

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Красноярский государственный технический университет

С. А. Михайленко

А. П. Цыганок

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Красноярск 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	4
1.1. Энергетика и общество	4
1.2. Энергетика в России	5
1.3. Электроэнергетика и уровень экономического развития общества	8
1.4. Экологические аспекты электроэнергетики	12
1.5. Типы электростанций	17
1.6. Классификация тепловых электростанций	18
1.7. Виды потребления энергии и графики нагрузок ТЭС	21
1.8. Технологическая схема паротурбинной электростанции	24
1.9. Основные технические и экономические требования к тепловой электростанции	26
2. ЦИКЛЫ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК И СПОСОБЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	30
2.1. Идеальный и теоретический циклы паросиловой установки	30
2.2. Коэффициент полезного действия парового двигателя	34
2.3. Способы повышения КПД циклов паровых двигателей	35
2.4. Регенеративный цикл паросиловой установки	39
2.5. Цикл с промежуточным перегревом пара	42
3. ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	45
3.1. Баланс тепла и коэффициенты полезного действия	45
3.2. Расходы пара, тепла и топлива на конденсационной электростанции без промежуточного перегрева пара	49
3.3. Промежуточный перегрев пара на КЭС	52
4. ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ	57
4.1. Раздельный и комбинированный методы производства электрической энергии и теплоты	57
4.2. Расходы пара и теплоты на ТЭЦ при использовании турбины с противодавлением	57
4.3. Турбины с конденсацией и регулируемы отборами пара	60
4.4. Коэффициенты полезного действия и полный расход теплоты на ТЭЦ	63
4.5. Расходы топлива на ТЭЦ	67
4.6. Преимущества комбинированного способа производства электрической энергии и теплоты перед раздельным	69
4.7. Диаграммный и эксергетический методы термодинамического анализа совершенствования ТЭС	70
4.8. Современные методы оценки экономичности ТЭС	76
5. НАЧАЛЬНЫЕ И КОНЕЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПАРА НА ТЭС. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДОГРЕВ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ	83

5.1. Общие положения	83
5.2. Влияние начальных и конечных параметров пара на тепловую экономичность электростанций	83
5.3. Начальные параметры и условия работы элементов пароводяного тракта	88
5.4. Регенеративный подогрев питательной воды. Энергетическая эффективность регенеративного подогрева воды	91
5.5. Схемы регенеративного подогрева	98
5.6. Тепловой баланс регенеративных подогревателей	103
5.7. Возможные схемы включения подогревателей смешивающего типа и их анализ	106
5.8. Конструирование ПНС	112
5.9. Тепловой расчет ПНС	117
5.10. Расход пара и теплоты на турбоустановках с регенеративным подогревом воды	121
5.11. Распределение регенеративного подогрева питательной воды по ступеням	125
5.12. Конструкция регенеративных подогревателей	129
6. ПОТЕРИ ПАРА И КОНДЕНСАТА. ОТПУСК ТЕПЛОТЫ СО СТАНЦИИ	136
6.1. Потери пара и конденсата на ТЭС и мероприятия по их уменьшению	136
6.2. Баланс пара и конденсата	138
6.3. Испарительные установки	143
6.4. Устройство испарителей	149
6.5. Отпуск пара тепловым потребителям	151
6.6. Отпуск теплоты на отопление	153
6.7. Регулирование отпуска теплоты с горячей водой	154
6.8. Схемы подогрева сетевой воды и их расчет	156
6.9. Устройство сетевых подогревателей	161
6.10. Пиковые водогрейные котлы	163
7. ДЕАЭРАТОРНЫЕ И ПИТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ	166
7.1. Деаэрация воды и типы деаэраторов	166
7.2. Схемы включения деаэраторов	173
7.3. Деаэрация воды в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения	176
7.4. Рекомендации по параллельной работе деаэраторов	177
7.5. Особенности разработки схем с вакуумными деаэраторами	178
7.6. Тепловой и материальный баланс деаэраторов	181
7.7. Питательные установки	182
8. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ЕЕ РАСЧЕТ	187
8.1. Разработка принципиальной тепловой схемы, ее содержание и значение	187

