, называют распределительными пунктами (РП). Последние могут являться элементом как сети высокого напряжения (6...10 кВ), так и сети низкого напряжения (380/220 В).

Для внутривзаводского питания промышленных предприятий электроэнергией применяются радиальные, магистральные и смешанные схемы. *Радиальные схемы* получили наибольшее распространение. *Магистральные схемы* применяют реже, в основном в тех случаях, когда электроприемники имеют большую мощность и расположены вблизи трасс, удобных для прокладки магистралей. Чаще их применяют в сочетании с радиальными.

Принятый способ передачи в значительной мере определяет схему электроснабжения предприятия. На выбор схемы также оказывают влияние взаимное расположение потребителей, требования к бесперебойности питания, число, мощность, напряжение и расположение источников питания, принятое напряжение сетей, величина токов короткого замыкания, условия генерального плана предприятия, конструктивные особенности и технико-экономические характеристики электротехнического оборудования. Напряжение сети, число, мощность и расположение распределительных и трансформаторных подстанций выбирают на основе технико-экономических расчетов.

Внутривзаводские питающие сети напряжением 6...10 кВ от ГПП (или ТЭЦ) до РП 6...10 кВ выполняют радиальными кабельными линиями или мощными магистральными токопроводами различных конструкций. Внутриплощадочные РП 6...10 кВ в соответствии с СН 174 — 75 конструируют двухсекционными с одной системой сборных шин. К РП подключается распределительная кабельная сеть 6...10 кВ цеховых ТП 6...10/0,4...0,66 кВ и высоковольтных электродвигателей.

## § 1.2. ТИПЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА МИРА

*Электрическая станция (ЭС)* — это промышленное предприятие, вырабатывающее электроэнергию и обеспечивающее ее передачу потребителям по электрической сети. На электростанции происходит преобразование энергии какого-либо природного источника в механическую энергию вращения турбины и далее с помощью электрических генераторов — в электроэнергию. В зависимости от того, какой природный источник энергии используется, выбирается тип электростанции.

Электростанции делятся на гидроэлектрические, тепловые и атомные. На гидроэлектростанции в электрическую энергию преобразуется механическая энергия водного потока реки — гидравлическая энергия. На тепловых электростанциях в электроэнергию преобразуется теплота, выделяющаяся при сжигании топлива. На атомных электростанциях в электрическую преобразуется тепловая энергия, выделяющаяся при делении ядер атомов урана, тория и других тяжелых элементов. В настоящее время исследуются возможности более широкого использования тепловой энергии вулканов и гейзеров на геотермальных станциях, солнечной энергии — на гелиоэлектростанциях, энергии ветра — на ветроэлектростанциях, энергии приливов и отливов — на приливных электростанциях. Имеются опытные промышленные установки, использующие энергию этих видов.

*Гидроэлектрическая станция* (ГЭС) представляет собой совокупность сооружений, создающих напор воды, подводящих воду к турбинам и отводящих отработавшую воду из здания станции. Различные схемы преобразования энергии воды на ГЭС руслового, приплотинного и деривационного типов приведены в других курсах и здесь не рассматриваются. Технологическая схема работы ГЭС (рис. 1.2) выдольно отличается от схем работы всех других электростанций простотой процессов и надежностью элементов.

На *тепловых электростанциях* (ТЭС) энергия, выделяемая при сгорании каменного угля, торфа, сланцев, газа, нефти и топлива других видов, преобразуется в электроэнергию по принципиальной технологической схеме (рис. 1.3). Добыча, доставка и подготовка топлива к сжиганию в котлоагрегатах — сложные и дорогие процессы. Тепловая энергия, получаемая при сгорании топлива, передается воде для получения в котлоагрегате перегретого пара высоких давлений (до 30 МПа) и температуры (до 650 °С).

Получение, передача к турбине и использование в турбине пара с такими параметрами — сложные процессы. Но все технические вопросы работы ТЭС решены, и тепловые электростанции являются основой современной энергетики. Не устранен главный недостаток ТЭС — низкий коэффициент полезного действия (КПД). Лишь 30...40% теплоты, полученной при сгорании топлива, используется полезно. А остальная часть

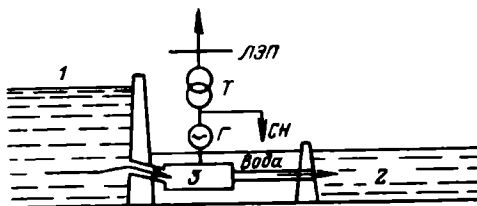


Рис. 1.2. Принципиальная технологическая схема ГЭС:

1 — верхний бьеф; 2 — нижний бьеф; 3 — турбина; ЛЭП — линия электропередачи; Г — генератор; СТ — собственные нужды

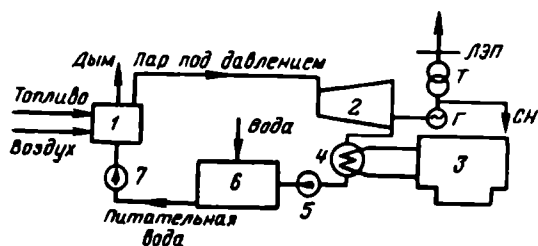


Рис. 1.3. Принципиальная технологическая схема ТЭС:

1 — котел; 2 — турбина; 3 — источник холодной воды; 4 — конденсатор; 5 — конденсатный насос; 6 — деаэрагор; 7 — насос (остальные обозначения см. на рис. 1.2)

теплоты (70...60%) отдается охлаждающей воде при конденсации пара и дымовым газам. Эта энергия безвозвратно теряется.

**Атомные электростанции (АЭС)** — это тоже тепловые паротурбинные станции, но использующие в качестве природного источника энергии топливо особого вида — ядерное горючее. В технологической схеме АЭС (рис. 1.4) роль котла выполняет ядерный реактор. Теплота, выделяющаяся в реакторе при делении ядер урана и плутония, передается теплоносителю — тяжелой воде, гелию и др. От теплоносителя тепловая энергия передается парогенератору. Далее — та же схема преобразования энергии пара в механическую энергию паровой турбины и в электрическую энергию, что и на ТЭС.

