

Серия «Высшее образование»

Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, М. Г. Ошурков

Электроснабжение

Учебник

Рекомендовано федеральным государственным бюджетным учреждением «Федеральный институт развития образования» (ФГБУ «ФИРО») в качестве учебника для использования в образовательном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата), профиль (направленность) «Электроснабжение». (рецензия № 442 от 20 декабря 2017 г.)

Ростов-на-Дону

 **ЕНИКС**
2018

УДК 621.31(075.8)
ББК 31.279я73
КТК 230
К88

Кудрин Б. И.

К88 Электроснабжение : учебник / Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, М. Г. Ошурков. — Ростов н/Д : Феникс, 2018. — 382 с. — (Высшее образование).

ISBN 978-5-222-30548-5

Учебник «Электроснабжение», соответствующий ФГОС 3+ поколения, посвящен вопросам электроснабжения и организации электрохозяйства потребителей при проектировании, эксплуатации, реконструкции. Подробно рассмотрены: расчет электрических нагрузок; выбор и компоновка оборудования электроустановок; способы канализации электроэнергии; обеспечение надежности электроснабжения, качества электроэнергии; компенсация реактивной мощности. Рассмотрены различные аспекты взаимоотношений потребителей с субъектами электроэнергетики в условиях рыночной экономики.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» (13.03.02 бакалавриат, 13.04.02 магистратура).

УДК 621.31(075.8)
ББК 31.279я73

ISBN 978-5-222-30548-5

© Кудрин Б. И., Жилин Б. В., Ошурков М. Г., 2018
© Оформление: ООО «Феникс», 2018

Содержание

Введение	6
1. Электрическое хозяйство потребителей	10
1.1. Этапы становления электрики	10
1.2. Субъекты электроэнергетики	13
1.3. Уровни системы электроснабжения промышленных предприятий и городов	17
1.4. Потребители и их классификация	21
1.5. Основные приемники электрической энергии	25
2. Потребление электроэнергии и электрические нагрузки	31
2.1. Показатели потребления электроэнергии	31
2.2. Расчетная электрическая нагрузка элементов	39
2.3. Методы расчета промышленных электрических нагрузок	45
2.4. Методы расчета коммунально-бытовых электрических нагрузок	54
2.5. Этапы проектирования и определение электрических нагрузок комплексным методом	59
3. Системы электроснабжения промышленных и коммунально-бытовых потребителей на напряжении ниже 1кВ	66
3.1. Напряжение и режим нейтрали систем электроснабжения ниже 1кВ	66
3.2. Сети промышленных предприятий ниже 1 кВ	73
3.3. Выбор аппаратов коммутации и защиты сетей ниже 1 кВ	83
3.4. Состав, размещение и выбор цеховых ТП	99
4. Системы электроснабжения промышленных предприятий и городов выше 1 кВ	120
4.1. Напряжение, режим нейтрали и схемы сетей выше 1 кВ	120

4.2. Схемы, компоновка и выбор оборудования ГПП/ПГВ ...	131
4.3. Подключение систем электроснабжения потребителей к объектам энергосистемы	145
5. Выбор вида и параметров проводников	152
5.1. Канализация электроэнергии ниже 1кВ	152
5.2. Канализация электроэнергии выше 1кВ	163
5.3. Воздушные линии электропередачи	171
5.4. Выбор сечения проводников	176
6. Выбор элементов системы электроснабжения выше 1 кВ	183
6.1. Действие токов различных режимов на элементы систем электроснабжения	183
6.2. Выбор высоковольтных выключателей распределительных устройств	185
6.3. Выбор разъединителей, отделителей, короткозамыкателей	188
6.4. Выбор выключателей нагрузки и предохранителей	189
6.5. Выбор реакторов	191
6.6. Выбор измерительных трансформаторов	194
7. Расчет токов короткого замыкания	198
7.1. Расчет периодической составляющей тока КЗ	198
7.2. Основы расчета составляющих токов КЗ	208
7.3. Расчет токов КЗ в системах электроснабжения выше 1 кВ	215
7.4. Расчет токов КЗ в сетях до 1 кВ	218
8. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения	225
8.1. Понятие реактивной мощности и компенсации	225
8.2. Потребление реактивной мощности в системах электроснабжения	231
8.3. Источники реактивной мощности в системах электроснабжения	234
8.4. Выбор мощности и размещения компенсирующих устройств до 1 кВ	246
8.5. Выбор мощности и размещения КУ выше 1 кВ	250

9. Качество электрической энергии	253
9.1. Проблема качества электрической энергии	253
9.2. Продолжительные изменения характеристик напряжения	257
9.3. Случайные события	282
10. Надежность систем электроснабжения	291
10.1. Понятие и нормативные требования по надежности	291
10.2. Показатели надежности систем электроснабжения	299
10.3. Определение показателей надежности систем электроснабжения	304
10.4. Определение ожидаемого ущерба от перерывов электроснабжения	311
11. Электробезопасность в системах электроснабжения	315
11.1. Обеспечение электробезопасности в электротехнических системах	315
11.2. Мероприятия по обеспечению электробезопасности	317
12. Режимы электропотребления и организация учета электроэнергии у потребителей	344
12.1. Энергетические балансы. Нормирование расходов электроэнергии	344
12.2. Система оплаты электроэнергии потребителями	353
12.3. Экономия электроэнергии потребителями	357
13. Взаимоотношения потребителей с субъектами электроэнергетики	367
13.1. Юридически-правовые взаимоотношения	367
13.2. Техничко-экономические взаимоотношения	373
13.3. Оперативно-диспетчерские взаимоотношения	377
Литература	381

Введение

Теоретические основы электротехники (ТОЭ) опираются на фундаментальные представления, восходящие к механике Ньютона и электродинамике Максвелла, т. е. на представления первой научной картины мира. Законы Кулона, Ома, Кирхгофа и другие есть частные решения, вытекающие из фундаментальных законов. Принципиально, что результат решения задачи ТОЭ полностью и однозначно определяется исходными данными; он не зависит от времени, от решающего субъекта. Эти же законы легли и в основу расчетов электроэнергетических систем.

Сложность и большая протяженность электрических сетей, непредсказуемое изменение состава подключенных генераторов и нагрузок приводят к существенным отличиям подходов к расчетам режимов электрических систем от расчетов электрических цепей по ТОЭ. Необходимо использовать положения теории вероятностей. Линейные и нелинейные процессы электрических систем, установившиеся и переходные режимы описываются системами алгебраических и дифференциальных уравнений, не отличающимися концептуально от уравнений ТОЭ. Однако параметры электрической системы могут иметь вероятностно-детерминированный характер и изменяться в зависимости от времени или какого-либо параметра процесса, могут иметь «случайные» изменения. В общем случае, исследования электрических систем опираются на системно-кибернетические, вероятностно-статистические представления (вторая научная картина мира), используя теорию вероятностей и гауссову математическую статистику, теорию больших систем, кибернетику, исследование операций, теорию надежности, технический анализ, многокритериальную оптимизацию и другие методы.

Обратимся к электрическому хозяйству и оценим его количественно. Общее количество электротехнических изделий, блоков, узлов, деталей, простейших и иных изделий, материалов, каждое из которых определили в проекте как отдельную единицу, составляет для крупного потребителя 10^{10} . Если рассматривать предприя-

тие в целом, то общая оценка составляющих — 10^{11} элементарных изделий, единиц, штук (особей). Это практическая бесконечность. Техническую систему такого типа называют *техноценозом*. Это некоторое сообщество изделий-особей (единиц, штук), каждое из которых в определенном смысле можно считать неделимым (элементарным) и которые стали частью электрического хозяйства не в одно время, поступили не от одного изготовителя, большей частью выбраны не только по формулам, но и по субъективным привязанностям, объективным обстоятельствам, а то и случайно. Существуют постулаты (законы), которые обеспечивают само существование электрического хозяйства, указывают количественные параметры его устойчивости и эффективности. Электрическое хозяйство создается, функционирует и развивается не столько на основе классических законов механики и ТОЭ, сколько на основе некоторых ценологических ограничений (ограничений самоорганизации), и изучается в рамках более широкой специальной области знания, которая получила название *электрика*.