8.2. Методика расчета принципиальной тепловой схемы конденсационной электростанции	196
8.3. Пример расчета тепловой схемы станции с турбинами К-200-130	200
8.4. Особенности расчета тепловой схемы ТЭЦ	210
8.5. Тепловые схемы и характеристика теплофикационных турбин	219
9. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	227
9.1. Виды электрической мощности и резерва	227
9.2. Технологическая структура теплоэлектростанций	228
9.3. Выбор основного оборудования	230
9.4. Выбор вспомогательного оборудования турбинной установки	232
10. ТРУБОПРОВОДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	238
10.1. Общие сведения	238
10.2. Технический расчет трубопроводов	240
10.3. Арматура, опоры и тепловая изоляция трубопроводов	247
10.4. Выполнение и обслуживание трубопроводов	250
11. ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН И КОМПОНОВКА ТЭС	253
11.1. Выбор площадки для сооружения ТЭС	253
11.2. Генеральный план	255
11.3. Компоновка главного корпуса	259
11.4. Основные типы компоновки главного корпуса электростанции	265
11.5. Компоновка газомазутных электростанций	274
12. ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ	276
12.1. Расход воды на электростанции	276
12.2. Источники водоснабжения	278
12.3. Системы водоснабжения	279
12.4. Циркуляционная система водоснабжения	282
12.5. Охладительные устройства	282
12.6. Циркуляционные насосы	287
ПРИЛОЖЕНИЕ	290
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	297

ПРЕДИСЛОВИЕ

Повышение технического уровня тепловых электростанций (ТЭС), на основе применения энергетического оборудования с высокими технико-экономическими показателями, комплексной автоматизации технологических процессов, совершенствования проектных решений, направленных на снижение стоимости сооружения и экологической безопасности, – главный фактор роста эффективности отечественной теплоэнергетики. Эта задача останется актуальной и в перспективе, так как тепловым электростанциям, составляющим в настоящее время основу электроэнергетики России, еще длительное время будет принадлежать ведущая роль в производстве тепла и электроэнергии.

В настоящем учебном пособии подробно изложены вопросы комбинированной выработки электроэнергии на базе отпуска теплоты промышленным и коммунально-бытовым потребителям, выбора основного оборудования тепловых электростанций, оценки тепловой экономичности оборудования.

Содержание учебного пособия соответствует программе дисциплины «Тепловые и атомные электрические станции» согласно учебного плана направления подготовки дипломированных специалистов 650800 – «Теплоэнергетика» специальности 100500 – «Тепловые электрические станции».

Данный курс базируется на таких дисциплинах, как «Теоретические основы теплотехники», «Котельные установки и парогенераторы», «Турбины тепловых и атомных электростанций».

Использование настоящего учебного пособия не исключает обращения к учебникам и другим рекомендуемым источникам.

1. ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

1.1. Энергетика и общество

Энергетика – сектор экономики, охватывающий сложную совокупность процессов преобразования и передачи энергии от источников природных энергетических ресурсов до приемников энергии включительно и представляет собой сложный развивающийся объект, исследование которого возможно только на основе системного подхода.

Энергетика сегодня занимает в жизни общества такое место, что невозможно оценить отказ от ее благ. Вместе с тем и очень высока цена энергии: ее производство и транспорт. Цена эта формируется не только в сфере экономики, но и в области экологии, в области безопасности жизнедеятельности человека в настоящем и будущем.

Энергетические объекты (топливно-энергетические комплексы вообще и объекты электроэнергетики в частности) по степени влияния на окружающую среду относят к числу наиболее интенсивно воздействующих на биосферу.

Если ранее выбор способов получения электрической и тепловой энергии проводился на основе минимизации экономических затрат, то в настоящее время на первый план выдвигаются вопросы оценок возможных последствий возведения и эксплуатации объектов энергетики. Это прежде всего относится к ядерной энергетике, крупным гидроузлам, энергокомплексам. Тенденции и темпы развития энергетики сейчас в значительной степени определяются уровнем надежности и безопасности (в том числе экологической) электростанций разного типа. Объекты энергетики представляют собой источники потенциального, до настоящего времени практически не учитываемого риска для населения и окружающей среды.

Под надежностью объекта понимают свойства объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров.

Под экологической безопасностью объектов энергетики обычно подразумевают сохранение в регламентируемых пределах возможных негативных последствий воздействия объектов энергетики на природную среду в связи с невозможностью полного исключения экологического ущерба. Поэтому негативные последствия функционирования энергообъектов на окружающую среду следует ограничивать некоторым минимальным уровнем: должны работать экономические механизмы, реализующие компромисс между качеством среды обитания и социально-экономическими условиями жизни населения.