В настоящее время основную часть всей вырабатываемой в стране электроэнергии обеспечивают ТЭС на органическом топливе. Тем не менее их доля в суммарном производстве электроэнергии имела в последние годы устойчивую тенденцию к снижению, тогда как доля атомных и гидравлических электростанций, не требующих закупки быстро дорожающего топлива, увеличивалась. В условиях общего спада производства энергии АЭС и ГЭС практически сохранили свою выработку электроэнергии на уровне имевшихся мощностей и системных возможностей. Таким образом, все сокращение производства электроэнергии в период с 1991 по 1999 г. произошло за счет тепловых электростанций.

Тип вновь сооружаемых электростанций выбирается на основании технико-экономических расчетов с учетом наличия природных ресурсов и типа существующих электростанций в данном районе, потребности в тепловой и электрической энергии и др. Обеспечивается наиболее эффективное сочетание электростанций разного типа с учетом изменений выработки и потребления энергии в различные сезоны года.

Часто при освоении новых регионов в начальный период эксплуатации для временного электроснабжения применяются дизельные, газотурбинные электростанции и энергопоезда.

Основной элемент дизельных электростанций (ДЭС) — дизель-генератор. В качестве первичных двигателей в основном применяют бескомпрессорные четырех- и двухтактные дизели мощностью 5...1000 кВт, имеющие частоту вращения 375...1500 об/мин. Дизели комплектуются

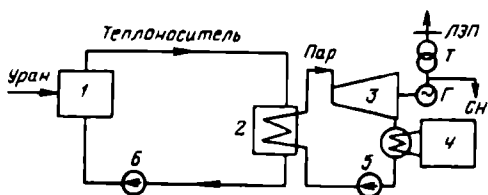


Рис. 1.4. Принципиальная технологическая схема ФЭС:

1 — ядерный реактор; 2 — парогенератор; 3 — турбина; 4 — источник холодной воды; 5 — водяной насос; б — насос (остальные обозначения см. на рис. 1.2)

синхронными генераторами переменного тока. По назначению ДЭС делят на основные, резервные и аварийные.

Установленная мощность электростанций в мире ежегодно увеличивается на 1,5% и составила уже в 1990 г. 2746,1 ГВт: ТЭС — 1771,6; ГЭС — 626,4; АЭС — 336,7%; геотермальные электростанции (ГеоТЭС) — 9,4 ГВт.

Среднее число часов использования установленной мощности электростанций было 4273 ч/год: ТЭС — 4262, ГЭС — 3440, АЭС — 5884, ГеоТЭС — 4270 ч/год.

Производство электроэнергии в 1990 г. увеличилось на 2,6% и составило 11733,9 ТВт·ч: ТЭС — 7550,8; ГЭС — 2161,5; АЭС — 1981,6; ГеоТЭС — 40,0 ТВт·ч.

Доля атомных электростанций по данным 1991 г. в общем производстве электроэнергии в мире составляет 17%.

Нетрадиционные возобновляемые источники энергии занимают в электроснабжении незначительную часть. Так, в мировом производстве электроэнергии она составляет около 2%.

Электроснабжение потребителей осуществляется в большей части от сетей энергосистем — через сетевые районы или сети распределительных компаний. Суммарная мощность электростанций самоснабжающихся предприятий составляет 7,0% общей мощности электростанций в мире, производство электроэнергии — 7,1%.

Мировое производство электроэнергии в 1998 г. составило 14,5 трлн кВт·ч. Более 2/3 всего мирового производства электроэнергии приходится на группу из 29 стран, входящих в состав организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). К числу крупнейших в мире производителей и потребителей электроэнергии относятся США, Китай, Япония, Россия, Канада, Германия и Франция. Около 2/3 всей электроэнергии в мире вырабатывается на органическом топливе, немного менее 1/6 —

на ядерном, почти 1/5 — на гидроэнергии. Валовое производство электроэнергии в странах членах ОЭСР в 1997 г. составило 8882 ТВт·ч.

### § 1.3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Структура производства электроэнергии более семистами электростанциями России приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Структура производства электроэнергии в России,  
млрд. кВт·ч/%

Производство электроэнергии	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Всего	860	847,2	834	826
В том числе: ТЭС	100	100	100	100
ГЭС	583,7	582,9	567,1	564
АЭС	67,8	68,8	68,0	68,3
	177,3	155,3	158,4	158,5
	20,6	18,3	19,0	19,2
	99,5	109	108,5	103,5
	11,6	12,9	13,0	12,5
Минтопэнерго России — всего	711,0	691,7	678,6	676,1
В том числе: ТЭС	534,6	537,4	521,1	518,6
ГЭС	176,4	154,3	157,5	157,5
Минатом России	99,5	108,8	108,3	103,5
Блок-станции	32,8	30,1	31,1	30,4
Прочие	16,7	16,6	16,0	16,0

Единая энергосистема России — одна из крупнейших в мире высокоавтоматизированных электроэнергетических комплексов, обеспечивающих производство, передачу и распределение электроэнергии и централизованное оперативно-диспетчерское управление этими процессами. В составе ЕЭС России параллельно работают около 450 крупных электростанций различной ведомственной принадлежности суммарной мощностью более 200 млн. кВт, а также имеется свыше 2,5 млн км линий электропередачи различных напряжений, в том числе 30 тыс. км системообразующих ЛЭП напряжением 500, 750, 1150 кВ.

Анализ баланса распределения электроэнергии России (табл. 1.2) показывает, что при практически неизменном за последние годы объеме поставок электроэнергии за границу, суммарное ее потребление внутри страны в связи с глубоким экономическим кризисом продолжало сокращаться в среднем примерно по 1,5% в год, а в 1998 г. снизилось на 1%. В то же время за истекшие 3 года при снижении объема производства промышленной про-

дукции в России на 9,1%, потребление электрической энергии в стране в целом уменьшилось лишь на 4%, а в промышленности — на 4,3%. Такие соотношения указывают на повышение удельной электроемкости промышленного производства.