Укажем на два ключевых ценологических свойства электрического хозяйства: 1) выделить его физически невозможно, его границы конвенционны; ценоз задается семантически-словесным описанием и набором показателей; 2) оно характеризуется слабыми связями элементов-составляющих и слабым взаимодействием. Например, работа двигателя насоса, установленного в одном цехе, практически не зависит от работы вентилятора в другом цехе или освещения в третьем. Но они связаны единым менеджментом, участием в максимуме нагрузки, системой ремонта и другими слабыми связями.

Каждый ценоз индивидуален. Это принципиальное отличие от концепции ТОЭ, где при наличии одних и тех же исходных данных решение полностью и однозначно определяется конечным набором параметров в рассматриваемый момент времени как для тел (полей), так и для движения (траектории). Например, по отрасли удельные расходы электроэнергии на какой-то вид продукции для разных предприятий могут отличаться в несколько раз. Расчеты общего расхода электроэнергии по среднему неприменимы. Каждое предприятие есть индивидуальный ценоз и имеет свои характерные особенности.

Множество единиц оборудования и разнообразие режимов их работы не позволяют точно определить создаваемую нагрузку. При исследовании работы отдельного электроприемника (двигателя, печи) можно рассчитать его характеристики, КПД, коэффициент загрузки. Но уже при расчете электропотребления предприятия мы не можем опираться на отдельные электроприемники. Для решения задач электрики необходимо наряду с классическими и вероятностными представлениями использовать ценологические модели, базирующиеся на математическом аппарате бесконечно делимых N -распределений.

Итак, существуют три группы законов, фундаментальные свойства и особенности использования которых следует учитывать в практической деятельности. Менеджер-электрик, обеспечивающий повышение эффективности электрического хозяйства, должен принимать решения, в одних случаях, опираясь на жесткие расчеты, определяемые законами ТОО, в других — на вероятностно-статистические законы, наконец — на ценологические представления об электрохозяйстве.

Настоящее издание учитывает деятельность специалиста как исследователя систем электроснабжения; как проектировщика при инвестиционном строительстве и техническом перевооружении предприятий; как эксплуатационника электрического хозяйства, определяющих наряду с научными исследователями дальнейшее развитие электрики, включая требования к конструкторам и фирмам-изготовителям электротехнической продукции, требования к субъектам электроэнергетики; наконец, как менеджера, прогнозирующего, планирующего, организующего, руководящего и контролирующего заказ, получение, распределение и использование электротехнических устройств (изделий) и электрической энергии.

В рамках представленной работы, конечно, нельзя охватить все перечисленные вопросы, которые скорее задают направления профессионального совершенствования, обрисовывают трудности, с которыми сталкивается развитие этой области знания и техники. Описание систем электроснабжения, представленное в данном издании, пригодно как для первого знакомства студентам высших учебных заведений, так и может быть полезно специалистам, инженерно-техническим работникам, так как содержит оригинальные

обобщения и нестандартную подачу ряда материалов. Любое изложение учебного материала — это компромисс между глубиной изучения каждого вопроса и общим охватом тем. В данной работе авторы, опираясь на достаточно элементарные понятия, лежащие в основе явлений процессов, систематизировали многообразные варианты систем электроснабжения и их частей, рассмотрели основные принципы построения систем электроснабжения промышленности, электроснабжения коммунально-бытовой нагрузки с учетом современных подходов, взаимоотношений потребителей с субъектами электроэнергетики.

1. Электрическое хозяйство потребителей

1.1. Этапы становления электрики

Электричество — область теоретического знания и практики, включающая свойства, действия и проявления; получение, преобразование, передачу и распределение и, наконец, использование электричества как материала и энергии во всех видах.

Электрика — область экономики и науки, решающая задачи построения, обеспечения функционирования и развития электрической части объектов промышленности, транспорта, организаций и учреждений, сельского хозяйства и населения от границы раздела «потребитель — энергосистема» до единичного электроприемника или комплекса, поставленного изготовителем.

Электроэнергетика (по Федеральному закону «Об электроэнергетике» 2003 г.) — это «отрасль экономики Российской Федерации, включающая в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства, передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных и иных имущественных объектов (в том числе входящих в Единую энергетическую систему России), принадлежащих на праве собственности или на ином, предусмотренном федеральными законами основании, субъектам электроэнергетики или иным лицам. Электроэнергетика является основой функционирования экономики и жизнеобеспечения».

Сопоставив определения, мы видим различия в целях, задачах и методах их решения. Именно поэтому мы выделяем электрику как самостоятельную отрасль экономики и самостоятельную науку. Возникновение электрики как науки определили наличие объекта исследования и управления (электрохозяйство потребителя), разработку собственных методов расчета электротехнических и энергетических параметров объектов электрохозяйства, со-

здание адекватного объекту математического аппарата гиперболических H -распределений; появление специфических задач и методов электроменеджмента, включая подходы к решению проблем нормирования и энергосбережения. Задача электрики — оптимизация (в широком смысле) формирования (из готовых изделий электротехники) и эксплуатация (с использованием энергии, производимой электроэнергетикой) электрохозяйства потребителя с учетом неизбежной технической эволюции.

В 1800–1830 гг. появилась электрическая наука, а уже к 80-м годам — электрическая техника. Теоретическим фундаментом электротехнической науки и промышленности явилась система уравнений электромагнитного поля Дж. Максвелла (1873), которая связала электрические и магнитные явления, тем самым объяснив порождение электричества магнетизмом.

На Первом международном конгрессе электриков (1881, Париж) была принята электромагнитная система единиц CGS, определены и получили наименование электрические единицы. На Втором (1889, Париж) — определены характеристики переменного тока; приняты электрические единицы: джоуль, ватт, десятичная свеча. На Третьем (1891, Франкфурт-на-Майне) — рассмотрены вопросы разработки электрооборудования, развития многофазных систем. На Четвертом (1893, Чикаго) — приняты эталоны электрических единиц измерения; обсуждена система символов для обозначения различных электрических величин. Все это привело к образованию Международной электротехнической комиссии — МЭК (1904) и признанию теоретических основ электротехники (ТОЭ) как самостоятельной науки.

Количественный рост разнообразия электротехнического оборудования, требования электроснабжения городов и заводов, планы широкой электрификации потребовали решения проблемы генерации и передачи электроэнергии (ЭЭ) на расстояние, разработки промышленных типов трансформаторов и высоковольтного оборудования и привели к рождению электроэнергетики как науки и области практической деятельности.

Рождение электроэнергетики в России неразрывно связывают с планом ГОЭЛРО (1920). В 50-е годы было завершено создание Единой энергетической системы. Реформа электроэнергетики (2003) пошла по варианту: генерация частная; передача, управление единой

системой, тарифы — государственные. Реструктуризация основывалась на принципах либерализации рынка, декларируя свободный доступ любого производителя и любого потребителя к электрической сети.

Потребители электрической энергии до XX века не выделялись как отдельный объект научных исследований. Электроснабжение как таковое в нашем сегодняшнем понимании отсутствовало: от ТЭЦ, еще не связанной с энергосистемой, высоковольтные кабели заходили на коммутационный пункт, управляющий единичным высоковольтным двигателем или включающий мало мощный трансформатор 6(3)/0,4 кВ. Электрики ТЭЦ отвечали не только за собственно выработку ЭЭ, но и за всю высоковольтную коммутационную аппаратуру и кабели, цеховые трансформаторы. Не требовалось выделения заводской электрослужбы.