1.2. Энергетика в России

Энергия является важнейшим фактором производства и жизнеобеспечения современного общества. Действительно, энергетическая составляющая в затратах на производство промышленной продукции и транспортные услуги (без учета энергетической составляющей в стоимости израсходованных материалов и сырья) в России превышает в настоящее время 17 %, сельскохозяйственной продукции – 11 % /25/. Основу современного производства составляют стационарные и мобильные силовые, высоко- и средне-температурные процессы, а также информационно-управленческие процессы, нормальное осуществление которых решающим образом зависит от устойчивого, бездефицитного снабжения всеми видами топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Общеизвестна важнейшая роль в жизнеобеспечении населения, функционировании производственной и социальной сфер процессов отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, освещения, горячего водоснабжения и других процессов, связанных с использованием ТЭР.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) России – крупнейший инфраструктурный комплекс народного хозяйства. По состоянию на конец 2000 г. доля ТЭК в промышленном производстве составляла более 28 %, в производственных фондах промышленности – около 38 %, в экспорте – более 50 %, в налоговых поступлениях федерального бюджета – более 38 %, в капиталовложениях – более 24 %, по численности промышленно-производственного персонала – около 15 %. К этому можно добавить, что именно энергетика должна стать решающим фактором экономической интеграции и сотрудничества регионов России, стран СНГ и евро-азиатского континента.

Устойчивое и эффективное функционирование и развитие энергетики необходимо для обеспечения большинства компонентов национальной безопасности – экономической, финансовой, внешнеэкономической, технологической, социальной и др.

Электроэнергетика является **важнейшим компонентом** топливно-энергетического комплекса, его узловой, интегрирующей подсистемой.

Электроэнергетика является крупнейшим потребителем – преобразователем всех первичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). В конце 90-х годов прошлого века доля тепловых электростанций в потреблении природного газа составила более 40 %, угля и мазута – 45 %.

Ряд энергоресурсов полезно используется в народном хозяйстве только через их преобразование в электрическую или тепловую энергию на электростанциях. Сюда относят гидроэнергетические ресурсы рек, энергетическое использование ядерной энергии, энергии приливов-отливов и ветра. Электроэнергетика является практически монопольным потребителем низкокачественного твердого топлива (непереработанные горючие сланцы, отсеvy и промпродукты углеобогащения, высокочольные бурые угли типа подмосковных, антрацитовый штыб, доменный и коксовый газы и др.).

Получая топливо от предприятий всех отраслей топливной промышленности (каменный и бурый уголь, природный и нефтяной газ, мазут и дизельное топливо, дрова и древесные отходы, торф и сланцы), являясь крупнейшим их потребителем, электроэнергетика обеспечивает, в свою очередь, эти предприятия, а также системы теплоснабжения важнейшим элементом производства – электроэнергией.

Доля отрасли в стоимости основных производственных фондов ТЭК составляет в настоящее время 47 %, в стоимости валовой продукции комплекса – 50 %, в численности занятых – 51 %, в валовых инвестициях в ТЭК – более 30 %.

Каждая из отраслей ТЭК (систем энергетики) имеет многочисленных потребителей продукции во всех отраслях экономики. Но только электроэнергетика (и система теплоснабжения) снабжает своей продукцией абсолютно все предприятия, жилые сооружения.

Во всем мире, включая Россию, происходит закономерный процесс неуклонного роста коэффициента электрификации энергетического (топливно-энергетического) баланса: электроэнергия последовательно завоевывает новые области применения, вытесняя другие энергоносители, принимая на себя весь или преобладающую часть прироста конечного потребления энергии. Благодаря своим технологическим, экологическим и социальным преимуществам электроэнергия, как показано выше, успешно вторгается в традиционные сферы использования других энергоносителей и вытесняет их: пар и горячую воду – из сферы отопления и кондиционирования воздуха, моторное топливо – из сферы городского общественного транспорта, котельно-печное топливо – из ряда высокотемпературных процессов в промышленности и социально-бытовой сферы. Многие новые потребности общества в энергетике могут быть удовлетворены только посредством электроэнергии.

Предприятия электроэнергетики – теплоэлектроцентрали и отчасти некоторые ТЭС конденсационного типа – являются основой систем теплоснабжения преобладающего большинства крупных и средних городов России, а также большинства предприятий нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, целлюлозно-бумажной, автомобильной, сахарной промышленности, крупнейших предприятий черной металлургии и машиностроения и т. д.