Таблица 1.2. Баланс распределения электроэнергии России

Показатель	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Распределение электроэнергии — всего, млрд кВт·ч	860	847,2	834	826
В том числе:				
экспорт, млрд кВт·ч	5,2	5,4	5,1	5,0
передача в страны СНГ, Балтии и Закавказья (сальдо), млрд кВт·ч	14,3	14,1	14,5	14,5
потребление на территории России — всего, млрд кВт·ч/%	840,5	827,7	814,4	806,5
	100	100	100	100
то же к предыдущему году, %	98,2	98,5	98,4	99,0
Из него, млрд кВт·ч/%:				
промышленность	378,9	364,2	362,0	355
	45,1	44	44,4	44
строительство	13,0	11,2	10,3	9,9
	1,6	1,4	1,3	1,2
сельское хозяйство	96,2	85,9	78,1	77
	11,4	10,4	9,6	9,5
транспорт	64,9	64,9	63,5	62,5
	7,7	7,8	7,8	7,7
коммунальное хозяйство	153,1	156,2	155,3	157,5
	18,2	18,9	19,1	19,5
собственные нужды электростанций и расход энергии на ее транспорт	134,3	145,3	145,2	145
	16,0	17,5	17,8	18

В связи с наметившейся в 1999 г. стабилизацией экономики в стране, основной тенденцией потребления электроэнергии на перспективу до 2015 г. прогнозируется его повышение опережающими темпами по сравнению с объемами производства и услуг в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в быту.

#### § 1.4. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Электрической схемой или схемой электрических соединений называют чертеж, на котором нанесены элементы электрической установки, а также показаны соединения между ними в той последовательности, в которой они выполняются в действительности. Существует два основных вида схем:



- электрические схемы основных цепей;
- электрические схемы вторичных цепей.

На первых изображают главные цепи электрической установки, по которым электроэнергия проходит от генераторов станции к потребителям. На этих схемах показывают все основные машины и аппараты установки.

Электрические схемы вторичных цепей изображают соединения и включения приборов и аппаратов вспомогательных цепей, к которым относятся цепи измерительных трансформаторов и приборов, аппаратов релейной защиты, управления элементами установки и т. п. На схемах вторичных цепей обязательно наносят элементы схем основных цепей, без которых понимание их будет затруднено.

Для лучшего представления о работе установки на схемах основных цепей наносят элементы вторичных цепей (измерительные приборы, приборы релейной защиты).

По способу изображения электрические схемы разделяют на три группы.

Трехлинейные электрические схемы, на которых показывают все три фазы установки. Если установка имеет нулевой провод, то на схеме наносят все соединения и для этого провода. На рис. 1.5 изображена трехлинейная схема соединений кабельной линии низкого напряжения. После отщепления от шин *Ш* включен рубильник *Рб*, плавкие предохранители *П* и трансформаторы тока *ТТ*; затем провода (шины) переходят в трехжильный кабель *К*, идущий к потребителю. Все эти элементы относятся к электрической схеме основных цепей. Ток в линии измеряют амперметрами *А*; подключенными к вторичным обмоткам трансформаторов тока. Эти цепи относятся к вторичным цепям.

Трехлинейные электрические схемы имеют ограниченное распространение, их применяют для изображения отдельных частей установки.

Монтажные электрические схемы выполняют трехлинейными, отражая одновременно территориальное расположение элементов установки. Например, элементы оборудования, размещаемые на щите управления (измерительные приборы, реле, сигнальные лампы и т. п.) группируют вместе и показывают в точном соответствии с конструкцией щита управления. Элементы оборудования распределительного устройства (выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы и т. п.) выделяют на чертеже особо. Провода вторичных цепей показывают со всеми промежуточными зажимами и маркируют. На чертеже указывают марки проводов и кабелей, число и сечение жил кабелей, типы применяемых аппаратов и приборов и т. п.

Монтажные схемы выполняют для отдельных элементов установки: цепи генератора, трансформатора, отходящей линии и т. п. Эти схемы с внесенными в них изменениями, произведенными при монтаже, необходимы при эксплуатации установки; по ним эксплуатационный персонал детально разбирает схему электрических соединений данного элемента и находит благодаря маркировке нужные зажимы, соединительные провода и т. д.

Однолинейные электрические схемы — на них показывают соединения только для одной фазы установки. Возможность такого изображения схем определяется тем, что в установках трехфазного переменного тока все три фазы имеют одинаковые соединения и в них включаются одни и те же аппараты. При наличии нулевого провода он показывается на схеме отдельно (пунктирной линией), поскольку соединения на нем отличаются от таковых на фазных проводах.

Однолинейную электрическую схему составляют обычно для всей установки. Для облегчения чтения схем на них наносят только основные элементы установки — генераторы, трансформаторы, выключатели, разъединители и т. п. и соединения между ними.

В схемах и чертежах электротехнической части проектов промышленных предприятий трансформаторы, электрические машины, аппараты, светильники, выключатели, штепсельные розетки, щитки, электрические проводки обозначают условными знаками, часть которых приведена в табл. 1.3.

Рядом с условным графическим обозначением силового оборудования на чертежах планов дробью указывают номер оборудования по плану (в числителе) и его мощность (в знаменателе), а у светильников — мощность (в числителе) и высоту установки в метрах (в знаменателе). Другие данные и характеристики оборудования указывают в экспликациях к плану или в расчетных схемах. Марку и сечение кабелей или проводов и способ их прокладки указывают рядом с проложенной линией: например, Т — в металлической трубе, Тс — на тросе, Мр — в металлическом рукаве, К — на клицах, Л — на лотке.

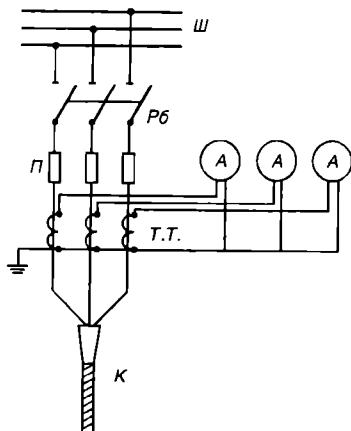
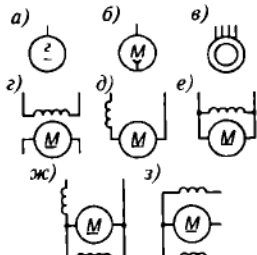
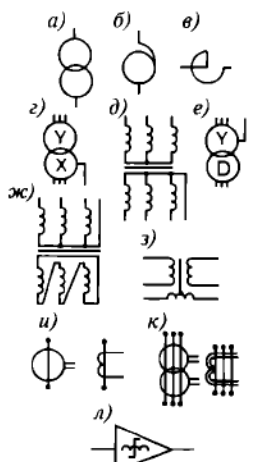
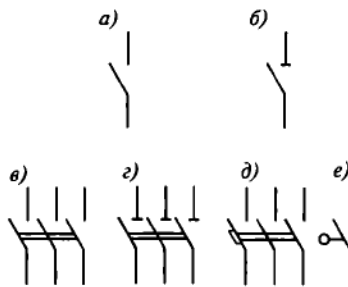