К середине 30-х годов стало ясным, что возник новый объект: вначале — внутрицеховое, а затем внутризаводское электроснабжение. Сложилась практика проектирования электрообеспечения для функционирования электропривода, электротермии, освещения, но отсутствовала теория электроснабжения предприятий. Ключевым вопросом проектирования электроснабжения стал расчет электрических нагрузок, связанный, как теперь ясно, с уровнем системы электроснабжения и стадией принятия проектного решения. Со временем были разработаны методы выбора напряжений при минимальном числе трансформаций; числа, мощности и места расположения подстанций; параметров элементов систем электроснабжения с учетом динамики нагрузок; способов сохранения устойчивости двигателей при кратковременных перерывах электроснабжения; подходов к оптимизации показателей качества ЭЭ.

После Второй мировой войны отчетливо проявлялась специфика систем электроснабжения потребителей. Приказом Государственного Комитета Обороны еще в 1944 г. на предприятиях с мощностью 1000 кВт вводилась должность главного энергетика, а свыше 3 000 кВт — он становился и заместителем главного инженера. Возникла необходимость в разработке теоретических основ электроснабжения промышленных предприятий.

Промышленность в 60–80-е годы стала оснащаться разнообразным оборудованием; качественно изменился электропривод,

электротермия; расширилась область применения электричества, появились автоматизированные линии, поточно-транспортные системы. Рост потребления ЭЭ обуславливался расширением производства и вводом в эксплуатацию крупных энергоемких агрегатов и производств, интенсификацией производства, широким использованием глубоких вводов высокого напряжения к заводским потребителям (в настоящее время до 330 кВ), что сокращало кабельные сети 6; 10 кВ, снижало потери ЭЭ и увеличивало надежность электроснабжения; сооружением кабельных линий 110, 220 кВ взамен воздушных; установкой на подстанциях, питающих «ударные» нагрузки, понижающих трансформаторов специального исполнения; установкой на предприятиях фильтрокомпенсирующих устройств, включая динамическую компенсацию реактивной мощности «ударных» нагрузок.

Рост величины потребляемой мощности (энергии), повышение требований к оперативности и надежности собственных схем электроснабжения привели к организации служб телемеханизации и диспетчеризации объектов электроснабжения, осуществляемой на базе средств вычислительной техники. Требования по экономии ЭЭ привели к организации автоматизированного учета ЭЭ с применением вычислительных комплексов и к разработке мероприятий по регулированию электропотребления с целью выравнивания графиков нагрузки. Был решен вопрос о схемах электроснабжения и сетях энергоемких предприятий.

1.2. Субъекты электроэнергетики

В соответствии с Федеральным законом «Об электроэнергетике» **субъекты электроэнергетики** — лица, осуществляющие деятельность в сфере электроэнергетики, в том числе производство электрической и тепловой энергии, поставки (продажу) электрической энергии, энергоснабжение потребителей, предоставление услуг по передаче электрической энергии, оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике, сбыт электрической энергии, организацию купли-продажи электрической энергии.

Производство ЭЭ осуществляется *генерирующими компаниями* (ГК). Основные функции ГК: поставка ЭЭ на рынок в точки

присоединения к электрическим сетям; оказание субъектам оптового рынка системных услуг; обеспечение поддержания оборудования электростанций в рабочем состоянии в соответствии с требованиями нормативных документов; организация текущего управления функционированием оборудования электростанций во взаимодействии с системным оператором (СО) и администратором торговой системы (АТС), обеспечивая обмен информацией на оптовом рынке (ОРЭ) (эта функция выполняется в соответствии с договорами, заключаемыми генерирующей компанией с АТС, СО и сетевыми компаниями (СК), к сетям которых присоединено оборудование ГК); предоставление генерирующих мощностей для выполнения заданного диспетчерского графика, поддержания в электрической сети заданных параметров режима и ликвидации чрезвычайных и аварийных ситуаций; вывод генерирующих мощностей в ремонт и из эксплуатации только по предварительному согласованию с СО; обеспечение коммерческого учета ЭЭ, выдаваемой в сеть.

Электросетевые компании (ЭСК) предоставляют услуги по передаче электрической энергии по электрическим сетям. К Федеральной сетевой компании (ФСК) относятся электрические сети напряжением 220 кВ и выше. ФСК организует формирование национальной электрической сети, обеспечивая объединение электрических сетей региональных сетевых компаний; обеспечивает передачу ЭЭ по своим сетям от производителей к региональным и распределительным сетям или непосредственно к квалифицированным потребителям (КП); выполняет работы по текущему техническому обслуживанию и развитию участков национальной электрической сети. К региональным сетевым компаниям (РСК) относятся электрические сети напряжением 110 кВ и ниже. РСК обеспечивают передачу ЭЭ по своим сетям от ФСК, производителей ЭЭ к распределительным сетям или непосредственно к потребителям; выполняют работы по текущему техническому обслуживанию и развитию электрических региональных сетей, не относящихся к ФСК.

Общими функциями сетевых компаний являются: обеспечение присоединения к своим электрическим сетям производителей и потребителей ЭЭ; обеспечение услуг по передаче ЭЭ и мощности участникам рынка; поддержание оборудования электрических сетей в рабочем состоянии; обеспечение аварийного запаса материалов

и изделий; повышение пропускной способности и надежности сетей; обеспечение коммерческого учета ЭЭ и показателей качества ЭЭ по договору со сбытовой компанией или потребителем ЭЭ; обеспечение технического учета ЭЭ; недопущение получения электрической энергии участниками рынка, которые не выполняют технические требования и/или не оплачивают потребляемую ими ЭЭ.

Сбытовая компания (СБК) — юридическое лицо, осуществляющее продажу приобретенной на оптовом рынке ЭЭ потребителям на основании договоров. СБК обязаны: заключать с владельцем электрических сетей, к которым присоединены потребители, договоры на оказание сетевых услуг; заключать с СО договоры на диспетчерское управление, предоставление и оказание системных услуг; осуществлять покупку ЭЭ с ОРЭ; изучать спрос на ЭЭ и прогнозировать потребление ЭЭ по группе потребителей, с которыми заключены договоры энергоснабжения; обеспечивать коммерческий учет ЭЭ; обеспечивать учет стоимости нормативных потерь при оплате транспорта ЭЭ; организовывать выполнение мероприятий, обеспечивающих прекращение отпуска электрической энергии неплательщикам.

Реформирование электроэнергетики привело к организации оптового рынка ЭЭ и мощности (ОРЭ), функционирование которого потребовало образования новых субъектов электроэнергетики. Администратор торговой системы (АТС) проводит торги и обеспечивает расчеты между производителями и покупателями ЭЭ на ОРЭ. Основные функции АТС: организация торговли на ОРЭ; обеспечение расчетов за поставляемую ЭЭ и услуги, оказываемые участникам ОРЭ; обеспечение равных условий для всех участников ОРЭ; разработка коммерческих правил ОРЭ и осуществление контроля их соблюдения; организация системы досудебного урегулирования споров между участниками ОРЭ; организация системы контроля за действиями СО; расчет по узлам, к которым прикреплены участники рынка, равновесных цен, почасовых объемов производства и потребления ЭЭ; согласование с СО плановых почасовых объемов производства и потребления ЭЭ на «сутки вперед»; информирование продавцов и покупателей о согласованных плановых объемах производства и потребления ЭЭ; обеспечение наличия данных коммерческого учета, их хранение и предоставление субъектам рынка; разработка совместно с СО методологии отбора генераторов

для предоставления системных услуг; недопущение подачи ЭЭ потребителям, не оплачивающим полученную ЭЭ.