Электричество – это универсальный энергоноситель для удовлетворения производственных, социальных, бытовых и других потребностей общества. Мировые тенденции таковы, что доля электроэнергии в потреблении ТЭР неуклонно возрастает и будет расти в дальнейшем. В стратегическом плане электроэнергетика решающим образом влияет на формирование условий для подъема экономики России и укрепление ее экономической безопасности. Все вышесказанное определяет исключительно важное значение электроэнергетики, ее нормального функционирования и развития для обеспечения энергетической и национальной безопасности

России и ее регионов в экономическом, научно-техническом, социальном, экологическом, внешнеэкономическом и других аспектах.

Основу производственного потенциала российской электроэнергетики в настоящее время составляют более 700 электростанций общей мощностью свыше 200 ГВт и линии электропередачи всех классов напряжений протяженностью около 2,5 млн. км. Более 90 % этого потенциала сосредоточено в Единой энергетической системе (ЕЭС), функционирование и развитие которой обеспечено богатейшими топливно-энергетическими ресурсами природного газа, нефти, угля, ядерного топлива, гидроэнергией и другими возобновляемыми источниками энергии.

Предприятия российской электроэнергетики оснащены отечественным оборудованием. Российская электроэнергетика располагает значительным экспортным потенциалом, обладает развитым научно-техническим отраслевым комплексом, квалифицированными научными и инженерными кадрами, способными осуществлять разработку и внедрение новых технологий и поступательное развитие отрасли. На рис. 1.1 представлено фактическое и прогнозируемое потребление электроэнергии в России.

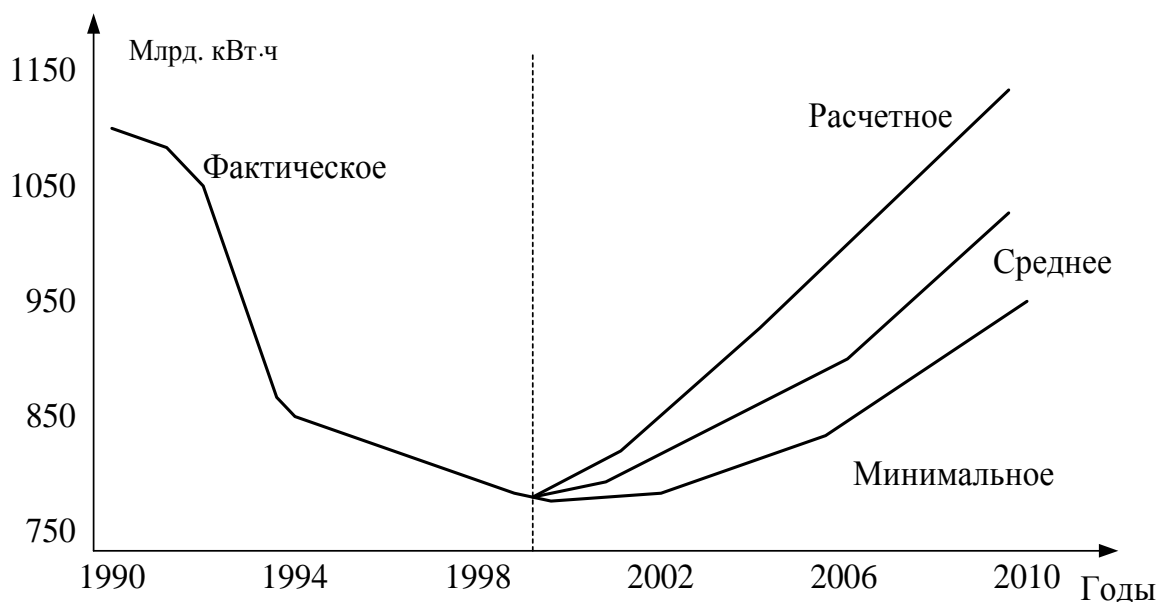


Рис. 1.1. Прогноз электропотребления до 2010 г.

Экспорт электроэнергии ЕЭС России составляет около 14 млрд. кВт·ч, т. е. 1,6 % общей выработки, в том числе в страны дальнего зарубежья (в основном в энергосистемы северных стран – NORDEL) – 5 млрд. кВт·ч.

1.3. Электроэнергетика и уровень экономического развития общества

Многочисленные исследования убедительно доказывают наличие корреляции (табл. 1.1) между темпами прироста электропотребления и темпами

экономического роста (прироста валового внутреннего продукта – ВВП), между уровнем душевого электропотребления и уровнем экономического развития.

Характерная глобальная тенденция развития мировой энергетики – увеличение доли электроэнергии в конечном потреблении энергоносителей. Причем до начала 90-х годов XX века этот процесс шел очень быстрыми темпами, затем произошел перелом и темпы значительно снизились (рис. 1.2). Видимо, с одной стороны, к 1990 г. произошло насыщение, а с другой стороны, внедрение энергосберегающих технологий привело к падению темпов роста данного показателя.