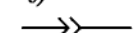





















































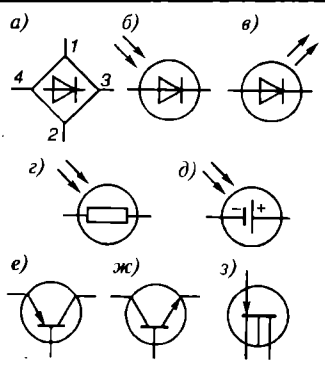
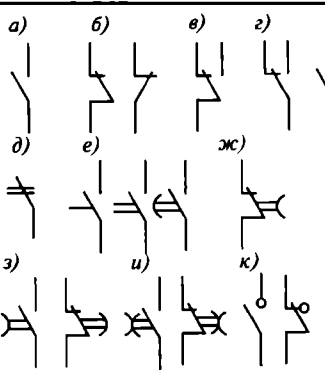


Рис. 1.5. Трехлинейная электрическая схема

Таблица 1.3. Условные графические обозначения в электрических схемах

Наименование	Обозначение
<p>Электромашины: <i>a</i> — трехфазный генератор, <i>б</i> — трехфазный двигатель с обмотками статора, соединенными в звезду, <i>в</i> — асинхронная двухфазная машина с короткозамкнутым ротором</p> <p>Машины постоянного тока: <i>г</i> — независимого, <i>д</i> — последовательного, <i>е</i> — параллельного, <i>ж</i> — смешанного возбуждения <i>з</i> — реверсивный двигатель с двумя обмотками последовательного возбуждения</p>	
<p>Трансформаторы: <i>a</i> — трансформатор однофазный, <i>б</i> — автотрансформатор в однолинейном изображении, <i>в</i> — реактор, <i>г</i>, <i>д</i> — трехфазный трансформатор, соединение обмоток звезда-звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой, <i>е</i>, <i>ж</i> — трехфазный трансформатор, соединение обмоток — звезда с выведенной нейтралью (средней) точкой — треугольник, <i>з</i> — однофазный трансформатор с управляющей обмоткой, <i>и</i> — трансформатор тока с одной вторичной обмоткой, <i>к</i> — шинный трансформатор тока нулевой последовательности с катушкой подмагничивания, <i>л</i> — магнитный усилитель</p>	
<p>Выключатели: <i>a</i> — однополюсный выключатель, <i>б</i> — однополюсный разъединитель, <i>в</i> — трехполюсный выключатель, <i>г</i>, <i>д</i> — трехполюсный разъединитель с автоматическим возвратом, <i>е</i> — путевой однополюсный выключатель, <i>ж</i> — нажимной замыкающий выключатель, <i>з</i> — нажимной размыкающий выключатель, <i>и</i> — вытяжной замыкающий, <i>к</i> — вытяжной размыкающий, <i>л</i> — поворотный замыкающий, <i>м</i> — поворотный размыкающий, <i>н</i> — с возвратом посредством вытягивания кнопки, <i>о</i> — с возвратом при повторном нажатии кнопки</p>	

Наименование	Обозначение			
	<p>ж)</p> 	<p>з)</p> 	<p>и)</p> 	<p>к)</p> 
<p>Контакты контактных соединений: а, б — втыгры и гнездо разъёмного соединения, в — разъёмное соединение, г, д — разборные и неразборные соединения, е — перемычки (неразборная, разборная с одного конца), ж — скользящий контакт, з — однополюсный многопозиционный переключатель</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p>  <p>д)</p>  <p>е)</p>  <p>ж)</p>  <p>з)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p>  <p>д)</p>  <p>е)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p>  <p>д)</p>  <p>е)</p>  <p>ж)</p>  <p>з)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p> 
<p>Воспринимающая часть электромеханических устройств: а — катушка электромеханического устройства (общее обозначение), б — катушка с одной обмоткой</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p>  <p>д)</p>  <p>е)</p>  <p>ж)</p>  <p>з)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p>  <p>д)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 
<p>Конденсаторы: а — постоянный, б — переменный, в — подстроечный, г — электролитический, д — неполяризованный, е — проходной, ж — опорный, з — варикапд</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p>  <p>д)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 
<p>Полупроводниковые приборы: а — диод (общее обозначение), б — туннельный диод, в — стабилитрон, г — варикап, д — динистор,</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p>  <p>г)</p> 

Наименование	Обозначение
<p><i>е</i> — триодный тиристор, запираемый управлением по катоду, <i>ж</i> — триодный тиристор, запираемый с управлением по аноду</p>	
<p>Полупроводниковые приборы, выпрямители: <i>а</i> — однофазный мостовой выпрямитель (упрощенное изображение), <i>б</i> — фотодиод, <i>в</i> — светодиод, <i>г</i> — фоторезистор, <i>д</i> — солнечный фотозлемент, <i>е</i> — транзистор PNP-типа, <i>ж</i> — транзистор NPN-типа, <i>з</i> — полевой транзистор с каналом N-типа</p>	
<p>Контакты: <i>а</i> — замыкающий, <i>б</i> — размыкающий, <i>в</i> — переключающий, <i>г</i> — с двойным замыканием, <i>д</i> — с двойным размыканием, <i>е</i> — замыкающий с механической связью, <i>ж</i> — с замедлением при срабатывании, <i>з</i> — с замедлением при возврате, <i>и</i> — с замедлением при срабатывании и возврате, <i>к</i> — без самовозврата</p>	

Условное обозначение элементов, входящих в электрическую схему, рекомендуется выполнять латинскими буквами в связи с расширяющимися международными связями в области проектирования, монтажа и эксплуатации электроустановок.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что подразумевают под внешним и внутренним электроснабжением предприятия?
2. Какие типы электрических станций Вы знаете?
3. Охарактеризуйте современное состояние электроэнергетики России.
4. Какие схемы электрических соединений применяют в проектной и монтажной практике?
5. Как обозначают электрооборудование и аппаратуру в схемах электроснабжения промышленных предприятий?