СО — юридическое лицо, осуществляющее оперативно-технологическое (диспетчерское) управление режимами работы Единой энергетической системы России, составление и исполнение балансов производства и потребления ЭЭ, обеспечение надежности энергосистемы страны и показателей качества ЭЭ. Основными функциями СО являются: обеспечение надежного и эффективного функционирования Единой энергетической системы России; эксплуатация и развитие средств диспетчерского и технологического управления, находящихся в его собственности; обеспечение функционирования и развитие технологической инфраструктуры конкурентного рынка ЭЭ; организация технологического управления процессом передачи ЭЭ для реализации принципа открытого доступа к электрической сети субъектов рынка; оказание оперативно-технологических услуг всем участникам параллельной работы и субъектам ОРЭ.

Оперативные команды СО являются обязательными для исполнения всем оперативным персоналом субъектов рынка ЭЭ.

Потребители ЭЭ взаимодействуют с субъектами электроэнергетики. Отметим особенность понятия «потребитель». С точки зрения представителей субъектов электроэнергетики, потребители электрической и тепловой энергии — лица, приобретающие электрическую и тепловую энергию для собственных бытовых и (или) производственных нужд. То есть потребитель — субъект, с которым есть договор энергоснабжения (поставки) и который платит за энергию (мощность). При этом, например, цех в составе предприятия не является потребителем. С точки зрения специалистов в области электроснабжения промышленных предприятий, потребитель (по ПУЭ) — ЭП или группа ЭП, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории. При этом любое выделенное подразделение предприятия — потребитель, для которого необходимо решать весь комплекс вопросов электроснабжения — от определения расчетной нагрузки до организации учета ЭЭ.

ОРЭ добавил понятие «квалифицированный потребитель ЭЭ» (КП) — потребитель, имеющий право покупать ЭЭ на ОРЭ. КП обязаны: заключать с владельцем электрических сетей, к которым подключен КП, договор на оказание сетевых услуг; заключать с СО

договор на диспетчерское управление, предоставление и оказание системных услуг; поддерживать принадлежащее им электротехническое оборудование, присоединенное к электрическим сетям СК, в рабочем состоянии; при наличии у КП собственных генерирующих мощностей: организовать управление оборудованием собственных электростанций во взаимодействии с СО и с АТС; предоставлять мощности для выполнения диспетчерского графика, поддержания в электрической сети заданных параметров режима и ликвидации чрезвычайных и аварийных ситуаций; выводить свои генерирующие мощности в ремонт и из эксплуатации только по предварительному согласованию с СО; представлять информацию для разработки «Схемы развития национальной электрической сети ЕЭС России на десятилетнюю перспективу»; обеспечивать коммерческий учет ЭЭ, потребляемой в точках приема; учитывать стоимость нормативных потерь при оплате потребленной ЭЭ.

В электроэнергетике, кроме того, используется понятие «потребитель — регулятор нагрузки», — потребитель электрической энергии (мощности), в договорных условиях которого предусмотрен порядок снижения или увеличения электропотребления по требованию СО для регулирования графика нагрузки энергосистемы.

1.3. Уровни системы электроснабжения промышленных предприятий и городов

Электроснабжением называют обеспечение потребителей ЭЭ; **системой электроснабжения** — совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей ЭЭ (ПУЭ, 1.2.5). **Система электроснабжения** может быть определена как совокупность взаимосвязанных электроустановок, осуществляющих электроснабжение района, города, предприятия.

Схемы систем электроснабжения предприятий, организаций, учреждений имеют существенные отличия, но все они организованы в виде иерархической многоуровневой структуры. Выделение уровней является по своей сущности обобщением возможных схем электроснабжения, что полезно при обучении проектированию и эксплуатации.

В системах электроснабжения выделяют следующие уровни напряжения: низкое напряжение (НН) — до 1 кВ; среднее (СН) — 6, 10, 20 кВ; высокое (ВН) — 35, 110, 150, 220 кВ; сверхвысокое напряжение (СВ) — 330, 500, 750, 1150 кВ. Именно такой классификации будем придерживаться в данном изложении. Заметим, что для разных целей используются и другие классификации, например для целей коммерческого учета ЭЭ, связанного с выбором ценовых категорий, напряжения 6, 10, 20 кВ называют «среднее напряжение 2» (СН2); напряжение 35 кВ — «среднее напряжение 1» (СН1); напряжение 110 кВ и выше — «высокое напряжение» (ВН).

Деление системы электроснабжения по напряжению до и выше 1 кВ идет от электроэнергетики и существенно при эксплуатации и ремонте электроустановок. Однако такое деление не учитывает различие схем, не учитывает, что система электроснабжения потребителя также многоступенчата, иерархична. Многоуровневость нужно учитывать при решении практически всех вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией: при расчете электрических нагрузок, регулировании электропотребления, электросбережении, компенсации реактивной мощности, оптимизации потерь в сетях и т. д.

Электрическое хозяйство потребителя как техническая система рассматривается в качестве объекта проектирования, планирования, управления, обеспечения функционирования. В проектном задании для любого завода в целом и для каждого цеха в 30-е годы прошлого века приводился полный перечень устанавливаемых электродвигателей, трансформаторов. Прямым счетом определялись проводниковые материалы, низковольтные аппараты, электросчетчики.

В 50-х годах для связи с энергосистемой стали сооружаться районные и узловые подстанции с высшим напряжением 110 (154) и 220 (330) кВ, а затем 500 и 750 кВ. Рациональным было признано строительство ГПП и ПГВ, максимально приближаемых к потребителям и часто совмещаемых с РП цехов. Число уровней системы электроснабжения увеличилось, сама схема усложнилась. На каждом уровне стала проявляться специфика, влияющая на принимаемые технические решения. В системах, которые сложились к настоящему времени теоретически и практически, следует различать следующие уровни (ступени) системы электроснабжения (рис. 1.1).

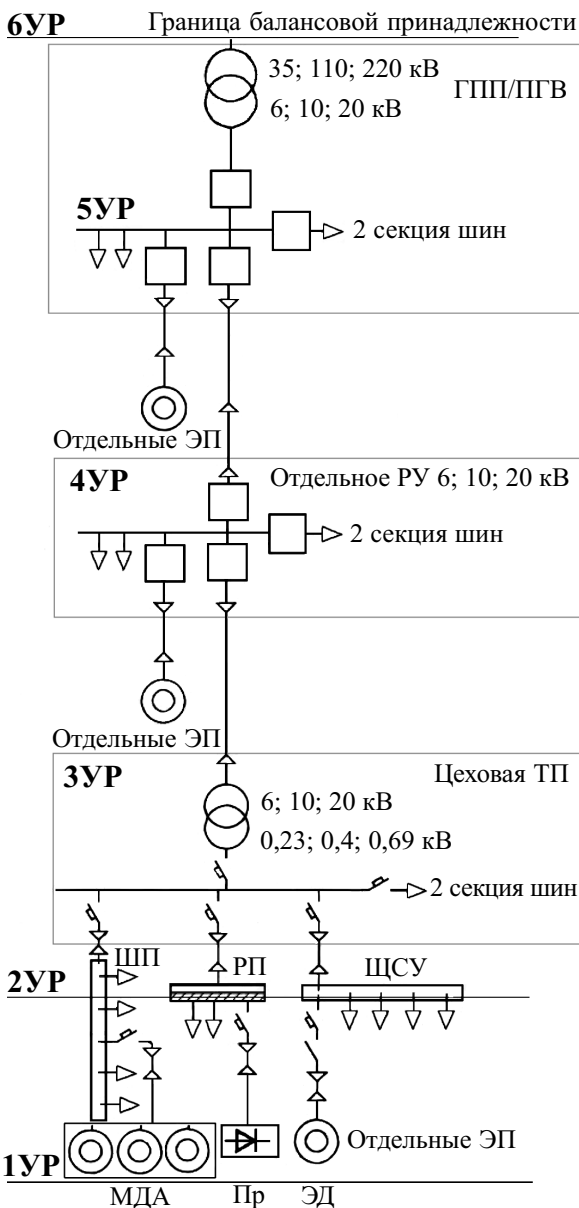


Рис. 1.1. Уровни системы электроснабжения промышленного предприятия

Отдельный ЭП — аппарат, механизм, преобразователь (Пр), установка, станок, многодвигательный агрегат (МДА) с приводом или другой группой ЭП, связанных технологически или территориально и образующих единое изделие с определенной паспортной мощностью, питающийся по одной линии — первый уровень, **1УР**.