Известно, что в периоды экономического спада энерго- и электроемкость ВВП, как правило, растет, так как производство падает более быстрыми темпами, чем энерго- и электропотребление, и кроме того, постоянная составляющая энерго- и электропотребления остается неизменной (рис. 1.3, 1.4).

В развитых странах электроемкость ВВП зависит от экономической ситуации (спад – подъем производства) и степени развитости экономики страны в целом. В общем случае, чем больше ВВП приходится на душу населения, тем меньше электроемкость ВВП.

Таблица 1.1

Темпы прироста электропотребления (ЭП) и ВВП, % в год

Страны \ Годы	1990–2000	2000–2010	2010–2020
Россия:			
ЭП	– 2,50	3,13	2,40
ВВП	– 4,80	6,60	6,40
Соотношение	0,52	0,47	0,38
США:			
ЭП	2,05	1,60	1,05
ВВП	2,60	3,05	1,35
Соотношение	0,79	0,52	0,78
Страны Западной Европы:			
ЭП	2,35	2,35	2,05
ВВП	2,85	2,50	2,40
Соотношение	0,82	0,94	0,85

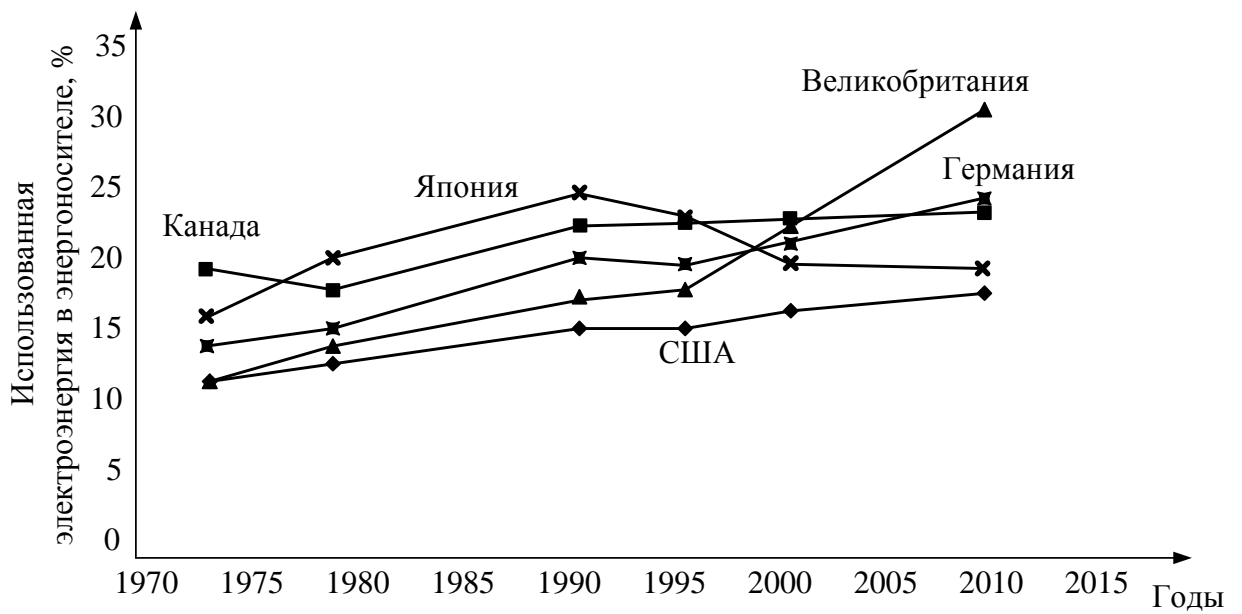


Рис. 1.2. Доля электроэнергии в конечном энергопотреблении

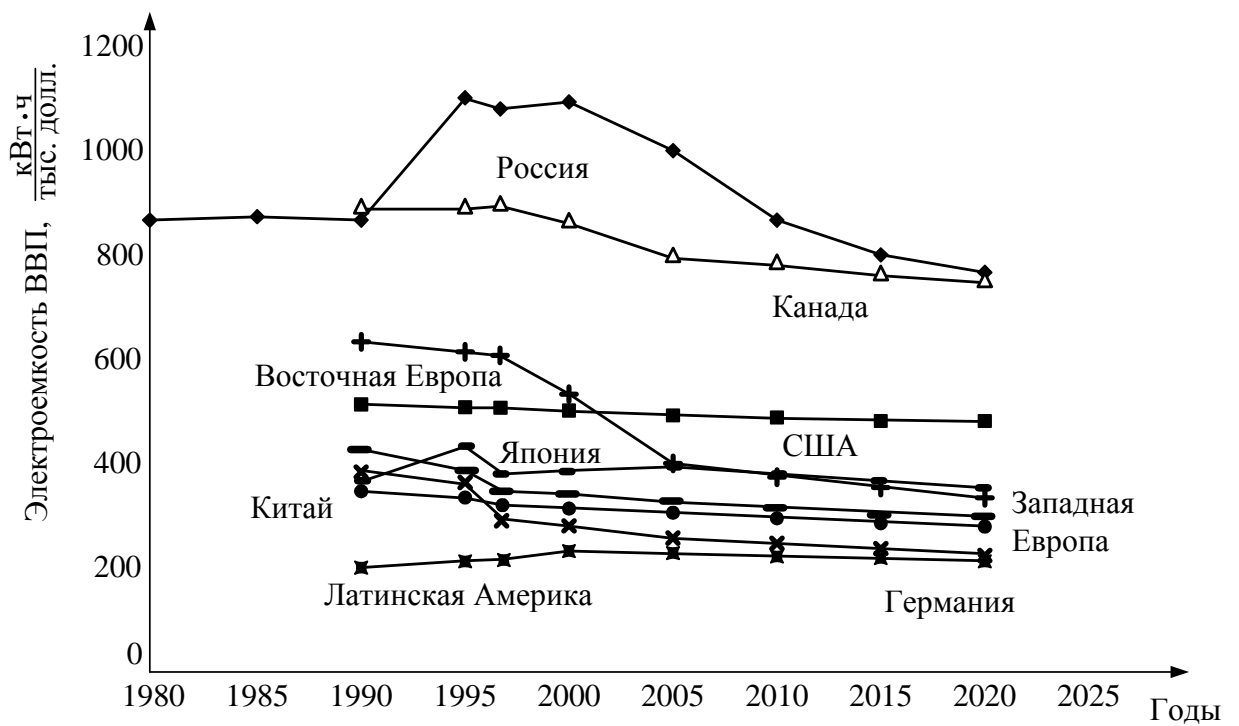


Рис. 1.3. Динамика электроёмкости ВВП

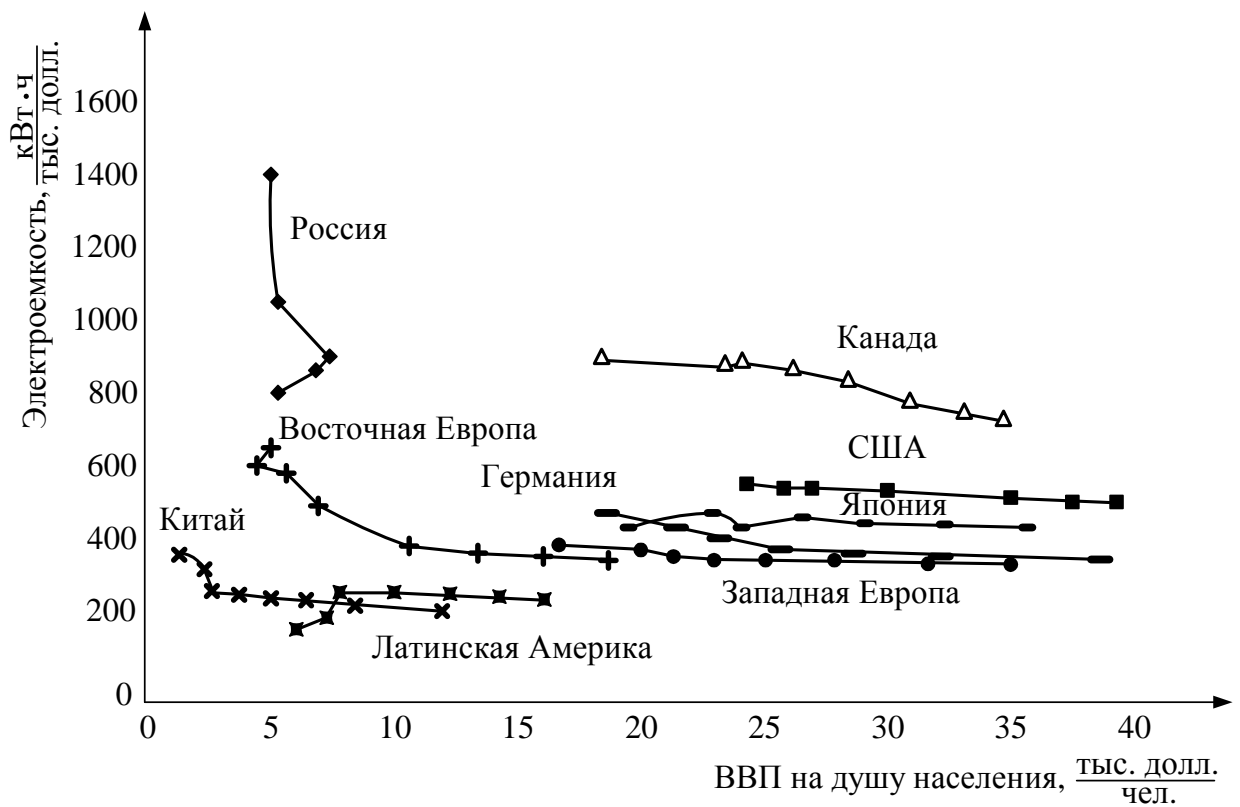


Рис. 1.4. Зависимость электроёмкости экономики от величины ВВП на душу населения

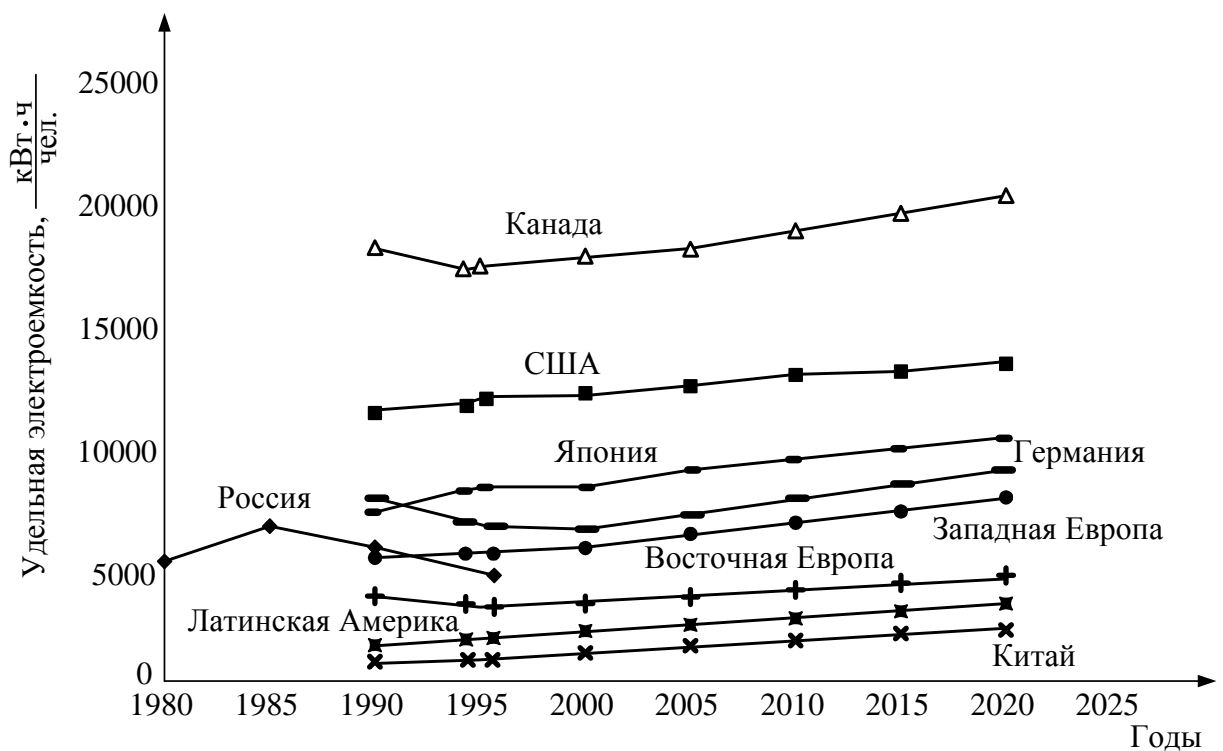


Рис. 1.5. Удельное электропотребление на душу населения

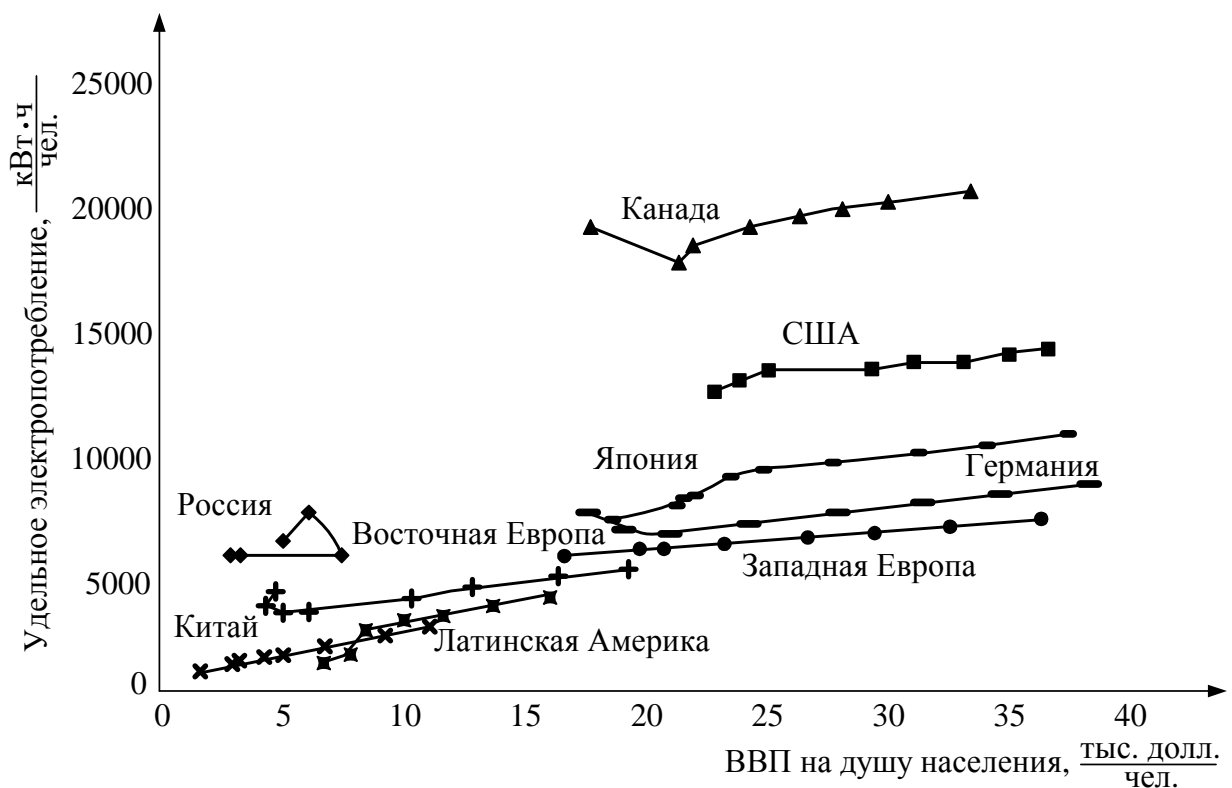


Рис. 1.6. Удельное электропотребление в различных регионах