## Глава 2

# ПОТРЕБИТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

### § 2.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Приемником электроэнергии* — электроприемником, токоприемником — называют электрическую часть производственной установки, получающую электроэнергию от источника и преобразующую ее в механическую, тепловую, химическую, световую энергию, а также в энергию электростатического или электромагнитного поля.

По технологическому назначению приемники электроэнергии классифицируют в зависимости от вида энергии, в которой данная приемник преобразует электрическую энергию: электродвигатели приводов машин и механизмов; электротермические установки; электрохимические установки; установки электроосвещения; установки электростатического и электромагнитного поля, электрофильтры; устройства искровой обработки, устройства контроля и испытания изделий (рентгеновские аппараты, установки ультразвука и т. д.).

*Электропотребителем* называют совокупность электроприемников производственных установок цеха, корпуса, предприятия, присоединенных с помощью электрических сетей к общему пункту электропитания.

Электромеханическое устройство, предназначенное для электрификации и автоматизации производственных процессов называют *электрическим приводом*. Электропривод (рис. 2.1) состоит из: преобразователя 1, электродвигателя или группы электродвигателей 2, передаточного 3, управляющего 4 и рабочего 5 органов.

Электрическую энергию электропривод преобразует в механическую и обеспечивает управление преобразованной энергией в соответствии с технологическими требованиями к режимам работы механизма. В простейшем случае электропривод представляет собой двигатель, питаемый от сети и приводящий в движение с постоянной скоростью какой-либо механизм. Для включения двигателя в сеть применяют обычный магнитный пускатель, контактор, рубильник или пакетный выключатель.

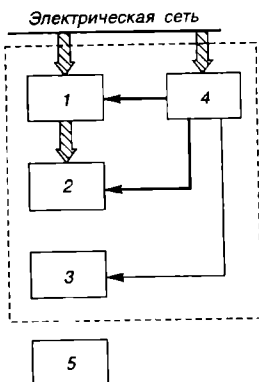


Рис. 2.1. Структурная схема электропривода

В зависимости от способа передачи энергии от двигателя к рабочим органам механизмов электроприводы бывают групповые, индивидуальные или многодвигательные.

Групповым называют привод, в котором один двигатель приводит в движение с помощью трансмиссий или передач группу рабочих машин или рабочих органов одной машины.

Индивидуальным называют привод, в котором двигатель приводит в движение только один рабочий орган машины. Электропривод центробежного насоса — индивидуальный. По сравнению с групповым индивидуальный привод позволяет упростить кинематическую схему рабочей машины. Иногда двигатель встраивают

в механизм так, что он образует с рабочим органом единое целое.

В многодвигательном приводе отдельные рабочие органы машины приводятся в движение самостоятельным двигателем через систему передачи.

Совокупность связанных между собой электромагнитных, электромеханических, полупроводниковых и подобных им элементов называют системой управления приводом.

Движение электропривода, как и всякого механизма, подчиняется законам динамики и определяется силами (моментами), действующими в этой системе. Вращающий момент  $M_{дв}$ , развиваемый электродвигателем, в любой момент времени уравновешивается суммой момента статического сопротивления  $M_c$  и динамического (инерционного) момента  $M_{дин}$

$$M_{дв} = M_c + M_{дин}. \quad (2.1)$$

Это уравнение называют уравнением движения электропривода. Вращающий момент электродвигателя считают положительным, если он направлен в сторону движения механизма, и отрицательным, если он препятствует его движению. Последний называют тормозным моментом.

Статический момент, приложенный к валу двигателя, проявляется в полезной работе, совершаемой механизмом, и работе сил трения. Динамический момент проявляется только во время переходных процессов, т. е. таких процессов, когда изменяется частота вращения электропривода и запас энергии движения в нем. Если вращающий момент электродвигателя и момент статического сопротивления системы находятся в состоянии ди-

динамического равновесия — частота вращения электропривода не изменяется. При нарушении равновесия между вращающим моментом электродвигателя и моментом статического сопротивления частота вращения электродвигателя начинает изменяться. Если  $M_{\text{д}} > M_{\text{с}}$ , привод ускоряет свое движение, т. е. частота его вращения увеличивается; если  $M_{\text{д}} < M_{\text{с}}$ , то привод замедляет свое движение, т. е. частота его вращения снижается. Величина динамического момента определяется разностью между вращающим моментом электродвигателя и моментом статического сопротивления.

Одним из главных электрифицированных потребителей является электропривод металлообрабатывающих станков.

Электрооборудование и автоматику *металлообрабатывающих станков* оснащают современными типами электроприводов и средствами автоматического управления. Это обеспечивает высокую производительность и точность обработки, безопасность и удобство управления в их обслуживании.

В соответствии с действующими каталогами металлообрабатывающие (металлорежущие) станки подразделяют на следующие девять групп: 1) токарные; 2) сверлильные и расточные; 3) шлифовальные и полировальные; 4) комбинированные; 5) зубо- и резьбообрабатывающие; 6) фрезерные; 7) строгильные, долбежные и протяжные; 8) разрезные; 9) разные.

Каждую из указанных групп подразделяют на типы (с 1 по 9).

В соответствии с указанной классификацией условное обозначение (шифр) модели станка имеет три — четыре цифры: первая — группа станка; вторая — тип; третья и четвертая — наибольший размер обрабатываемой детали или условный размер станка. Например, товарно-револьверный станок с наибольшим диаметром обрабатываемого прутка 26 мм имеет обозначение 1326; продольно-строгальный двухстоечный станок для обработки изделий размером 4000 × 1500 мм имеет обозначение 7242.

Металлообрабатывающие станки изготавливаются универсальными или общего назначения — для различной обработки разных деталей; специализированными — для обработки деталей, сходных по форме, но разных размеров; специальными — для обработки одной детали.

Значительное место в механизме станков занимают вспомогательные движения и устройства: установка; зажим и перемещение инструмента; контрольные операции при обработке; смазка; охлаждение и др.