Распределительные пункты (РП) или групповые щиты питания напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока, щиты станций управления (ЩСУ), вводно-распределительные устройства (ВРУ), шинопроводы — второй уровень, **2УР** (РП, в свою очередь, может получать питание от другого устройства 2УР: ЩСУ, ШП, РП, т. е. может применяться разбиение на подуровни, количество которых обычно не более трех).

Шины распределительного устройства (РУ) низкого напряжения цеховой трансформаторной подстанции 6; 10; 20/0,23; 0,4; 0,69 кВ или сам трансформатор — третий уровень, **3УР**.

Шины отдельно стоящего РУ 6; 10; 20 кВ, иногда используют термин «распределительная подстанция» — четвертый уровень, **4УР**.

Шины РУ главной понизительной подстанции (ГПП), подстанции глубокого ввода (ПГВ), опорной подстанции района — пятый уровень, **5УР**.

Граница раздела потребителя с субъектами электроэнергетики — шестой уровень, **6УР** (уровень, на котором решаются юридически-правовые и технико-экономические вопросы взаимоотношений потребителя с субъектами электроэнергетики).

Отметим **особенности** выделения уровней в системах электроснабжения коммунально-бытовых потребителей.

1УР — отдельный ЭП может подключаться не стационарно, а посредством розеточного контакта, причем место подключения может меняться. Защита ЭП и его питающей линии, объединение в общее присоединение для более высокого уровня осуществляется, как и в промышленности, на 2УР: в жилых помещениях — квартирный щиток, в нежилых — отдельные щиты, «сборки» автоматов, предохранителей. На вводе в здание находится одно или несколько вводных распределительных устройств (ВРУ) — это тоже 2УР, аналог РП в промышленности, которое получает питание от 3УР и распределяет его по групповым щиткам квартир, щитам нежилых помещений, отдельным крупным ЭП. 3УР — 6УР в схемах электро-

снабжения коммунально-бытовой нагрузки не имеют заметных отличий от промышленных потребителей, хотя схемы питания и соединения более разнообразны, чем в промышленности. Заметим, что на рис. 1.1 указан один из возможных вариантов, в конкретной схеме могут быть отличия, которые изучаются в последующих разделах. Оценочно количество элементов схемы от уровня к уровню изменяется в 10 раз (на порядок). Указанное число уровней для промышленного предприятия — минимальное.

1.4. Потребители и их классификация

Потребителем ЭЭ, по ПУЭ (1.2.9), называется ЭП или группа ЭП, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории. С точки зрения электроснабжения эта формулировка неудачна, так как, во-первых, ставит знак равенства между потребителем и ЭП; во-вторых, группу ЭП (как потребителя) следует выделять административно, и она не всегда объединена технологически или территориально. Специалисты-электроэнергетики рассматривают электроснабжение как доведение ЭЭ до границы раздела с потребителем (БУР), представляя структуру электроэнергетической системы в виде рис. 1.2, вводя в свою структуру и потребителей, что и делает систему электроэнергетической. Для задач электроэнергетики такое представление вполне достаточно. В настоящее время считают, что за границей раздела с энергоснабжающей организацией начинается область *электрики*, специфичность задач которой требует своей теории, своих специалистов.

Будем считать потребителем юридическое или физическое лицо, имеющее договор с энергоснабжающей организацией и выступающее как один абонент. Естественно, что с точки зрения электроснабжения необходима структуризация таких объектов электрики. В общем случае это касается электрического хозяйства всех потребителей, которое следует рассматривать вниз от границы раздела «потребитель — электроснабжающая организация». Термин «электроснабжение» редко применяют для отдельного ЭП. Действительно, не говорят «электроснабжение лампочки», «электроснабжение двигателя вентилятора» и др. Исключение делают для особо крупных,

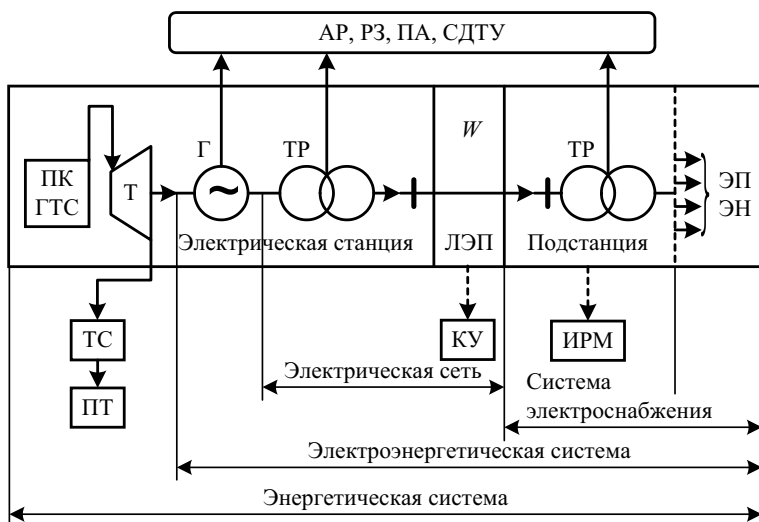


Рис. 1.2. Взаимосвязь объектов, обеспечивающих электроснабжение:

Т — турбины; Г — генераторы; Тр — трансформаторы; ЛЭП (W) — линии электропередачи; ЭП, ЭН — приемники электроэнергии и нагрузочные узлы (группы приемников — потребители); АР — автоматические регуляторы; РЗ — устройства релейной защиты; ПА — противоаварийная автоматика; СДТУ — средства диспетчерского и технологического управления; ИРМ — источники реактивной мощности; КУ — устройства продольной и поперечной компенсации параметров ЛЭП; ПК — паровые котлы; ГТС — газотранспортные системы; ТС — тепловые сети; ПТ — потребители тепловой энергии

энергоёмких (например, дуговая сталеплавильная печь). Но такие ЭП питаются на напряжении 35; 110; 220; 330 кВ. Для них решают именно вопросы электроснабжения: учитывают их влияние на работу других ЭП, на качество ЭЭ, решают вопросы организации технического учета, определяют возможность регулирования с их помощью графика нагрузки потребителя в целом, применяют оригинальные, индивидуальные схемные решения. Потребители — это масса объектов (порядка 50 млн абонентов), разных по видам деятельности, формам собственности, назначению, технологии, размерам. Например, к 2017 году общее количество предприятий малого и среднего бизнеса в России (включая юридические лица и

индивидуальных предпринимателей) составило 5 671 909, из них микропредприятий — 5 380 768 (94,87%), малых — 270 540 (4,77%), средних — 20 601 (0,36%).

Введение иерархической схемы (рис. 1.1) положило начало электрике. Иерархичность, введение шести уровней объективированы спецификой задач проектирования, эксплуатации, менеджмента; спецификой методик расчетов, информационных потоков на каждом выделенном уровне системы электроснабжения. Это результат синтеза максимально абстрагированного взгляда на систему инженерной деятельности. Познавательное (гносеологическое) значение такого представления заключается в возможности выделения объекта электрики в целом (задача синтеза) и разбиения его на объекты, требующие узкой специализации инженеров, проектировщиков, научных работников (задача анализа).