В отличие от электроемкости ВВП удельное электропотребление на душу населения растет во всех странах, кроме России (рис. 1.5, 1.6). По удельному электропотреблению (рис. 1.5) Россия находится на уровне Западной Европы, но значительно отстает от Канады и США.

Что касается зависимости удельного электропотребления от уровня экономического развития (рис. 1.6), то ситуация в России пока прямо противоположна наблюдаемой в развитых и развивающихся странах. Можно ожидать, что с началом экономического подъема в России, в соответствии с отмеченными тенденциями, рост электропотребления будет отставать от темпов экономического роста, что приведет к снижению электроемкости ВВП (рис. 1.3).

Одним из последствий разразившегося в России экономического кризиса стало снижение внутреннего электропотребления. Однако неадекватное общему спаду в экономике снижение электропотребления привело к увеличению электроемкости валового внутреннего продукта почти на 30 % (рис. 1.3). Электроемкость ВВП в России примерно в три раза выше, чем в странах Западной Европы и Японии, и в два раза выше, чем в США.

Для получения полноценной версии необходимо обращаться по адресу...

Group ENEK™

«Лаборатория информационных технологий в энергетике»,
Кафедра «Тепловые электрические станции»
Красноярского государственного технического университета
e-mail: boiko@krgtu.ru
р.т.: (8-3912) 49-72-99, 49-74-63
660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26
Красноярский государственный технический университет