Современные станки различных типов выпускаются станкостроительной промышленностью в комплекте с электроприводами для главных, вспомогательных движений и движений подачи в соответствии с требованиями технологического режима их



работы (характер нагрузки, диапазон регулирования, частота включений и др.), механическими характеристиками и энергетическими показателями электропривода (коэффициент мощности, КПД), а также требованиями надежности, простоты обслуживания и наладки.

К силовым установкам общепромышленного назначения относят подъемно-транспортные устройства, компрессоры, вентиляторы и насосы. На промышленных предприятиях часто применяют различные краны, предназначенные для вертикального и горизонтального перемещения грузов. По способу передвижения их делят на перемещающиеся по рельсовым путям и самоходные.

Электрооборудование кранов, перемещающихся по рельсовым путям, подключают к стационарным источникам электроэнергии напряжением 380/220 В.

Многие из современных кранов — это машины с многодвигательным приводом. Применяются электродвигатели кранового типа, преимущественно переменного тока промышленной частоты 50 Гц асинхронные с фазным ротором. Краны имеют значительную мощность (30...250 кВт и более), поэтому энергетические показатели зависят от их режима работы.

Подъемно-транспортные устройства работают в повторно-кратковременном режиме. В связи с резкими изменениями нагрузки коэффициент мощности также изменяется в значительных пределах, в среднем 0,3...0,8.

Двигатели компрессоров, вентиляторов и насосов работают в продолжительном режиме и в зависимости от их мощности снабжаются электрической энергией напряжением 0,4...10 кВ. Мощность этих установок изменяется в широком диапазоне (от долей киловатта до сотен и даже тысяч киловатт). Питание двигателей производят током промышленной частоты 50 Гц.

Для электропривода мелких и средних насосов, компрессоров и вентиляторов чаще всего применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора.

## § 2.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

Электротермия, электросварка, электролиз, электроосвещение и прочие потребители составляют около 1/3 суммарной промышленной нагрузки.

*Электротермические приемники* промышленных предприятий в соответствии с методами нагрева (рис. 2.2) делят на следующие группы: дуговые электропечи для плавки черных и цветных металлов, установки индукционного нагрева для плавки и термообработки металлов и сплавов, электрические печи сопротивления и электросварочные установки.



Рис. 2.2. Методы электрического нагрева

Электроснабжение электротермических установок имеет ряд особенностей, связанных с различием характера их нагрузок.

*Дуговые электрические печи* используют как сталеплавильные, рудно-термические и печи косвенного действия для плавки цветных металлов. Это мощные электроприемники низкого нестандартного напряжения (110...750 В), подключаемые через специальные печные трансформаторы к источникам переменного тока 6...35 кВ, а также к шинам 110, 154 кВ. Номинальная мощность печных агрегатов от 0,4 (печи 0,5 т) до 125 МВ·А (220 т) с перспективой до 250 МВ·А (360 т). Большая мощность дуговых электропечей и резкопеременный характер их нагрузки оказывают большое влияние на работу всей системы электроснабжения.

*Печи сопротивления* прямого и косвенного действия потребляют мощности меньше, чем дуговые сталеплавильные печи. Большая их часть имеет мощность до 2000 кВт и подключается к сети 380 В, коэффициент мощности близок к 1,0. Печи сопротивления выполняют трехфазными и однофазными. В случае однофазного исполнения, если не приняты соответствующие меры, эти печи могут быть причиной недопустимой несимметрии в системе электроснабжения.

*Электронные плавильные печи, вакуумные печи и печи шлакового переплава* применяют для выплавки металлов самой высокой чистоты и с наилучшими свойствами. Мощность их того же порядка, что и печей сопротивления. По надежности электроснабжения эти печи относят к электроприемникам повышенной категории, так как очень дорогим является выплавляемый ими металл. Электропечи других типов требуют резервированного электроснабжения, так как при перерыве питания на время более 30 мин могут возникнуть их повреждения с длительным выходом в ремонт.

*Индукционные плавильные печи* промышленной частоты 50 Гц, повышенной частоты 500...10 000 Гц и высокой частоты  $10^5$ ... $10^8$  Гц представляют собой трехфазную электрическую на-

грузку «спокойного» режима работы, т. е. мало изменяющуюся в процессе плавки. Печи повышенной частоты питаются от вентиляльных преобразователей частоты, а печи высокой частоты — от ламповых генераторов, к которым подводится переменный ток 0,4...0,69 кВ, 50 Гц. Индукционные печи имеют низкий коэффициент мощности: от 0,1 до 0,5.

*Электросварочные установки.* Технологически сварку делят на дуговую и контактную, по способу производства работ — на ручную и автоматическую.

Для питания сварочных агрегатов постоянного тока преимущественное распространение получают выпрямительные установки, преобразующие переменный ток трехфазной системы с напряжением 380/220 В в постоянный с напряжением 30...32 В.

Электросварочные установки переменного тока работают на частоте 50 Гц и напряжении 380/220 В; они представляют собой однофазную нагрузку в виде сварочных трансформаторов для дуговой сварки и сварочных аппаратов для контактной сварки. Сварка на переменном токе создает однофазную нагрузку с повторно-кратковременным режимом работы, неравномерной нагрузкой фаз и низким коэффициентом мощности (0,3...0,45 для дуговой и 0,4...0,7 для контактной сварки).

*Электрохимические и электролизные установки* (электролитические ванны для электролиза воды, растворов, расплавов цветных металлов; установки электрохимических процессов в газе; ванны для гальванических покрытий: омеднения, никелирования, хромирования, оцинкования и т. п.) работают на постоянном токе, который получают от преобразовательных подстанций, выпрямляющих трехфазный переменный ток. Электролитический процесс требует постоянства выпрямленного тока, для чего необходимо регулирование напряжения. Коэффициент мощности таких установок 0,8...0,9.

По условиям работы электролизеров допускается перерыв электроснабжения на несколько часов. Но из-за обратного перемещения металла в раствор ванны, обусловленного обратной ЭДС в электролизерах, получается недовыпуск продукции и перерасход электроэнергии. Поэтому электроснабжение электролизных установок осуществляется обязательно от двух источников. Электрохимические установки металлопокрытий и лужения относят к I категории нагрузок по надежности электроснабжения. Мощность одной электролизной установки достигает 100...130 МВт.