Иерархическая схема приводит к следующей **классификации** потребителей по размеру:

- *мини-потребитель* — потребитель, питающийся на низком напряжении со 2УР (это около 90% всех потребителей (абонентов)) и не имеющий электрослужбы;
- *мелкий потребитель* — потребитель, имеющий трансформаторные (один трансформатор или несколько) подстанции с высшим напряжением 6; 10; 20 кВ;
- *средний потребитель* — потребитель, имеющий распределительные подстанции и развитое электрохозяйство со своей электрослужбой;
- *крупный потребитель* — потребитель, имеющий главную понижающую подстанцию (подстанции) с высшим напряжением 35–330 кВ и специализированные цеха (подразделения в составе электрослужб). При этом, независимо от размера потребителя, граница уровня, с которого он питается, юридически совмещается с БУР.

БУР — это предприятие в целом. Шестой уровень интегрирует нагрузки ГПП, ПГВ, ОП, ЦРП и распределительных устройств заводских ТЭЦ. С системой внешнего электроснабжения БУР связан линиями электропередачи, которые присоединены к источникам питания энергосистемы: районным и узловым подстанциям и электростанциям энергосистемы; к подстанциям

энергосистем, находящимся на территории предприятия. Сейчас эти внешние источники питания имеют номинальное напряжение от 6 до 750 кВ.

Особенность 6УР: для него имеются наиболее достоверные, сравнимые и обширные данные по заявленному получасовому максимуму нагрузки $P_{з\max}$, фактическому максимуму $P_{ф\max}$ в режимные дни, среднегодовой и среднесуточной нагрузке; по качеству ЭЭ, значению реактивной энергии, значениям напряжения, токов КЗ и другим. Но именно на этом уровне в наибольшей степени неприменима классическая электротехника, нет аналога, имеющего классический физический смысл: нет одной ЛЭП, трансформатора, выключателя и др., по которым пропускают $P_{з\max}$ и $P_{ф\max}$. Связей с субъектами электроэнергетики всегда несколько, и их количество может достигать до нескольких десятков. На 6УР реализуются все аспекты взаимоотношений потребителя и субъекта электроэнергетики: юридически-правовой, технико-экономический, оперативно-диспетчерский.

Кроме предложенной классификации по размеру потребителей можно классифицировать в зависимости от выполняемых функций, возможностей обеспечения схемы внешнего электроснабжения, величины и режимов потребления ЭЭ и мощности, тарифов и систем расчетов за ЭЭ, особенностей правил пользования ЭЭ на:

- промышленных и приравненных к ним потребителей;
- производственных сельскохозяйственных;
- оптовых потребителей-перепродавцов;
- бытовых потребителей;
- обобщественно-коммунальных потребителей (учреждения, организации, предприятия торговли и общественного питания и др.).

К *промышленным потребителям* приравнены строительные предприятия (за исключением строительных организаций в сельском хозяйстве); предприятия всех видов транспорта; предприятия организаций сельского хозяйства, шахты, рудники, карьеры, нефтяные, газовые и другие промыслы; предприятия материально-технического снабжения и заготовок; предприятия связи; предприятия коммунального хозяйства и бытового обслуживания. Значительное количество ЭЭ потребляется транспортом и прежде всего железнодорожным. К *группе производственных сельскохозяйственных потреби-*

телей относятся наряду с сельскохозяйственными предприятиями комбинаты, фабрики, заводы, лесхозы, рыбхозы, питомники, фермы, станции и другие потребители, которые непосредственно производят сельскохозяйственную продукцию. К *группе бытовых потребителей* наряду с населением относятся подсобные, приусадебные, индивидуальные, садовые участки и дачи, находящиеся в личном пользовании, гаражи для личных автомашин, личные мастерские художников и скульпторов, а также освещение уличной рекламы, дворов, лестниц и номерных фонарей жилых домов. Рассматриваемая группа потребителей — самая многочисленная. В крупных энергосистемах число бытовых ЭП исчисляется миллионами и постоянно увеличивается. *Группа обобщественно-коммунальных потребителей* охватывает государственные учреждения, жилищные организации, предприятия торговли и общественного питания; больницы, поликлиники и другие лечебные заведения; детские ясли и сады; школы, средние и высшие учебные заведения; железнодорожные, речные и аэровокзалы, аэродромы и аэропорты; предприятия бытового обслуживания; зрелищные, культурно-просветительные и другие непроеизводственные предприятия.

1.5. Основные приемники электрической энергии

Существует несколько определений приемника электрической энергии (электроприемника — ЭП): устройство, в котором происходит преобразование ЭЭ в другой вид энергии для ее использования; аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии (ПУЭ); устройство (аппарат, агрегат, механизм), в котором происходит преобразование электрической энергии в другой вид энергии для ее использования.

В любом случае ЭП — то, что характеризуется паспортными параметрами, достаточными для выбора провода (кабеля), коммутационного и защитного аппарата. И если ЭП представляет собой агрегат, то мы его все равно воспринимаем как единичный при расчете нагрузки, так как у него есть вводная коробка и общая

установленная мощность. Вниз по схеме от вводного устройства — область электропривода, хотя для подобных случаев щит управления агрегатом проектируют электроснабженцы, они же осуществляют эксплуатацию и обслуживание.

Расчеты, связанные с подключением ЭП, проводят на основании классических законов электротехники, скорректированных статистическими коэффициентами, отражающими невозможность предусмотреть даже для одного ЭП все возможные режимы работы (например, для двигателя токарного станка невозможно предусмотреть все режимы резки, марки металла и др.).

Цель создания системы электроснабжения — обеспечение ЭП электроэнергией надлежащего качества с допустимыми показателями надежности. Строго говоря, ЭП не входят в систему электроснабжения, потому как в абсолютном большинстве их выбирают не в электрической части проекта и не электрики (кроме осветительных приборов). Но для изучения закономерностей построения системы электроснабжения необходимо рассмотреть типичные ЭП, их характеристики и режимы работы для промышленных и коммунально-бытовых потребителей.

Первой и основной группой ЭП являются электрические двигатели (электромашин). В установках, не требующих регулирования скорости в процессе работы, применяют исключительно электроприводы переменного тока (асинхронные двигатели до 630 кВт и синхронные — до 30 МВт). Нерегулируемые электродвигатели переменного тока — основной вид электроприемников в промышленности, на долю которых приходится около 70% суммарной мощности. Доля потребления ЭЭ двигателями хотя и не так велика, но заметна и в коммунально-бытовой нагрузке: приводы насосов водоснабжения, водоотведения, отопления, привод вентиляции, кондиционирования, электрифицированного транспорта, подъемных механизмов (лифтов, эскалаторов и т. п.). Электродвигателями в электрике считают двигатели мощностью 0,25 кВт и выше (двигатели меньшей мощности рассматриваются как средства автоматизации и в статистику электрики не попадают).

Различные электротехнологические и электротермические установки составляют вторую по назначению группу ЭП, на которую в электропотреблении приходится около 20%. В промышленности

это печи сопротивления косвенного и прямого действия, дуговые и индукционные печи, установки диэлектрического нагрева, сварка, электролизные и гальванические (металлопокрытий), высоковольтные электростатические. Принято первую и вторую группу ЭП в промышленности объединять названием «силовая нагрузка». В коммунально-бытовой нагрузке доля таких ЭП незначительна и в основном связана с установками электрообогрева помещений, воды, электрическими плитами.

Третья группа ЭП — электроосвещение, которое в промышленности по величине нагрузки может составлять до десяти процентов, а в коммунально-бытовой нагрузке и более. Установки электрического освещения с лампами накаливания, люминесцентными, дуговыми, ртутными, натриевыми, ксеноновыми, светодиодными лампами применяются на всех предприятиях и на селе для внутреннего и наружного освещения.

Четвертая группа ЭП — устройства обработки информации и управления. Электропотребление этой группы в промышленности незначительно, но она предъявляет особые требования к надежности электроснабжения и качеству напряжения. В коммунально-бытовой нагрузке к этой группе условно можно отнести устройства бытовой техники и электроники, которые, как правило, в схемах питания используют преобразователи, являющиеся заметными источниками высших гармоник в городских сетях.

ЭП классифицируют по следующим признакам:

- ♦ по надежности электроснабжения (гл. 10);
- ♦ по роду тока;
- ♦ по напряжению;
- ♦ по режиму работы.

По *роду тока* различают следующие ЭП: работающие от сети промышленной частоты (50, 60 Гц); работающие от сети повышенной (пониженной) частоты; работающие от сети постоянного тока. Установки повышенной частоты применяются, например, для нагрева диэлектриков, в технологиях, требующих высоких скоростей вращения исполнительных механизмов. Пониженная частота используется, в частности, в металлургии. Постоянный ток используется в электрифицированном транспорте, для электролиза и др.

По напряжению ЭП классифицируют: до 1 кВ и выше 1 кВ переменного тока; до 1,5 кВ и выше 1,5 кВ постоянного тока. При напряжении до 1 кВ и мощности до 100 кВт экономичнее использовать асинхронные двигатели; свыше 100 кВт — синхронные; при напряжении 6 кВ и мощности до 300 кВт — асинхронные; 6 кВ и мощности больше 300 кВт — синхронные двигатели.

По режиму работы ЭП классифицируют на 8 групп, но для решения практических задач электроснабжения, как правило, используют **три** характерных **режима работы**:

- ♦ *продолжительный режим* соответствует номинальной неизменной нагрузке, продолжающейся столь долго, что температура токоведущих и нетокведущих частей ЭП достигает установившихся значения (рис. 1.3).

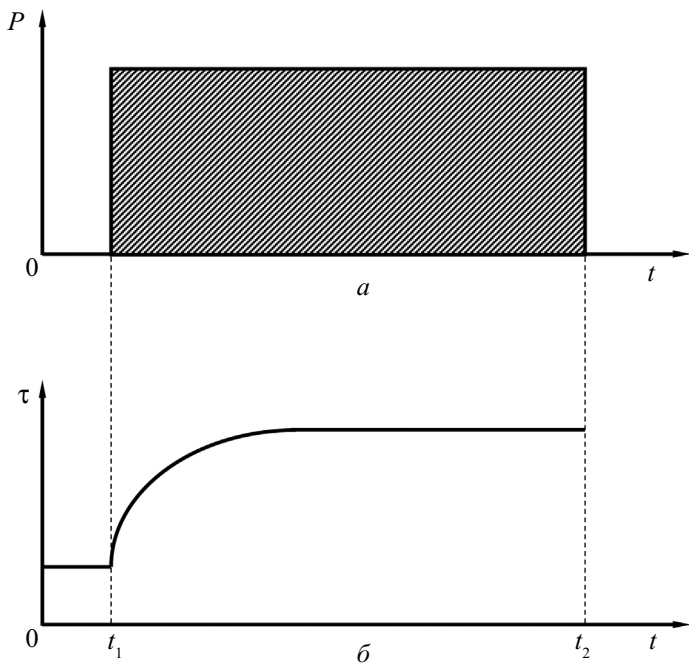


Рис. 1.3. График нагрузки (а) и изменения температуры (б) корпуса двигателя для продолжительного режима работы

- ♦ *кратковременный режим* (рис. 1.4) характеризуется тем, что ЭП работает при номинальной мощности в течение времени, за которое его температура не успевает достичь установившейся. При отключении время паузы таково, что температура снижается до температуры окружающей среды;

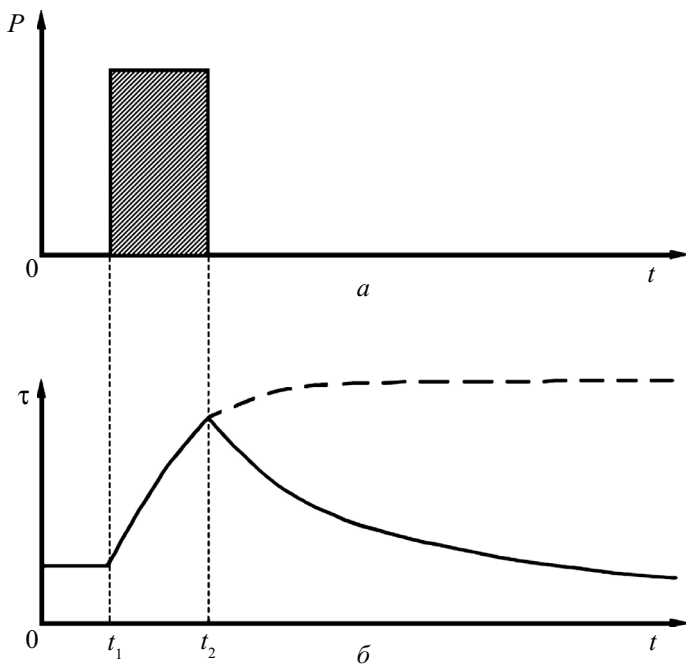


Рис. 1.4. График нагрузки (а) и изменения температуры (б) корпуса двигателя для кратковременного режима работы. Пунктирной линией показано изменение температуры при длительном режиме работы

- ♦ *повторно-кратковременный режим*, при котором кратковременные рабочие периоды номинальной нагрузки чередуются с паузами (рис. 1.5). Продолжительность рабочих периодов и пауз таковы, что за время работы температура не достигает установившегося значения, а за время паузы не успевает снизиться до температуры окружающей среды.

В кратковременном и повторно-кратковременном режиме работы ЭП может быть нагружен больше, чем при продолжительном. (Учет режима работы рассматривается в разделе 2, посвященном расчету электрических нагрузок.)

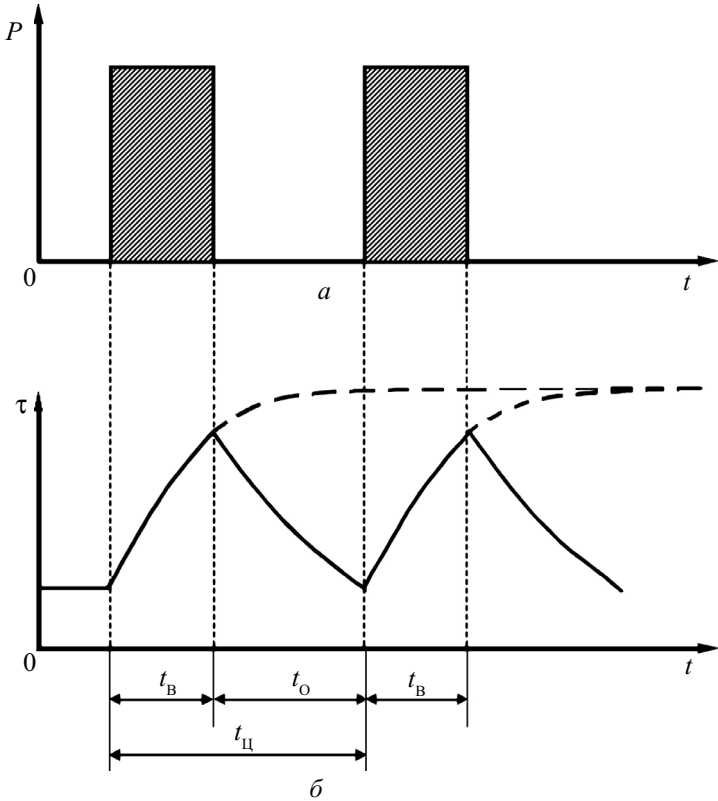


Рис. 1.5. График нагрузки (*a*) и изменения температуры (*б*) корпуса двигателя для повторно-кратковременного режима работы.