Установки *электростатического* поля применяют для создания направленного движения капель при выполнении, например, электроокраски, для улавливания твердых взвешенных частиц в газе с помощью электрофильтров (очистка дымовых газов), для разделения смесей жидкости и газа, различающихся по размерам

и электропроводности. Питание установок электрополя производится от сети 0,4 кВ, но внутри установки напряжение повышается. Мощность установки составляет сотни киловатт.

**Преобразовательные установки.** Преобразовательные установки служат для преобразования переменного тока промышленной частоты 50 Гц трехфазной системы в постоянный или переменный ток иной частоты.

На строительных площадках и промышленных предприятиях применяются преобразовательные установки, которые в зависимости от типа преобразователей, делятся на полупроводниковые, с двигатель-генераторами и машинными преобразователями.

Такие установки служат для питания двигателей машин, работающих на постоянном токе; станций для зарядки аккумуляторов; сварочных установок постоянного тока; ручного электроинструмента, работающего на повышенной частоте и др.

Преобразовательные установки, применяемые на промышленных предприятиях, по мощности относительно велики. Коэффициент мощности этих установок колеблется в пределах 0,7 — 0,8. Нагрузка на стороне переменного тока симметричная по фазам и, как правило, равномерная.

*Ручной электроинструмент.* К этой группе приемников электроэнергии относят различные ручные механизированные электроинструменты: электродрели, электрогайковерты, электротруборезы, электросверлилки, электрорубанки, ручные электропилы, электромолотки, глубинные вибраторы и др. Электроинструмент отличается высоким КПД, несложен по устройству, надежен в работе и прост в эксплуатации.

Номинальная мощность большинства ручных электроинструментов составляет от 0,27 до 1,5...1,6 кВт.

### § 2.3. ИСТОЧНИКИ СВЕТА КАК ПРИЕМНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Электрические светильники представляют собой однофазную электрическую нагрузку, но при правильной группировке осветительных приборов можно получить равномерную нагрузку по фазам (с несимметрией до 10%). Характер нагрузки от освещения изменяется в зависимости от времени суток, года и географического положения объекта. Частота тока общепромышленная — 50 Гц. Коэффициент мощности для ламп накаливания равен 1, для газоразрядных ламп — 0,6. Для осветительных установок применяют напряжение от 12 до 220 В. В тех производствах, где отключение освещения угрожает безопасности людей, применяют специальные системы аварийного освещения.

*Источники света* характеризуются номинальным напряжением (В), на которое рассчитывается лампа; номинальной мощностью (Вт); световым потоком (лм), световой отдачей (лм/Вт), т. е. отношением излучаемого лампой светового потока к мощности потребления; средним сроком службы лампы (ч) цветопередачей.

*Лампы накаливания* широко используют в осветительных установках производственных помещений. Наибольшее распространение имеют лампы накаливания на 127 и 220 В мощностью 15...1500 Вт, со световой отдачей в пределах от 7 (15 Вт) до 19,7 лм/Вт (1500 Вт), продолжительностью горения 1 тыс. ч. Эти лампы обеспечивают непрерывный спектр, отличающийся от спектра дневного света преобладанием желтых и красных лучей. Они просты и надежны в эксплуатации; световой КПД ламп не превышает 3...3,5%.

В сетях напряжением 40 и 12 В используют лампы типа МО мощностью 15...100 Вт и лампы-светильники с диффузным (типа МОД) и зеркальным (типа МОЗ) отражающим слоем той же мощности. Продолжительность горения ламп всех указанных типов 1 тыс. ч, световая отдача в пределах 10...15,5 лм/Вт.

В цехах ряда предприятий нашли распространение также *зеркальные лампы* на напряжение 127 и 220 В при мощности потребления 40...1000 Вт, имеющие широкое, среднее и концентрированное светораспределение. Продолжительность горения разных типов зеркальных ламп составляет 750...1500 ч. Их световой поток на 15...20% ниже, чем у ламп накаливания общего назначения того же напряжения и мощности.

Зеркальные лампы создают определенное распределение света, которое почти не изменяется в процессе эксплуатации из-за слабого запыления и загрязнения отверстия лампы.

В осветительных установках производственных зданий часто применяют галогенные лампы типов КГ220-1000, КГ220-1500 и КГ220-2000 для напряжения 220 В мощностью 1000, 1500, 2000 Вт. Их световая отдача 22 лм/Вт, продолжительность горения 2 тыс. ч. Они представляют собой трубку из кварцевого стекла диаметром около 11 мм, длиной 189...335 мм с цоколями для подводки питания на концах. Их применяют в специальных светильниках и прожекторах. При горении лампа должна находиться в горизонтальном положении с допустимым отклонением не более 4°.

Лампы накаливания малоэкономичны, так как значительная часть энергии идет на нагрев окружающей среды, а также на излучение, приходящееся на участки спектра, лежащие за пределами видимости.

*Газоразрядные лампы* (люминесцентные и ртутные типа ДРЛ) весьма чувствительны к падению напряжения питающей сети.

При снижении напряжения на 10% и более номинального лампы начинают гореть неустойчиво и при дальнейшем понижении могут погаснуть, а не горевшие лампы не зажечься.

Световой поток газоразрядных ламп пульсирует с частотой вдвое большей частоты питающего лампы переменного тока. Устранение пульсаций достигается применением для светильников пускорегулирующих аппаратов (ПРА) с отстающим и опережающим токами, а также присоединением поочередно к нескольким фазам сети (это приводит к тому, что максимумы излучения соседних ламп не совпадают по времени, в результате чего уменьшается глубина пульсации суммарного светового потока, а следовательно, и освещенности).

*Люминесцентные лампы* низкого давления изготавливают на напряжение 220 В мощностью 40, 65, 80 и 150 Вт. По цветности излучения различают люминесцентные лампы: ЛБ — белого цвета, ЛХБ — холодно-белого цвета, ЛД — дневного цвета, ЛТЦ — тепло-белого цвета, ЛТБ — с розовато-пурпурным оттенком, ЛДЦ — с цветопередачей, близкой к дневному свету. Находят также применение лампы с внутренним отражающим диффузным слоем типа ЛРБ (рефлекторные), используемые в светильниках без отражателей.