Пунктирной линией показано изменение температуры при длительном режиме работы

2. Потребление электроэнергии и электрические нагрузки

2.1. Показатели потребления электроэнергии

Потребление ЭЭ практически каждого ЭП промышленной и коммунально-бытовой нагрузок характеризуется неравномерностью в течение суток, и тем более это характерно для групп ЭП. Такая неравномерность вызвана многими факторами: цикличностью технологического процесса на производстве, изменением потребности в количестве включенных ЭП коммунально-бытовой нагрузки, изменением температуры окружающей среды и т. п. Полное перечисление таких факторов нецелесообразно и практически невозможно для всего разнообразия промышленной и коммунально-бытовой нагрузок. С точки зрения обеспечения ЭЭ групп ЭП в общем случае (исключая рассмотрение переходных процессов) не имеет принципиального значения, чем вызвано изменение потребления ЭЭ в данный момент: изменением загрузки ЭП (например, изменение механической нагрузки на валу ЭД) или включением/отключением части ЭП (например, включение освещения, бытовых электроприборов). Информация об изменении электропотребления во времени необходима как при проектировании — для правильного выбора параметров всех элементов сети (сечения проводников, уставок защитных аппаратов, мощности трансформаторов и компенсирующих устройств, устройств регулирования напряжения и т. д.), так и на этапе эксплуатации — для контроля загрузки элементов сети, управления устройствами регулирования напряжения, контроля расходования ЭЭ при решении задач энергосбережения, оперативного управления режимами, для коммерческих расчетов ЭЭ и т. д.

Естественно, наиболее полная информация об изменении потребляемой ЭЭ — это регистрация потребляемой ЭЭ (электрической

мощности) через малые промежутки времени. Такую возможность сейчас предоставляют современные системы учета (регистрации) ЭЭ на основе микропроцессорной техники. Но потребность использования таких полных данных может возникать только при исследовании колебаний напряжения при резкопеременной нагрузке с периодичностью регистрации в доли секунды. Графическая реализация записи зарегистрированных значений называется *графиком нагрузки*. Для широкого круга остальных задач, во-первых, существуют экономические препятствия для оснащения каждого присоединения указанными устройствами. Во-вторых, это в большинстве случаев не имеет практического смысла, в частности, при определении нагрузок: для получения графика нагрузки более высокого уровня требуется просуммировать графики отдельных присоединений, т. е. обработать значительное количество информации, притом что индивидуальные, а значит, и суммарный графики нагрузки на новый период могут сколь угодно сильно отличаться от графиков в настоящее время. В общем случае, чем меньше период регистрации, тем более неустойчив во времени такой график. Поэтому на практике используют более простые в получении и более устойчивые во времени графики, регистрирующие расход ЭЭ за некоторое (более продолжительное) время осреднения Δt_i (полчаса, час, сутки, месяц), что позволяет получать значения потребляемой мощности на i -м интервале осреднения P_i , которые и составляют график нагрузки. На рисунке 2.1. представлен суточный график с временем осреднения 1 час:

$$P_i = \frac{W_i}{\Delta t_i}, \quad (2.1)$$

где P_i — активная мощность нагрузки на i -м участке осреднения, кВт; W_i — электроэнергия, потребленная на i -м участке осреднения (за время Δt_i), кВтч; Δt_i — время (продолжительность) осреднения, ч.

Графики получают и строят для активной, реактивной и полной мощности, полного тока. Различают регулярные графики нагрузки (суточные, месячные, годовые) и графики по продолжительности (чаще используют суточные и годовые). *Регулярные графики* показывают значение нагрузки (по оси ординат), соответствующее моменту времени (по оси абсцисс), как на рис. 2.1; их получают регистрацией показаний приборов во времени. *Графики*

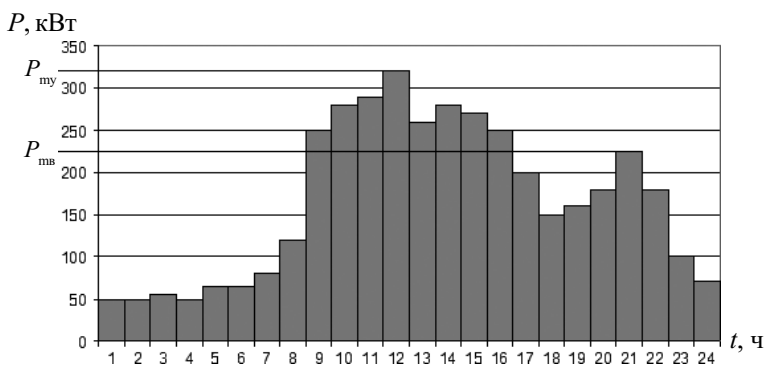


Рис. 2.1. Регулярный суточный график нагрузки с временем осреднения 1 ч.
 $P_{\text{утр}}$ — утренний максимум нагрузки, $P_{\text{вв}}$ — вечерний максимум нагрузки

по продолжительности показывают значение нагрузки (по оси ординат), сгруппированной по соответствующей длительности существования (по оси абсцисс). Для определенности значения нагрузки всегда ранжируют, т. е. указывают от больших к меньшим. На рисунке 2.2 показан суточный график по продолжительности, полученный из графика на рис. 2.1. График по продолжительности можно получить преобразованием из регулярного графика, но не наоборот. На регулярном графике можно выделить различные характерные значения: например, на рис. 2.1 выражены утренний

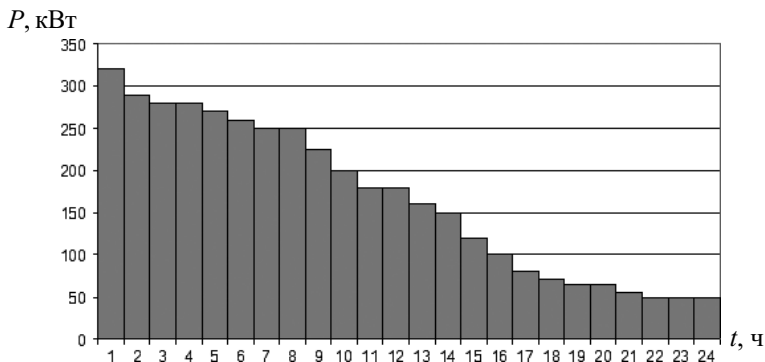


Рис. 2.2. Суточный график нагрузки по продолжительности с временем осреднения 1 ч (получен из графика на рис. 2.1)

Учебное издание

**Кудрин Борис Иванович
Жилин Борис Владимирович
Ошурков Михаил Геннадьевич**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

УЧЕБНИК

Ответственный редактор *Д. Волкова*
Выпускающий редактор *Г. Логвинова*

Формат 84x108¹/₃₂. Бумага офсетная.
Тираж 2000 экз. Заказ №

ООО «Феникс»
344011, Россия, Ростовская обл.,
г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 150
Тел./факс: (863) 261-89-50, 261-89-59
Сайт издательства www.phoenixrostov.ru
Интернет-магазин www.phoenixbooks.ru

Изготовлено в России. Дата изготовления: 02.2018.

Изготовитель: АО «Книга»
344019, Россия, Ростовская обл.,
г. Ростов-на-Дону, ул. Советская, 57/1.