Световая отдача люминесцентной лампы мощностью 40...150 Вт составляет 80...65 лм/Вт, а средняя продолжительность горения — 10 тыс. ч (для 150 Вт — 5 тыс. ч). Наибольший световой поток ламп, установленных в светильниках, соответствует температуре воздуха в зоне светильников +20...25 °С; при повышении и понижении температуры поток снижается.

Недостатком люминесцентных ламп является их относительно сложная пускорегулирующая аппаратура.

Расчеты показывают, что применение высокоэкономичных люминесцентных ламп, световой КПД которых в 3...4 раза выше КПД ламп накаливания, позволяет сократить расход электроэнергии в 2...3 раза.

*Дуговые ртутные лампы* типа ДРЛ являются лампами высокого давления с исправленной цветопередачей. Исправление цветопередачи ртутного разряда в них достигается люминофором, нанесенным на внутреннюю поверхность колбы лампы. Однако в осветительных установках с лампами ДРЛ цветопередача сильно искажена.

Применяются четырехэлектродные лампы ДРЛ на напряжение 220 В мощностью 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт. Их световая отдача 44 лм/Вт (250 Вт)...60 лм/Вт (2000 Вт), продолжительностью горения 10 тыс. ч у лампы мощностью 2000 Вт. Температура окружающего воздуха мало влияет на световой поток, но при температуре -30 °С и ниже зажигание лампы становится затруднительным.

## § 2.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ

ПУЭ предусматривают три системы освещения (общее, местное и комбинированное) и два вида освещения (рабочее и местное).

При *общем освещении* освещенность рабочих поверхностей и всего помещения обеспечивается светильниками, размещенными равномерно по всей площади помещения или локализованно путем группировки их в местах, требующих повышенной освещенности.

Систему общего освещения применяют в производственных помещениях, в которых отсутствуют фиксированные рабочие места, не производятся работы, требующие различия мелких деталей, и где необходимо лишь общее наблюдение за работой машин. Общее равномерное освещение устраивают везде, где находится персонал, а также в местах движения транспорта.

Общее локализованное освещение применяют на площадках, где производятся работы и требуется повышенная освещенность рабочих мест.

При прожекторном освещении равномерность освещенности достигается соответствующим расположением прожекторов или групп прожекторов.

Прожекторы используют для освещения складов или передвижных установок, территорий, на которых не могут быть целесообразно размещены другие электроосветительные установки, а также в качестве охранного освещения.

Как правило, прожекторы устанавливают сосредоточенными группами на мачтах (повсеместно применяют типовые конструкции мачт), реже — поодиночке или небольшими группами на высоких зданиях.

Размещение мачт выбирают в процессе расчета, причем расстояние между мачтами лежит обычно в пределах от 6 до 15-кратной их высоты. При выборе расположения мачт учитывают наличие затеняющих предметов и, по возможности, преобладающее направление осей зрения.

Расположение прожекторов на мачтах задают наклоном их осей к горизонту  $\theta$  и углами  $\beta$  между проекциями их осей и условным направлением начала отсчетов углов. При освещении веером прожекторов указываются углы  $\beta$  для крайних прожекторов и углы  $\tau$  между проекциями осей соседних прожекторов веера.

К основанию мачты примыкает «мертвое пространство», ограниченное для большинства прожекторов радиусом примерно  $htg(45 - \theta)$ . Если оно попадает в пределы площади, требующей освещения, то устанавливают дополнительные светильники или сильно наклоненные прожекторы.

Для предварительного приближенного определения необходимой мощности прожекторной установки можно пользоваться формулой

$$w = mEk, \quad (2.2)$$

где  $w$  — удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;  $E$  — нормированная освещенность, лк;  $k$  — коэффициент запаса;  $m$  — коэффициент, который для прожекторов с лампами накаливания можно принимать в пределах 0,2...0,25, а с лампами ДРЛ и галогенными лампами накаливания — 0,12...0,16.

Расчет прожекторного освещения производят на горизонтальную освещенность, кроме случаев, когда требуется освещение только вертикальных поверхностей, и осуществляется чаще всего путем комбиновки изолукс или по методу веера прожекторов. Рекомендуется пользоваться альбомами с заранее построенными изолуксами, и лишь при отсутствии таковых производить новые построения.

Преимущественно в условиях промышленных предприятий используют прожекторы заливающего света ПЗС-45 с лампами 1000 Вт; для небольших площадей применяются также ПЗС-35 с лампами 500 Вт. Установка ламп иных мощностей не рекомендуется. В специальных случаях применяются фасадные прожекторы серии ПФС.

*При местном освещении* требуемую освещенность создают только на рабочих поверхностях. Светильники местного освещения чаще устанавливают в непосредственной близости к рабочему месту. Местное освещение рассчитывается, как правило, на напряжение 12 и 40 В.

*При комбинированном освещении* необходимую освещенность рабочих поверхностей обеспечивают светильники общего и местного освещения. Их применяют для особо точных, высокой точности и точных работ.

Применение общего и комбинированного освещения ПУЭ разрешают, а только одного местного освещения запрещают.

Различают два вида освещения — рабочее и аварийное.

*Рабочее освещение* создает требуемую по нормам освещенность, обеспечивая этим необходимые условия работы при нормальной эксплуатации. При отключении рабочего освещения *аварийное* должно давать возможность в одних помещениях продолжать работу при сниженной освещенности (аварийное освещение для продолжения работы), в других — безопасно выйти людям из помещения (эвакуационное аварийное освещение).

*Аварийное освещение для продолжения работы* предусматривают для помещений и на открытых площадках, где отсутствие света может быть причиной взрыва, пожара, или привести



к длительному нарушению технологического процесса или вызвать опасность травматизма в местах большого скопления людей. Наименьшая допустимая освещенность рабочих поверхностей, требующих обслуживания при аварийном освещении должна составлять не менее 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк.

Эвакуационное аварийное освещение применяют в значительном большем количестве помещений, чем аварийное освещение для продолжения работ.

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Какие производственные установки называют электроприемниками?
2. Какие электромеханические устройства называют электроприводом?
3. Что подразумевают под силовыми установками общепромышленного назначения?
4. Какие установки электротехнологии наиболее часто применяют в цехах промышленных предприятий?
5. Какие источники света широко используют для освещения производственных помещений и рабочих мест?
6. Назовите системы и виды освещения, применяемые на предприятиях?